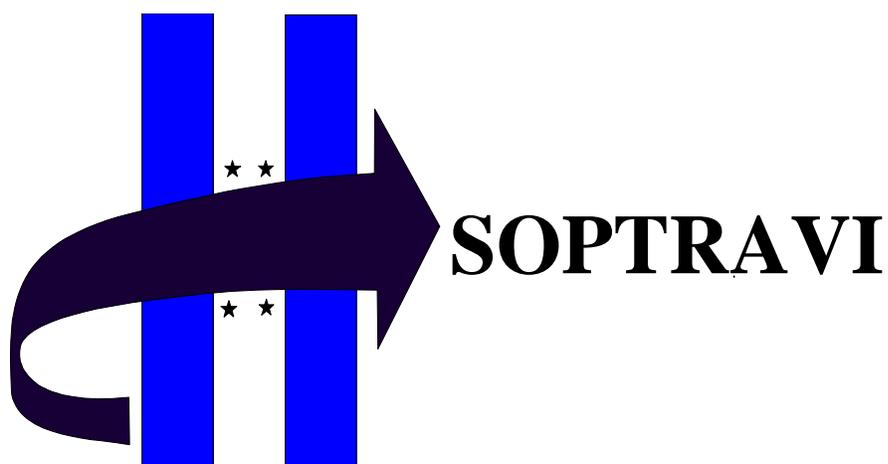


**REPÚBLICA DE HONDURAS**

**SECRETARÍA DE ESTADO EN LOS DESPACHOS DE OBRAS PÚBLICAS,  
TRANSPORTE Y VIVIENDA**



**DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS**

**MANUAL DE CARRETERAS**

**TOMO 3  
INSTRUCCIONES DE DISEÑO**



# INSTRUCCIONES DE DISEÑO

## CAPÍTULO I: ELEMENTOS DEL DISEÑO

### **Distancia de Visibilidad**

- Distancia de detención
- Distancia de visibilidad de decisión
- Distancia de rebaso

### **Alineamiento horizontal**

- Coefficiente de fricción lateral
- Valores máximos de peralte
- Radios mínimos de curvatura
- Determinación del peralte en función del radio de la curva y la velocidad directriz
- Radios mínimos que no exigen peralte
- Relación peralte y rasante
- Radios mínimos deseables

### **Curvas espirales de transición**

- Longitud mínima
  - Primer criterio - Comodidad
  - Segundo criterio - Apariencia general
  - Tercer criterio - Apariencia del borde
- Longitudes de transición espiral
- Transición del peralte
- Radios mínimos a partir de los cuales no se requiere utilizar curvas de transición espirales
- Transición simple
- Curvas circulares compuestas
- Sobreanchos
- Secciones típicas
- Tipos de vehículos
- Distancia de visibilidad en curvas horizontales

### **Alineamiento vertical**

- Topografía
- Pendientes máximas y mínimas
- Curvas verticales
- Curvas verticales convexas
- Curvas verticales cóncavas
- Perfil que no requiere curva vertical
- Perfiles con carriles adicionales
  - Carril de ascenso
  - Secciones con cuatro carriles
  - Carriles separados
  - Carril de descenso o carril de emergencia
  - Carriles de aceleración y desaceleración
  - Carriles de aceleración
  - Carriles de desaceleración

### **Secciones Transversales**

- Calzada
- Secciones transversales con mediana y separador
- Secciones transversales con mediana
- Secciones en depresión
- Secciones en viaducto
- Secciones en peralte
- Ancho de carril
- Carriles auxiliares
- Hombros
- Mediana
- Taludes de relleno y taludes de corte
- Pendientes
- Cunetas y cunetas préstamos
- Cunetas laterales
- Rápidos
- Contracunetas
- Cuneta central
- Bordillo cuneta
- Calles laterales o colectoras
- Zona de camino o derecho de vía
- Paradas de buses

### **Diseño de Intercambiadores**

Introducción

Definición

- A: Factores humanos
- B: Tránsito
- C: Elementos físicos geométricos
- D: Factores económicos

Tipos de intersección a nivel

Intersecciones de tres ramales

Canalización

Intersecciones de cuatro ramales

Intersecciones de cuatro ramales canalizadas

Intersecciones de ramales múltiples

Tránsito

Tránsito de hora pico

Distribución direccional

Composición del tránsito

Radios mínimos para giros a la derecha con islas

Tránsito futuro

Distancia de visibilidad

Efecto de oblicuidad

Efecto de las pendientes

Distancia de frenado

Visibilidad vertical

Visibilidad horizontal en carriles de giro

Peraltes de curvas en intersecciones

Canalizaciones

Elementos de diseño

Principios de diseños en intersecciones

Mediana

Influencia de la oblicuidad  
Carriles de giro a la izquierda en medianas

**Diseño de Intercambios a Distinto Nivel**

Tipos principales  
Trébol  
Trébol de cuatro hojas  
Diamante  
Direccional  
Otros tipos  
Rotondas

**Principales Consideraciones de Diseño**

Tránsito  
Seguridad  
Ubicación en función de la topografía  
Beneficios para el usuario  
Ubicación de intercambiadores  
Uniformidad  
Separación  
Continuidad  
Criterios generales de diseño de intercambiadores, supuesto conocido el número de carriles  
El medio ambiente  
Topografía  
Señalización y demarcación  
Desvíos de tránsito durante la construcción  
Construcción por etapas  
Número de vías o carriles. Equilibrio de vías

**Elementos de diseño de intercambiadores**

Rampas  
Tipos de rampas  
Velocidad directriz en rampas  
Curvaturas de las rampas  
Longitud de arco circular para curvas compuestas de rampas  
Pendientes en las rampas y perfil longitudinal  
Peralte y pendientes transversales  
Ancho de rampas  
Carriles de aceleración y desaceleración  
Entradas  
Salidas  
Bifurcaciones  
Reducción de carriles  
Zonas de entrecruzamiento  
Tipos y variantes de intercambiadores de tres ramales  
Cruce diamante  
Barrera de seguridad tipo New Jersey en intercambiadores

**Apariencia de las Carreteras**

Generalidades

Guiado visual

Estética

Coordinación Planialtimétrica

Recomendaciones relativas a las condiciones planimétricas

Recomendaciones relativas a las condiciones altimétricas

Recomendaciones relativas a las condiciones planialtimétricas

**Bibliografía**

## **CAPÍTULO II: TRÁNSITO**

### **Sección 1:**

Aspectos Generales

Objetivos y alcances

Propósito del Manual

Alcance de los estudios de tránsito

Propósito de los estudios de tránsito

Usos de los resultados de estudios de tránsito

Alcance de los tipos de mejoramiento de carreteras

Clasificación de las carreteras

Todos los aspectos de la recopilación de datos de tránsito y análisis necesarios para completar una evaluación confiables, están cubiertos en este Manual en varios grados de detalle

Definiciones

Composición del Manual

Futura actualización del Manual

Referencias

### **Sección 2:**

Tipos de Carreteras, Tipos de Proyectos para el Mejoramiento de la Red Vial y Etapa de Estudio de los Proyectos

Clasificación de carreteras

Tipos de proyectos para el mejoramiento de la red vial

Etapas de estudio de los proyectos

### **Sección 3:**

Volúmenes de Tránsito y sus Características

Tránsito promedio diario (T.P.D.)

Variaciones en el volumen de tránsito

Variaciones temporales del flujo de tránsito

Variaciones estacionales

Variaciones diarias

Variaciones horarias

Hora pico y hora de diseño

Hora pico

Hora de diseño y factor K

Variaciones del flujo de tránsito dentro de la hora

Factor de hora pico (F.H.P.)

Variaciones especiales en el flujo del tránsito

Distribución direccional

Distribución por carriles

Composición de tránsito

### **Sección 4:**

Tipos de Vehículos

Propósito de la clasificación de vehículos

Diseño geométrico

Diseño de pavimentos

Beneficios del usuario de las carreteras

Clasificación de los conteos de tránsito

Clasificación de vehículos

- Parque automotor
  - Fuentes de información
  - Otras consideraciones
- Capacidad vial
  - Importancia de la capacidad
  - Terminología
    - Capacidad
    - Niveles de servicio
    - Volúmenes de servicio
    - Medidas de eficiencia (MDE)
  - Factores que afectan la capacidad y el nivel de servicio
    - Condiciones ideales
    - Condiciones de la calzada
    - Condiciones de tránsito
      - Tipo de vehículos
      - Distribución por sentido de circulación y por carriles
    - Condiciones de control
    - Tecnología
  - Procedimientos de cálculo de capacidad de caminos
    - Tramos de carreteras rurales de dos carriles
    - Tramos de carreteras multicarriles rurales y suburbanas
      - Determinación de la velocidad de flujo libre (Km./Hr)
      - Determinación de la velocidad de flujo ajustada
      - Determinación del nivel de servicio (NS)
  - Segmentación del camino
  - Tramos
    - Tramos básicos de autopistas de accesos limitados
    - Areas de entrecruzamiento
    - Rampas y empalmes de rampas
      - Capacidad de los empalmes Rampa - Autopista
      - Capacidad de rampas
      - Capacidad de los empalmes Rampa - Calle
    - Arterias urbanas y suburbanas
  - Símbolos de capacidad de caminos
  - Resumen

## Sección 6:

- Proyecciones de Tránsito
  - Propósito
  - Componentes del tránsito futuro
    - (1) Tránsito existente y su normal crecimiento
    - (2) Tránsito derivado
    - (3) Tránsito generado
    - (4) Tránsito desarrollado
    - (5) Tránsito especial
  - Tránsito normal
    - Determinación del volumen del tránsito existente por tipo de vehículos
    - Tránsito estacional vinculado con la agricultura
    - Análisis de las tendencia de crecimiento en el pasado
  - Crecimiento normal de tránsito
    - (1) Modelo de análisis de la tendencia
    - (2) Modelo de la demanda de viajes
    - Modelo de análisis de la tendencia

- Modelo de demanda de viajes
- Tránsito de carga
- Desarrollos planificados
- Tránsito generado
  - (1) Comparando los conteos de tránsito antes y después en carreteras similares
  - (2) Estimando la elasticidad de la demanda por viaje
  - Método 1: Comparación de conteos antes y después sobre carreteras similares
  - Método 2: Estimación de la clasificación de la demanda
- Tránsito desarrollado
  - Desarrollos planificados y proyecto dependiente
  - Diferencia entre tránsito generado y desarrollado
  - Fuentes del tránsito desarrollado
- Tránsito derivado
- Tránsito derivado (Transferido desde otros medios de transporte)
- Tránsito especial
- Red urbana de carreteras
  - Modelo para el planeamiento urbano del transporte (P.U.T.)
  - Generación de viajes
  - Distribución de los viajes
  - Clasificación modal
  - Asignación de tránsito
    - Revisión de los viajes en período pico
  - Evaluación de la red
- Redes de caminos rurales

### Sección 7:

- Recopilación de Información para Estudios de Tránsito
  - Programa de conteo anual de tráfico
    - Estaciones de conteo continuo
    - Estaciones de conteo de control
    - Conteos de cobertura
    - Conteo manual de clasificación de vehículos
    - Encuesta de carga por eje
    - Otra fuente de información del volumen de tránsito de las carreteras
  - Actividades en la recopilación de datos de tránsito
  - Plan anual de trabajo
    - Datos relativos al tránsito
    - Datos socioeconómicos
  - Recopilación de los datos de tránsito para estudios
    - Programación para la recopilación de los datos de tránsito
    - Planos y criterios para las encuestas de origen y destino
    - Conteo de clasificación de tránsito
    - Conteos con el registro automático de tránsito
    - Conteos de observadores móviles
    - Encuestas a pasajeros de buses
    - Otros datos y encuestas

### Apéndice 7.1:

Extracto de "The Economic Analysis of Rural Road Projects" IBRD, Documento de Trabajo del Banco Mundial N° 241, Anexo 4

- Area de influencia
  - Introducción
    - Revisión de estudios anteriores
    - Criterio de eficiencia económica
    - Criterio Social
    - Factores modificatorios
  - Conclusiones

**Apéndice 7.2:**

Muestreo

**Apéndice 7.3:**

- Precisión de los conteos de tráfico
  - Muestreo de tráfico
  - Precisión y niveles de confianza
  - Variaciones por día de semana
  - Variaciones estacionales
  - Error del equipo de muestreo
  - Características dinámicas

**Sección 8:**

Encuestas de Tráfico

- Encuesta de volumen de tráfico
  - Estaciones permanentes de conteo de tráfico
  - Registros automáticos de tráfico (ATR)
  - Censos de clasificación manual de vehículos
  - Conteo de vehículos en circulación
- Censos de origen y destino
  - Instrucciones para las formas o planillas a usar en las encuestas
  - Apoyo al equipo de encuestas
  - Responsabilidad del equipo de encuestas
    - Supervisor del equipo de encuestas
    - Conductores de los vehículo
    - Supervisor de la cuadrilla
    - Clasificador del tráfico
    - Entrevistadores
    - Policía de tránsito
  - Pasos a seguir para la organización de las encuestas de origen y destino
  - Verificación de equipo y elementos requeridos
- Censos de carga por eje
- Tiempo de viaje y demoras
- Encuestas sobre las demoras en las intersecciones
- Encuestas sobre tráfico generado
- Encuestas domiciliarias
- Encuestas a los usuarios de transporte público

### CAPÍTULO III: SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN

#### Señalamiento

- Introducción
- Objetivo
- Criterios rectores del sistema
  - Separación de las partes signo y leyenda
  - Formas
  - Estudio integral de pictogramas

#### Adecuaciones y/o Modificaciones Introducidas al Manual Interamericano

- Señalización vertical
- Señales de reglamentación
  - Altura
  - Dimensiones
  - Señal de “Alto”
  - Señal de “Ceda el paso”
  - Señal de “Prohibido seguir adelante” o “Dirección prohibida”
  - Señal de “Prohibido girar a la izquierda”
  - Señal de “Estacionamiento reglamentado”
  - Señal de “Prohibición de estacionamiento y detención”
  - Señal de “Inspección oficial”
  - Especificaciones señales de reglamentación
  - Dimensiones de los símbolos
- Señales de prevención
  - Altura
  - Dimensiones
  - Leyendas
  - Señal de “Proximidad de semáforo”
  - Señal de “Proximidad de alto”
  - Señal de “Obras”
  - Señal de “Zona escolar”
  - Especificaciones
  - Señales preventivas
    - Dimensiones de las placas
  - Dimensiones de los símbolos
- Señales de información
  - Clasificación
  - SII Señales informativas de identificación
    - SII - 1 Uso
    - SII - 2 Forma
      - Tablero señales de ruta
      - Flechas complementarias
      - Tablero de señales de kilometraje
    - SII - 3 Tamaño
      - Tablero de las señales de ruta
      - Tablero de señales de kilometraje
    - SII - 4 Ubicación
      - Señales de ruta
      - Señales de kilometraje
  - SID - Señales informativas de destino
  - SID - 1 Uso

- SID - 2 Forma
- SID - 3 Tamaño
  - Tablero de señales bajas
  - Tablero de señales diagramáticas
  - Tablero de señales elevadas
- SID- 4 Ubicación
  - Previas
  - Decisivas
  - Confirmativas
- Distancia lateral y altura de las señales informativas de destino
- SID- 5 Contenido
  - Leyenda
  - Flechas
  - Escudos
  - Acceso a poblado
  - Intersecciones
  - Cruce
  - Confirmativa
  - Diagramática
  - Ménsula
  - Doble Ménsula
  - Pórticos
- SIR- Señales informativas de recomendación
  - SIR-1 Uso
  - SIR-2 Forma
  - SIR-3 Tamaño
  - SIR-4 Ubicación
  - SIR-5 Contenido
  - SIR-6 Color
  - Ejemplos señales informativas de recomendación
- SIG Señales de información general
  - SIG-1 Uso
  - SIG-2 Forma
  - SIG-3 Tamaño
  - SIG-4 Ubicación
  - SIG-5 Contenido
  - SIG-6 Color
  - SIG-7 Lugar
  - SIG-8 Nombre de obras
  - SIG-9 Límites políticos
  - SIG-10 Control
  - SIG-11 Sentido del tránsito
- SIST Señales informativas de servicios y turísticas
  - SIST-1 Uso
  - SIST-2 Forma
    - Tablero de señales
    - Tablero adicional
  - SIST-3 Tamaño
    - Tablero de señales
    - Tablero adicional
  - SIST-4 Ubicación
  - SIST-5 Color
  - Especificaciones Señales de Información

Procedimiento de elaboración

- Especificaciones generales
- Características de los soportes
- Ensayos de recepción
  - A) Lámina reflectora
  - B) Soportes
  - C) Pintura
  - D) Cincado
- Montaje
- Planillas de datos garantizados
- Señalización horizontal
  - Conformación física
  - Forma
  - Significado
  - Ubicación
  - Fijación
  - Recomendaciones
    - Ancho de las líneas
    - Aplicación de las demarcaciones para zonas de no adelantamiento
- Controles de tránsito durante la ejecución de trabajos de construcción y mantenimiento en calles y carreteras
  - Ubicación
    - Longitudinal
  - Señales de prevención
    - Forma
    - Tamaño
  - Señales de Información
    - Forma
    - Tamaño
- Area urbana
  - Señalización vertical complementaria
    - Señal de nomenclatura de calle
    - Señal de parada de buses
    - Señal de parada de taxis

**Iluminación Vial**

- Generalidades
- Criterios de diseño
  - Nivel de luminancia
  - Uniformidad de la luminancia en la superficie de la carretera
  - Limitación del deslumbramiento
    - Deslumbramiento perturbador
    - Deslumbramiento molesto
  - Espectro de la lámpara
  - Orientación visual
- Clasificación de calzadas
- Propiedades reflectivas de la superficie de la calzada
  - Coefficiente de luminancia
  - Indicatriz de reflexión
- Disposición de luminarias
  - Unilateral
  - Tresbolillo
  - En oposición

- Suspendidas en la mitad de la vía
- Autopistas y vías de dos calzadas
  - Central con brazo doble
  - Combinación de brazos dobles y disposición en oposición
  - Disposición en catenaria
- Intersecciones
  - Con luminarias clásicas de alumbrado público
  - Alumbrado con postes altos
- Curvas
- Cálculos
  - Curva Isolux
  - Curva de utilización de rendimiento en calzada
  - Curva de distribución polar
  - Curvas Isocandelas
- Cálculos de iluminancia
  - Iluminación en un punto
  - Diagrama Isolux trazado por computadora
  - Iluminancia media
  - Cálculo empleando las curvas del factor de utilización
- Cálculos de luminancia
  - Luminancia en un punto
  - Luminancia media
- Eficacia energética y de costos
  - Eficacia de la lámpara y precio
  - Características de luminarias
  - Mantenimiento
  - Control de utilización
- Alumbrado de túneles
  - Requisitos durante el día
    - Zona de entrada o umbral
    - Zona de transición
    - Zona central
    - Zona de salida
    - Luminancia de las fuentes de luz
    - Efecto de parpadeo
    - Túneles cortos
  - Requisitos durante la noche
  - Consideraciones generales
    - Reflectancia y color de calzada, paredes y techo
    - Polvo y gases de escapes
  - Equipo de alumbrado
    - Lámparas y luminarias
    - Alumbrado de emergencia
    - Equipo de regulación
  - Recomendaciones generales

### **Iluminación Continua en Autopistas**

#### **Iluminación en Intercambios**

- Iluminación completa
- Iluminación parcial
- Otras recomendaciones

Iluminación en caminos rurales

### **Seguridad**

#### **Ejemplos Prácticos Cálculos de Iluminancia**

- Ejemplo N° 1
- Ejemplo N° 2
- Ejemplo N° 3a
- Ejemplo N° 3b
- Ejemplo N° 3c
- Ejemplo N° 4

#### **Ejemplo Prácticos Cálculos de Luminancia**

- Ejemplo N° 1
- Ejemplo N° 2

### **Iluminación en Areas Residenciales y Peatonales**

- Criterios de alumbrado
- Nivel de iluminación
  - Seguridad de movimientos
  - Reconocimiento facial
  - Orientación
  - Seguridad
  - Niveles recomendados
- Control del deslumbramiento
- Instalaciones de alumbrado
  - Lámparas
  - Luminarias
- Montaje de luminarias
  - Luminarias montadas sobre postes o columnas
  - Luminarias adosadas a las fachadas
  - Luminarias colgadas de cables
  - Luminarias a nivel del suelo

### **Depreciación y Mantenimiento de Instalaciones de Alumbrado Público**

- Introducción
- Depreciación de instalaciones
  - Nota
  - Rendimiento global de la instalación
  - Influencia de las radiaciones de las características reflejantes de las calzadas
  - Baja de flujo de fuentes luminosas
  - Ensuciamiento de fuentes y de luminarias y envejecimiento de luminarias
  - Variación excesiva de la temperatura en el interior de la luminaria
  - Vibraciones y causas accidentales deformantes
  - Reducción de la vida del balastro
  - Tensión incorrecta en bornes de lámparas o del equipo Lámpara - Accesorios

### **Mantenimiento de las Instalaciones**

- Las diferentes categorías de intervenciones
- El reemplazo de lámparas y la limpieza
- Limpieza

**Mantenimiento Mecánico**

**Mantenimiento Eléctrico y Óptico**

**Mantenimiento de la Protección Contra la Corrosión y Pintura**

**Mantenimiento de Equipos de Columnas de Gran Altura**

Plataforma fija

Plataforma móvil

**Depreciación y Mantenimiento de Instalaciones de Alumbrado de Túneles**

Influencia de modificación de las características reflejantes de la calzada

Variaciones excesivas de temperatura de las luminarias

Reemplazo de lámparas y limpieza

Mantenimiento de la protección contra la corrosión y pintura

**Glosario**

# CAPITULO I

## ELEMENTOS DEL DISEÑO

### DISTANCIA DE VISIBILIDAD

#### Distancia de Detención

Es la distancia recorrida por un vehículo entre el instante que el conductor aplica los frenos al percibir un obstáculo imprevisto sobre el camino, hasta su total detención delante del objeto, suponiendo condiciones normales de operación y manejo. Esta distancia varía de acuerdo a la velocidad, para obtener la distancia de detención hay que establecer previamente la velocidad directriz o de diseño.

Las distancias de detención es la suma de dos distancias:

- a) Distancia de percepción y reacción es la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor percibe el objeto y aplica el pedal del freno.
- b) Distancia de frenado es la distancia necesaria para detener el vehículo desde el instante de la aplicación del freno.

La fórmula que determina la distancia de detención es la siguiente:

$$D_1 = \frac{Vt}{3.6} + \frac{V^2}{254 (f \pm i)}$$

donde:

$D_1$  = distancia de detención, en m

$V$  = velocidad directriz, en km/h

$t$  = tiempo de percepción y reacción (segundos)

$f$  = coeficiente de fricción entre neumático y superficie de rodadura (longitudinal)

$i$  = valor absoluto de la pendiente (se usará el signo positivo cuando son subidas y el negativo para las bajadas).

Las distancias de detención en función de la velocidad directriz, en superficie horizontal y para rodadura mojada, se indica en la Tabla 3-I-1.

Para pavimentos mojados las velocidades máximas seguras son superiores al 90% de la velocidad directriz y a las velocidades medias.

El segundo término de la fórmula:

$$d = \frac{V^2}{254 (f \pm i)}$$

Donde:

$d$  = distancia de frenado, en m

permite calcular la distancia de frenado en pendientes, el primer término continúa invariable.

La pendiente tiene mayor importancia cuando se trata de un camino con calzadas separadas, resultando en consecuencia longitudes de detención más largas en las bajadas.

En los caminos de clasificación rurales y sin separación de calzadas o carriles, sobretodo en terrenos ondulados, la distancia de visibilidad en pendientes de bajada es mayor por lo que la corrección por este efecto se realiza automáticamente.

La Tabla 3-I-2, da las distancias de detención introduciendo el valor de la pendiente y para pavimentos mojados.

Las distancias de visibilidad de detención indicadas en las tablas antes mencionadas, son para vehículos automotores livianos, sin embargo se recomienda su empleo en el diseño sin considerar la distancia de visibilidad correspondiente a camiones que evidentemente es mayor, pero que se compensa por la mayor altura de la visión del conductor, y su fortaleza del freno.

### **Distancia de Visibilidad de Decisión**

Las distancias de detención indicadas anteriormente son las mínimas y permiten un correcto y razonable control para el diseño, pero en determinados casos el proyectista podrá adoptar en base a su juicio técnico y experiencia, una mayor longitud en relación con las reales necesidades que se le presentan.

La necesidad de su elección estará en directa relación con la importancia o caracterización del camino y del peligro que puede derivarse de una inadecuada señalización o control del tráfico, como puede resultar en las intersecciones de rutas y calles, intercambios, cambio de secciones, estrechamientos, etc.

La distancia de visibilidad de decisión, es la distancia que recorre el vehículo mientras su conductor detecta o percibe un obstáculo inesperado, evalúa el riesgo que representa y efectúa el cambio de maniobra necesario para elegir con seguridad la velocidad y dirección correcta.

La distancia de decisión proporciona al conductor una mayor longitud de visión para la eventualidad de un error de maniobra, o reducir la velocidad del vehículo sin detenerse.

En la Tabla, 3-I-3 se indican en forma empírica las distancias de decisión para casos rurales o urbanos, y el tipo de maniobra requerido para evitar imprevistos y asegurar el correcto destino.

Velocidad Directriz (km/h)	Velocidad de Marcha Segura (km/h)	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción f	Distancia de Frenado (m)	Distancia de Detención para Diseño (m)
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.4	8.9-8.9	29.7-29.7
40	40-40	2.5	27.8-27.8	0.38	16.6-16.6	44.4-44.4
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.35	24.8-28.1	57.4-62.8
60	55-60	2.5	38.2-41.7	0.33	36.1-42.9	74.3-84.6
70	63-70	2.5	43.8-48.6	0.31	50.4-62.2	94.2-110.8
80	70-80	2.5	48.6-55.6	0.3	64.3-84.0	112.9-139.6
90	77-90	2.5	53.5-62.5	0.3	77.8-106.3	131.3-168.8
100	85-100	2.5	59.0-69.4	0.29	98.1-135.8	157.1-205.2

Tabla 3-I-1 Distancia de detención en superficie horizontal (pavimento mojado)

Velocidad Directriz (km/h)	Distancia de Detención en Bajadas (m)			Velocidad de Marcha Segura (km/h)	Distancia de Detención en Subidas (m)		
	0.03	0.06	0.09		0.03	0.06	0.09
30	304	312	322	30	290	285	280
40	45.8	475	495	40	432	421	412
50	655	686	726	47	555	538	524
60	889	942	1008	55	713	687	666
70	1175	1258	1363	63	89.8	86	82.9
80	148.9	160.6	175.6	70	1071	1022	981
90	1806	1954	2144	77	1242	1188	1134
100	2208	2406	266.3	85	1479	1403	1339

Tabla 3-I-2 Distancia de detención en pendiente (pavimento mojado)

Velocidad Directriz  (km/h)	Distancia de Decisión para Evitar la Maniobra (m)				
	A	B	C	D	E
50	75	160	145	160	200
60	95	205	175	205	235
70	125	250	200	240	275
80	155	300	230	275	315
90	185	360	275	320	360
100	225	415	315	365	405

Tabla 3-I-3 Distancia de decisión para seis tipos de maniobra

El significado de cada maniobra indicado es el siguiente:

- Maniobra A: detención en camino rural.  
 Maniobra B: detención en camino urbano.  
 Maniobra C: cambio de velocidad, ruta, dirección en camino rural.  
 Maniobra D: cambio de velocidad, ruta, dirección en camino suburbano.  
 Maniobra E: cambio de velocidad, ruta, dirección en camino urbano.

### Distancia de Rebaso

La distancia para rebasar se define, como la longitud del camino que permite a un vehículo rebasar al que se encuentra circulando en su mismo carril y dirección, con toda seguridad, sin poner en peligro la circulación de un tercer vehículo que ocupa el carril opuesto en dirección contraria y se hace visible al inicio de la maniobra.

Es de importancia para el proyectista considerar que exista la oportunidad de rebasar en la mayor longitud posible del camino, pero también seleccionar

cuidadosamente su ubicación acorde con las condiciones geométricas y topográficas existentes, para que resulte un diseño equilibrado y económico.

Para lograr este objetivo, se supone que el vehículo que inicia a rebasar ha de circular a una velocidad superior aproximadamente a los 15 km/h con respecto al vehículo que ha de rebasar, manteniendo éste una velocidad constante.

Del mismo modo, cuando el vehículo retorna a su carril debe existir una adecuada longitud sin obstáculos para que no ponga en peligro la circulación del vehículo que se aproxima por el carril contrario.

La mínima distancia para rebasar está gobernada por la integración de cuatro distancias como se indica en el gráfico 3-I-1 y cuyos elementos de diseño se encuentra en la Tabla 3-I-4.

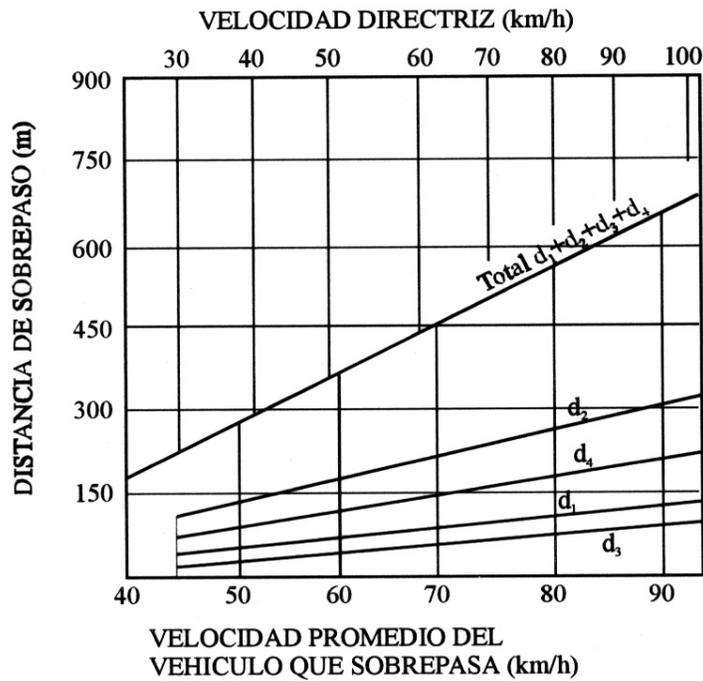
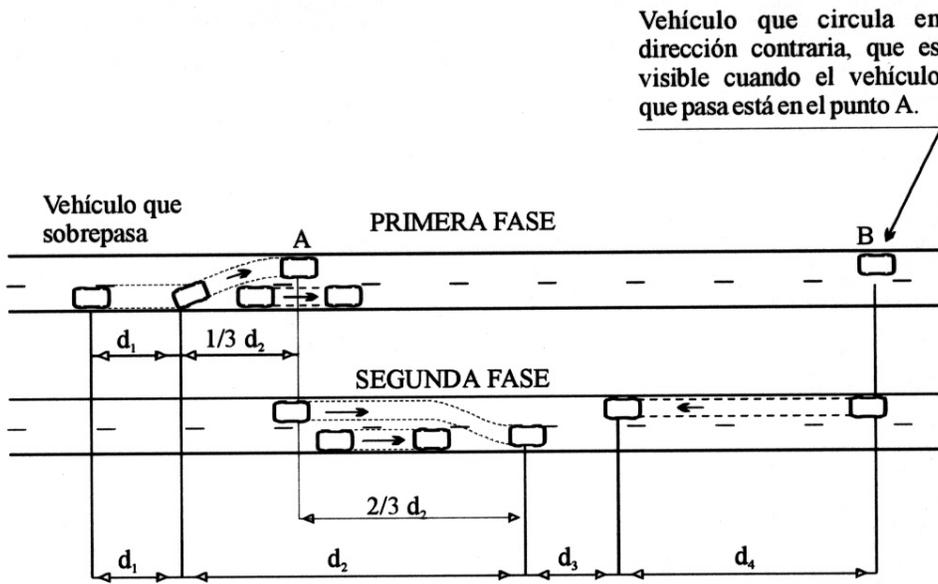


GRAFICO 3-I-1 VISIBILIDAD DE SOBREPASO PARA CARRETERA DE DOS CARRILES

La tabla 3-I-5 muestra la distancia mínima de rebaso para caminos de dos carriles.

$$d_2 = 0.278 v t_2$$

Por simplicidad, los cálculos están basados en las velocidades observadas y comportamiento promedio de los conductores, para caminos con dos carriles y direcciones opuestas, dado que para calzadas multicarriles y direcciones opuestas separadas por elementos de seguridad, tal situación de peligro es inexistente.

$d_3$ = Varía entre 30 y 90 metros de acuerdo con la velocidad.

$$d_4 = 2 \frac{d_2}{3}$$

Las distancias que intervienen en el cálculo, tienen el siguiente significado:

donde:

$d_1$ = distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción y durante el inicio de la aceleración

$t_1$ = tiempo de la maniobra inicial, en segundos

$d_2$ = distancia recorrida por el vehículo que rebasa, desde el momento que entra en el carril izquierdo, hasta el momento que vuelve al carril derecho

$t_2$ = tiempo que demora en ocupar el carril izquierdo, el vehículo que se adelanta, en segundos

$d_3$ = distancia entre el vehículo que rebasa al término de su maniobra y el vehículo que se aproxima en el carril opuesto

$a$ = aceleración promedio, en km/h/s

$v$ = velocidad promedio del vehículo que se adelanta, en km/h

$d_4$ = distancia recorrida por el vehículo que se aproxima en el carril opuesto, que equivale a los dos tercios de la distancia  $d_2$ , se supone que ambos vehículos circulan a la misma velocidad

$m$ = diferencia de velocidades entre el vehículo que se adelanta y el que es rebasado, en km/h

y resultan como consecuencia de la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$d_1 = 0.278 t_1 \left( v - m + a \frac{t_1}{2} \right)$$

Las distancias para rebasar son las mínimas que permiten la maniobra segura para un vehículo, por lo que de ser posible se incrementará en su longitud para la operación simultánea de dos o más vehículos, de acuerdo con la importancia del camino.

Conforme aumenta el volumen de tránsito es importante proyectar tramos de rebaso mas largos y frecuentes para evitar que los niveles de servicio considerados se vean afectados.

Otro factor importante a ser evaluado por el proyectista, es la pendiente del camino para el vehículo que inicia a rebasar en tramos de subida, dado que si bien el vehículo a rebasar disminuirá progresivamente su velocidad, el vehículo que circula por el carril opuesto del mismo modo incrementará su velocidad

pudiendo crear una situación peligrosa.

Si bien no existe un criterio establecido al respecto, es conveniente su oportuna evaluación incrementando las distancias que se establecen en las Tablas 3-I-4 y 3-I-5.

Velocidad Promedio de Rebaso (km/h)	50-65 56.2	66-80 70.0	81-95 84.5	96-110 99.8
Maniobra Inicial				
a=aceleración promedio (km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
t1= tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
d1=distancia recorrida (m)	45	65	90	110
Ocupación carril izquierdo:				
t2=tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
d2=distancia recorrida(m)	145	195	250	315
Longitud Libre				
d3=distancia recorrida (m)	30	55	75	90
Vehículo que se aproxima:				
d4=distancia recorrida (m)	95	130	165	210
Distancia Total: d1+d2+d3+d4 (m)	315	445	580	725

Tabla 3-I-4 Distancia de rebaso-elemento de diseño camino de dos carriles

Velocidad Directriz (km/h)	Velocidades		Distancia de rebaso mínima para diseño (m)
	Vehículo que es rebasado (km/h)	Vehículo que se adelanta (km/h)	
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670

Tablas 3-I-5 Distancia de rebaso mínimas para caminos rurales de dos carriles

## ALINEAMIENTO HORIZONTAL

### Coefficiente de fricción lateral

Para obtener un diseño equilibrado de las curvas horizontales deberán determinarse los radios de éstas para la velocidad directriz dada, se recomienda utilizar valores de la fricción inferiores a los máximos establecidos como seguros.

La relación que liga el coeficiente de fricción lateral de un vehículo que circula en una curva de radio establecido, velocidad conocida y peralte definido, está dada por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{V^2}{127R} - \frac{p}{100}$$

donde:  $f$  = coeficiente de fricción lateral  
 $R$  = radio de la curva en metros  
 $V$  = velocidad directriz km/h  
 $p$  = peralte

El coeficiente de fricción lateral que se adopta para el diseño, es el máximo que ofrece un razonable margen de seguridad sin proporcionar molestias al conductor.

### Valores máximos de peralte

Se han fijado estos valores máximos de acuerdo a los siguientes factores:

a) Caracterización de los caminos por su

uso o destino

- b) Condiciones topográficas (llano-ondulado-montañoso)
- c) Condición de operación de los vehículos (zonas de restricción de velocidades o zonas sub-urbanas)
- d) Tráfico y nivel de servicio esperado

Las condiciones climáticas será un factor que debe ser considerado convenientemente por el proyectista.

<u>Peralte</u>	<u>Características del área</u>
0.1	En zonas rurales montañosas
0.08	En zonas rurales llanas
0.06	En zonas próximas a las urbanas, con vehículos que operan a bajas velocidades
0.04	En zonas urbanas

### Radios mínimos de curvatura

De acuerdo a los coeficientes de fricción lateral adoptados se han determinado los radios mínimos de las curvas circulares, para cada valor del peralte, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$R = \frac{V^2}{127 \left( \frac{p}{100} + f \right)}$$

Estos valores se han tabulado en la tabla 3-I-6.

### **Determinación del peralte en función del radio de la curva y la velocidad directriz.**

Para una velocidad directriz dada, hay diversas maneras de fijar el peralte en función del radio.

Se ha adoptado el criterio siguiente:

Para radios grandes, el peralte se ha fijado de modo de contrarrestar totalmente la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos que circulan a la velocidad de marcha. (Ver gráfico 3-I-2 Relaciones entre velocidades de marcha y directriz)

A partir de un determinado radio y hasta el radio mínimo, el peralte va aumentando gradualmente de modo de hacerse máximo en correspondencia con dicho radio mínimo.

#### **Radios mínimos que no exigen peralte**

El perfil transversal de la calzada, en alineamiento recto, o sea la sección normal, está constituido por dos segmentos de recta, generalmente simétricos respecto del eje, cuya pendiente transversal varía entre el 1% y el 3%.

Para curvas con radios de gran magnitud se ha admitido mantener este perfil normal, siempre que el coeficiente centrífugo:

$$\frac{v^2}{127R}$$

no supere el valor de 0.015, para vehículos que circulen a la velocidad directriz.

Esto significa que en dicho caso el coeficiente de fricción de los vehículos que transiten por el carril externo estará

comprendido entre 0.025 y 0.040, debido a que la pendiente transversal de dicho carril, es negativa.

#### **Relación Peralte y Rasante**

En curvas horizontales de radios pequeños y donde la rasante está en plano inclinado, hay que tomar ciertas precauciones para evitar que el diseño geométrico represente un peligro al conductor de un vehículo.

Es necesario determinar la pendiente de la resultante ("U") entre el peralte y la rasante cuando:

- 1) La velocidad directriz es de 50 km/h o menor y el radio límite de 200 m. La pendiente U no debe ser mayor del 11%.
- 2) La velocidad directriz es mayor de 50 km/h y el radio límite de 300 m. La pendiente U no debe ser mayor del 10%.

La pendiente de la resultante está dada por la siguiente ecuación:

$$U (\%) = \sqrt{g^2 + P^2}$$

donde: g = pendiente de la rasante (%)  
p = peralte (%)

Los radios mínimos para los cuales no es necesario peraltar las curvas, aparecen en la tabla 3-I-7

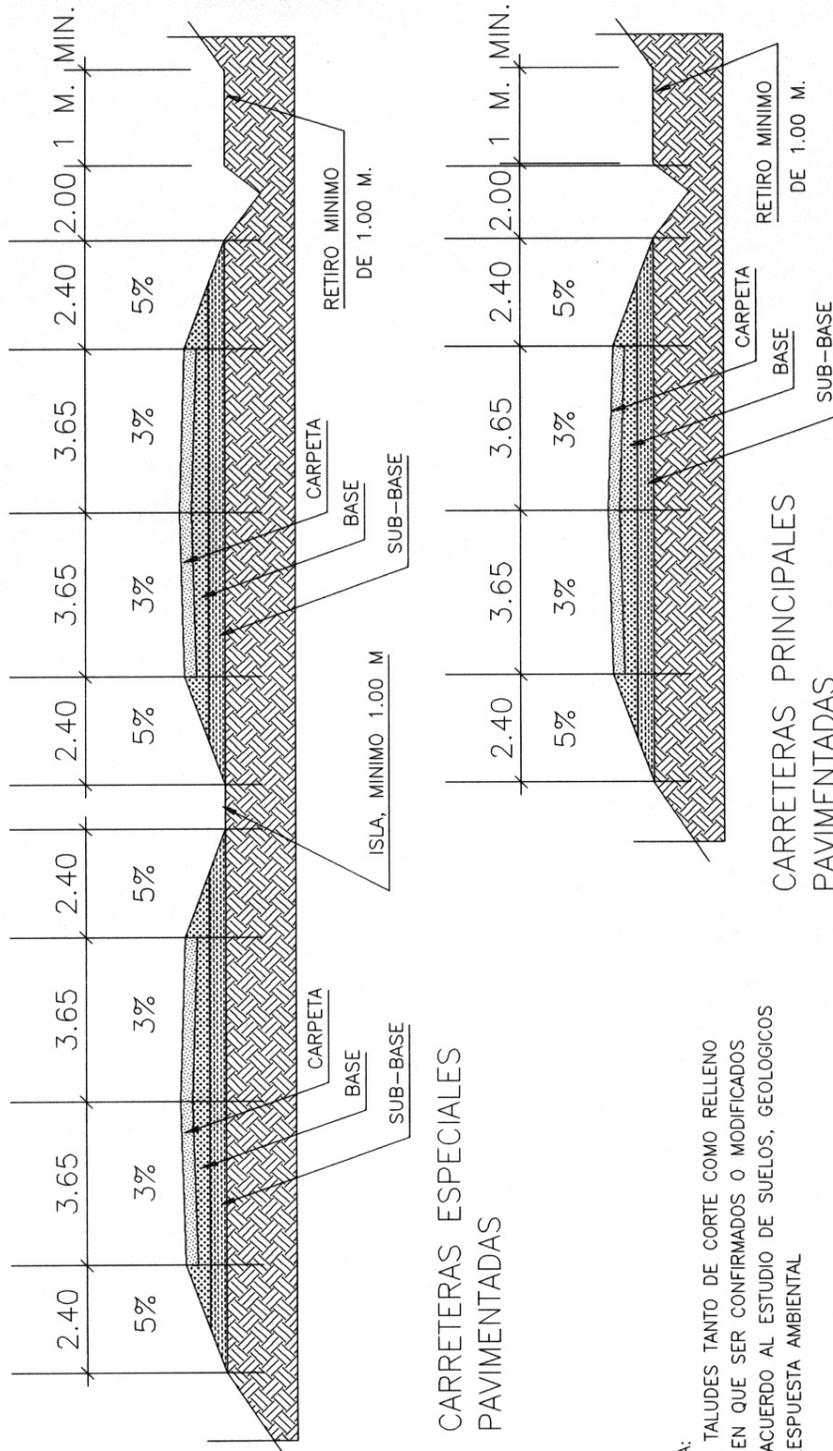


GRAFICO 3-1-10 Secciones Típicas

Para radios menores que los de la tabla 3-I-7, si los valores de los peraltes obtenidos, fueran inferiores a la pendiente transversal del pavimento, se adoptará la magnitud de esta pendiente transversal como peralte en todo el ancho de la calzada.

RADIO MÍNIMO (m)								
Velocidad (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Fricción Lateral	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	13	0.13
<u>Peralte</u>								
2.00%	35	66	109	166.66	226.84	314.8	425	524.67
3.00%	34	63	104	157.4	214.24	296.28	398.4	491.88
4.00%	32	60	98	149.12	202.96	279.82	375	462.94
5.00%	31	57	94	141.66	192.82	265.09	354.2	437.22
6.00%	30	55	89	134.91	183.63	251.84	335.5	414.21
7.00%	28	52	86	128.78	175.29	239.85	318.7	393.5
8.00%	27	50	82	123.18	167.67	228.95	303.6	374.76
9.00%	26	48	79	118.05	160.68	218.99	289.8	357.73
10.00%	25	47	76	113.33	154.25	209.87	277.2	342.17

Tabla 3-I-6 Radios mínimos absolutos

PERALTE MÁXIMO	0.04	0.06	0.08	0.1
VELOCIDAD DIRECTRIZ km/h	<u>RADIOS</u>			
30	400	500	500	500
40	700	800	800	800
50	1000	1000	1200	1200
60	1300	1400	1500	1500
70	2000	2000	2000	2000
80	2500	2500	2500	2500
90	3000	3000	3000	3000
100	5000	5000	5000	5000

TABLA 3-I-7 Radios a partir de los cuales no se necesita peralte

### Radio s mínimos deseables

Con los radio s mínimos determinados precedentemente y para vehículos marchando a la velocidad directriz, la fricción que se utiliza, corresponde a los valores máximos adoptados.

Radio s deseables son aquellos que cumplen simultáneamente las condiciones de los siguientes criterios:

- C La fricción utilizada para vehículos marchando a la velocidad directriz, corresponda a coeficientes menores que la mitad de los máximos.
- C Durante la noche permitan iluminar suficientemente a los objetos colocados en el camino, a una distancia igual a la de frenado.

### Curvas espirales de transición - Longitud mínima

#### Primer criterio - Comodidad

Se adopta la espiral de Euler conocida también como clotoide. La fórmula que proporciona la longitud mínima de la espiral está dada por la siguiente expresión:

$$Le = 0.0702 \frac{V^3}{RA}$$

donde:  $A$  = valor empírico entre 1 y 3

$Le$  = Longitud de transición espiral

El valor de  $A$  se relaciona con el confort y la seguridad.

#### Segundo criterio - Apariencia general

Se considera que la transición debe tener una longitud mínima tal que un vehículo marchando a la velocidad directriz, no tarde menos de dos segundos en recorrerla.

En consecuencia la longitud mínima está dada por la siguiente expresión:

$$Le = \frac{V}{1.8}$$

Donde sea posible se introducirá una longitud de transición superior a 30 metros.

#### Tercer criterio - Apariencia del borde

Normalmente, el desarrollo del peralte debe efectuarse a lo largo de la espiral. En consecuencia, bajo este aspecto, la longitud mínima surge de la pendiente relativa máxima a dar al borde exterior de la curva de transición con respecto al eje de la calzada.

Para suavizar el quiebre de pendiente en los bordes de la curva en los puntos T.E. y C.E., se han adoptado los siguientes valores máximos de la pendiente relativa máxima a dar al borde exterior de la curva de transición con respecto al eje:

$$i = \frac{40}{V}$$

donde:  $i$  = a la pendiente relativa expresada en porcentaje.

Se verifica que a mayor velocidad directriz, menor resulta el quiebre de pendiente admisible, la longitud mínima de la transición deberá ser la siguiente.

$$Le = 1.25(a+s)pV$$

donde: a=ancho de calzada  
s=sobreeancho

valores de las longitudes mínimas de transición.

La tabla 3-I-8 indica el ancho de calzada para dos carriles en función de la velocidad.

*Las longitudes dadas en las tablas son las mínimas. Cuando no existan inconvenientes, es aconsejable aumentarlas en el orden entre 50% al 100%*

### Longitudes de transición espiral

Las tablas N/ 3-I-9 a 3-I-12 indican los

Se exceptúan los casos en rasante horizontal o de poca pendiente (del orden del 0.3%) ya que se aumentaría la zona de la calzada con escasa pendiente transversal y de difícil drenaje superficial.

Velocidad	Ancho de Calzada			
	Carretera Especial	Carretera Principal	Carretera Secundaria	Camino Vecinal
entre 60 y 80	7.30 m			
entre 50 y 80		7.30 m		
entre 40 y 60			6.50 m	
entre 30 y 50				5.50 m

Tabla 3-I-8 Ancho de calzada

### Transición del peralte

Para obtener el perfil peraltado, es necesario hacer rotar el perfil de la calzada a lo largo de la transición alrededor de una de las líneas siguientes:

- Línea central o eje
- Borde interno de la calzada
- Borde exterior de la calzada

El gráfico 3-I-3 muestra en perspectiva el diagrama de una transición espiral cuya línea de rotación es el borde externo del pavimento

(a) y en (b) la línea de rotación es el borde interno.

El gráfico 3-I-4 indica la planta de una curva circular con transiciones espirales y un típico sobreeancho.

En el gráfico 3-I-5 se observan los perfiles del eje central y los bordes de las calzadas para una transición espiral que rota sobre el eje, en el segundo diagrama la rotación es en el borde interno y finalmente se indica la rotación en el borde externo.

ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CURVAS  
HORIZONTALES EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ

R (m)	V=30 km/h			V=40 km/h			V=50 km/h			V=60 km/h			V=70 km/h			V=80 km/h			V=90 km/h			V=100 km/h			
	p (%)	Le (m)	2C	p (%)	Le (m)	4C	p (%)	Le (m)	2C	p (%)	Le (m)	4C	p (%)	Le (m)	2C	p (%)	Le (m)	4C	p (%)	Le (m)	2C	p (%)	Le (m)	4C	
7000	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
5000	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
3000	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
2500	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
2000	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
1500	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
1400	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
1300	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
1200	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
1000	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
900	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
800	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
700	S.N.	0	0	S.N.	0	0	0																		
600	S.N.	0	0	S.I.	22	33	2.3	28	42	2.3	33	50	2.7	39	59	3.0	44	66	3.2	50	75	3.5	56	84	
500	S.N.	0	0	S.I.	22	33	2.3	28	42	2.7	33	50	3.1	39	59	3.5	44	66	3.6	50	75	3.9	56	84	
400	S.N.	0	0	S.I.	22	33	2.5	28	42	2.9	33	50	3.4	39	59	3.7	44	66	3.8	50	75	4.0	56	84	
300	S.N.	0	0	S.I.	22	33	2.8	28	42	3.3	33	50	3.8	39	59	4.0	44	66	4.0	50	75				
250	S.I.	17	26	2.4	22	33	2.8	28	42	3.3	33	50	3.8	39	59	4.0	44	66							
200	S.I.	17	26	2.6	22	33	3.0	28	42	3.6	33	50	3.9	39	59										
175	2.3	17	26	2.8	22	33	3.3	28	42	3.8	33	50													
150	2.4	17	26	2.9	22	33	3.5	28	42	3.9	33	50													
140	2.5	17	26	3.1	22	33	3.7	28	42	4.0															
130	2.6	17	26	3.2	22	33	3.8	28	42																
120	2.7	17	26	3.4	22	33	3.8	28	42																
110	2.8	17	26	3.4	22	33	3.9	28	42																
100	2.9	17	26	3.5	22	33	4.0	28	42																
90	3.0	17	26	3.6	22	33																			
80	3.2	17	26	3.7	22	33																			
70	3.3	17	26	3.8	22	33																			
60	3.3	17	26	3.9	22	33																			
50	3.5	17	26	4.0																					
40	3.7	18	27																						
30	3.9	19	28																						
	Rmin=32																								

Tabla: 3-1-9

Paralte máximo = 4%

R = radio de la curva  
V = velocidad directriz  
p = peralte  
Le = longitud mínima de transición espiral  
SN = sección normal  
SI = sección invertida, peralte similar a la pendiente normal  
C = carriles

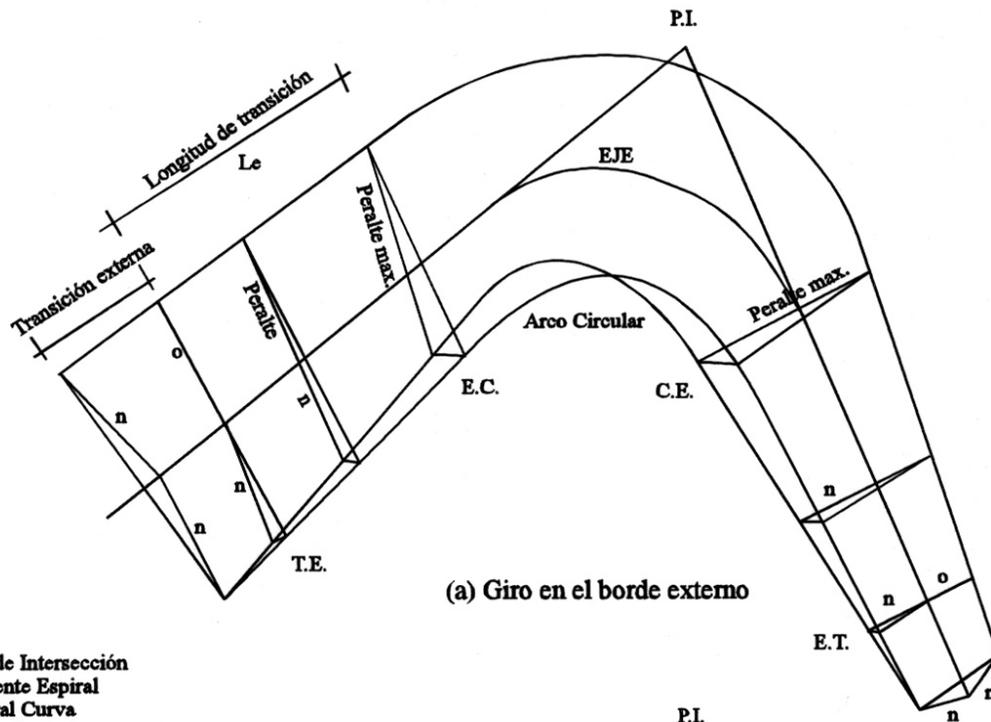




ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CURVAS HORIZONTALES EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ

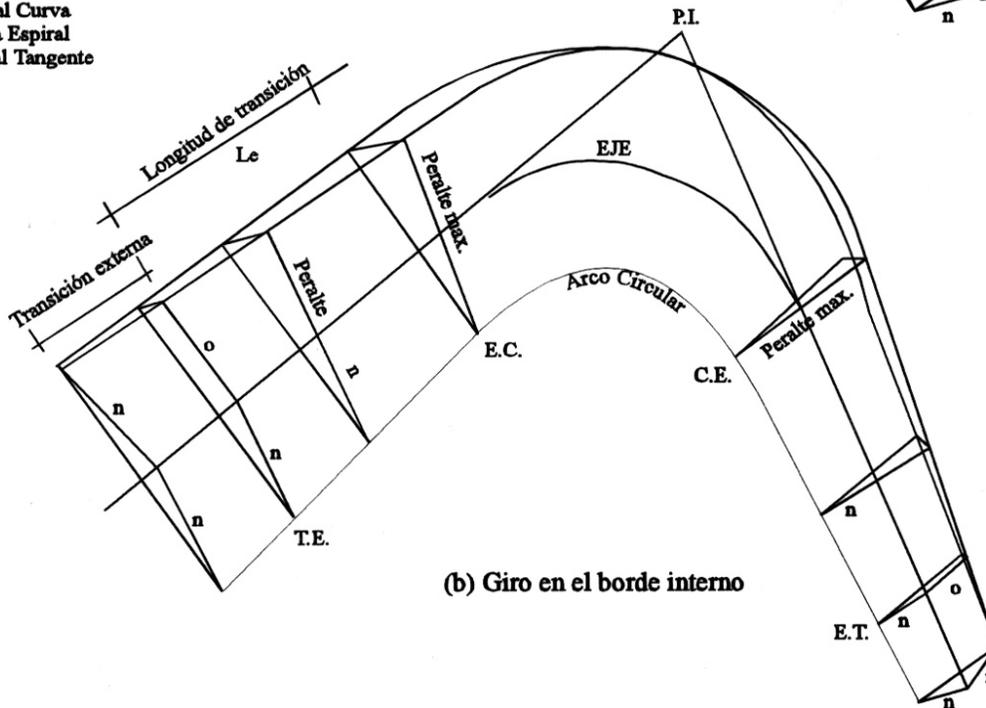
Table with columns for velocity (V=30 to V=100 km/h) and parameters (R, p, Le, C) for various curve types (S.N., S.I., C). Includes a legend for R, V, p, Le, SN, SI, C and Rmin values for different curve types.

Tabla: 3-I-12



(a) Giro en el borde externo

P.I. Punto de Intersección  
 T.E. Tangente Espiral  
 E.C. Espiral Curva  
 C.E. Curva Espiral  
 E.T. Espiral Tangente



(b) Giro en el borde interno

GRÁFICO 3-I-3 Diagrama de transición espiral del peralte

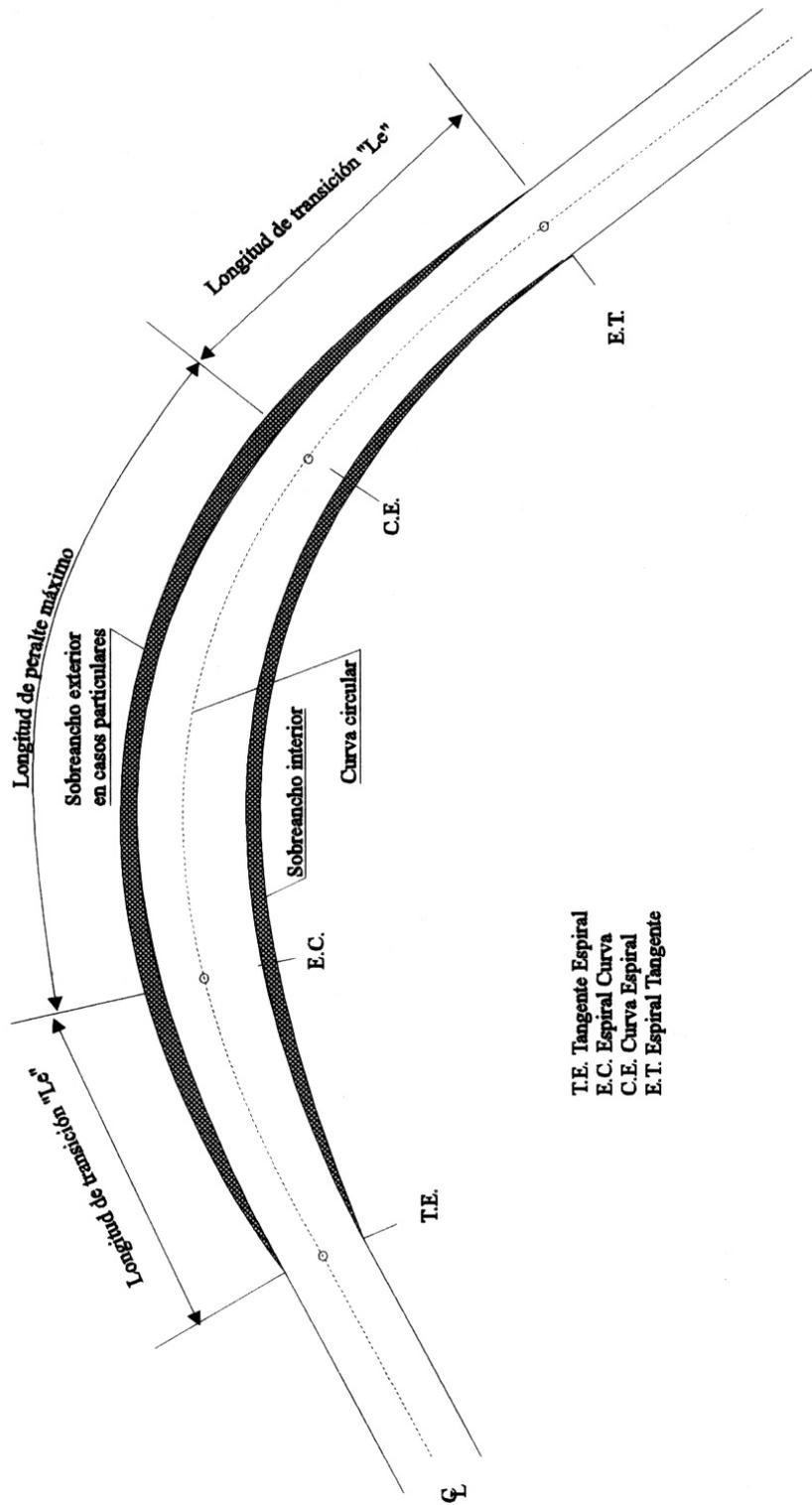


GRÁFICO 3-1-4 Transición Espiral de Peralte y Sobreechanco

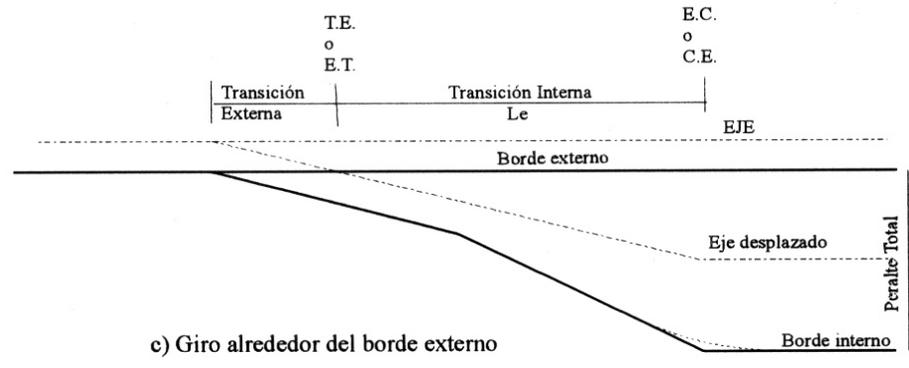
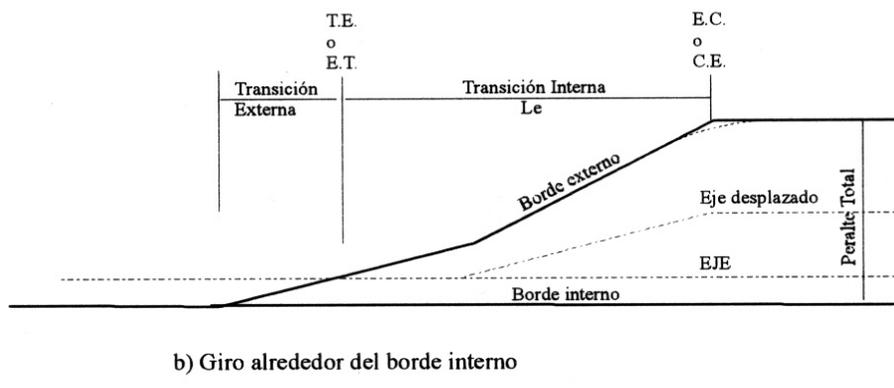
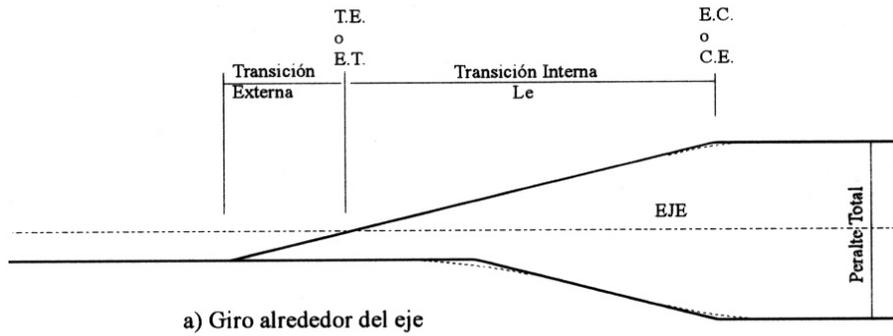


GRÁFICO 3-I-5 Giro del peralte para transición espiral

Se recomienda en general el empleo del primer método ya que la deformación general del perfil se reparte uniformemente entre ambos bordes y no se modifica el eje.

El segundo método se utilizará como excepción en los casos en que el pavimento se encuentre a la altura mínima sobre las cunetas o napa freática, o la curva se encuentre en correspondencia con obras de arte con tapada mínima.

El tercer método podrá utilizarse como excepción también, cuando por razones estéticas no sea conveniente deformar el perfil externo, que es el más notado por los conductores, o cuando el perfil resultante se adapte a la configuración del terreno. El quiebre que se produce en los bordes de la calzada en los puntos de empalme de la espiral con la tangente o la curva circular, se eliminará mediante curvas verticales.

#### **Radio Mínimo a partir de los cuales no se requiere utilizar curvas de transición espirales**

Considerando el factor de comodidad se establece que si el desplazamiento "P" del

arco circular es menor a 0.10 m, no se requiere de curva de transición para desarrollar el peralte, ya que el vehículo describirá por sí una transición sin apartarse más que de 0.10 m del eje de su carril; el valor del desplazamiento "P" se lo obtiene de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Le^2}{24}$$

El radio mínimo que no requeriría transición espiral en función de las velocidades de diseño se lo obtiene de la siguiente fórmula:

$$R_M = 0.098V^2$$

En la tabla 3-I-13 se indican para cada velocidad directriz, los radios mínimos a partir de los cuales no es imprescindible introducir transiciones espirales.

*Es importante mencionar que en muchos países se ha eliminado el uso de transiciones espirales y en reemplazo se ha introducido el sistema de curvas compuestas.*

VELOCIDAD DIRECTRIZ km/h	RADIOS A PARTIR DE LOS CUALES NO ES IMPRESINDIBLE INTRODUCIR TRANSICIONES ESPIRALES
30	90
40	160
50	250
60	400
70	500
80	700
90	800
100	1000

Tabla 3-I-13

### Transición simple

Una manera de determinar la longitud de una transición simple es considerar la pendiente relativa o la proporción de cambio de los bordes de la calzada, cuando el eje de rotación es la línea central. La tabla 3-I-14 muestra esta proporción para una velocidad determinada, y el gráfico 3-I-6 muestra la forma de desarrollo de la transición simple. Los gráficos 3-I-7 y 3-I-8, ilustran la ubicación de la transición simple en planta y perfil.

Cuando el eje de rotación es uno de los bordes de la calzada, la distancia B que se indica en el gráfico 3-I-6, será determinada en la misma forma anterior.

La longitud de la transición simple ( $L_s$ ) se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_s = BD$$

B está indicada en el gráfico 3-I-6

D está indicada en la tabla 3-I-14

V	Gradiente Relativa (%)	Proporción de cambio (D)
30	0.75	1: 133
40	0.7	1: 143
50	0.67	1: 150
60	0.6	1: 167
70	0.55	1: 182
80	0.5	1: 200
90	0.48	1: 210
100	0.45	1: 222

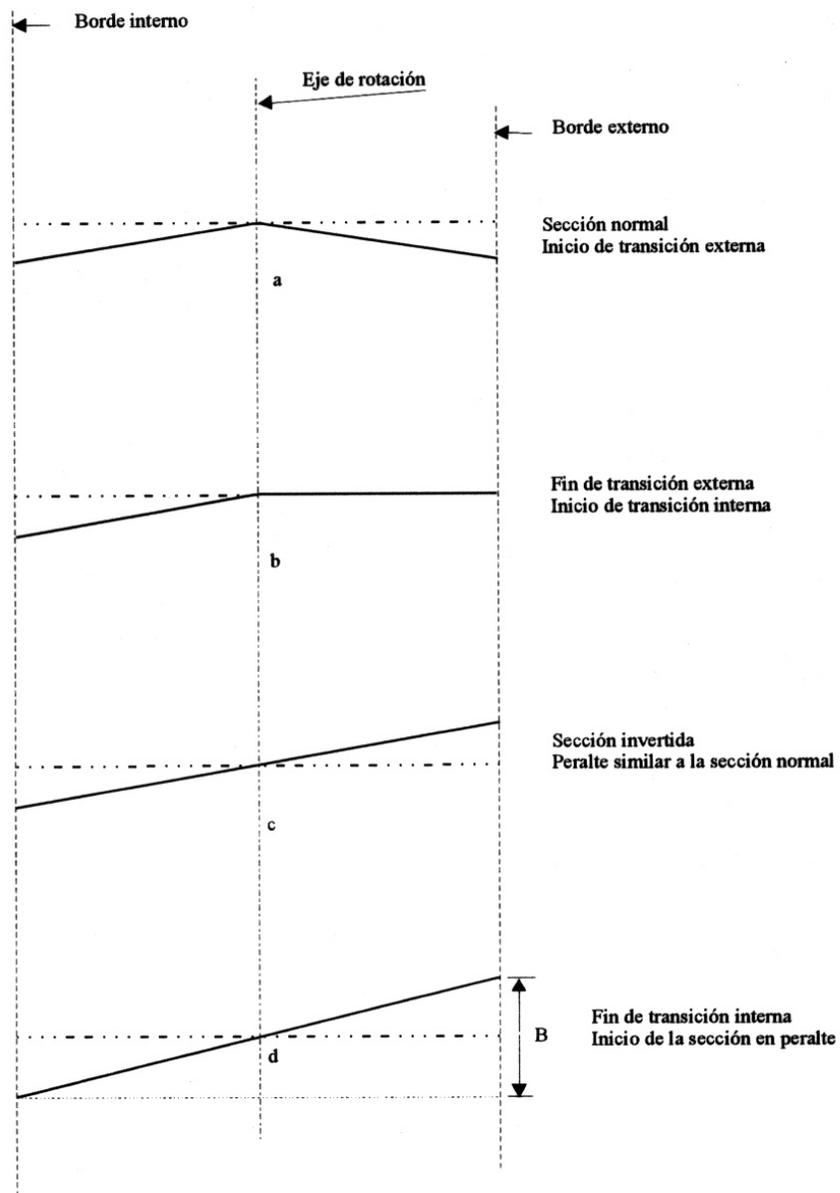
Tabla 3-I-14

También se puede determinar la longitud de la transición simple, por medio de las tablas 3-I-9 a 3-I-12 que dan la longitud mínima para  $L_e$  que puede aplicarse a  $L_s$ .

En este caso  $2/3$  del desarrollo del peralte se efectuará en la tangente y  $1/3$  en la curva circular. Se sugiere que la longitud de la transición sea aproximada a un número divisible entre 3 para tener, en esta forma, siempre segmentos de números enteros. Esta distribución de la transición tiene cierta flexibilidad, en medios locales se acostumbra

distribuir el 80% de la transición en la tangente y un 20% en la curva.

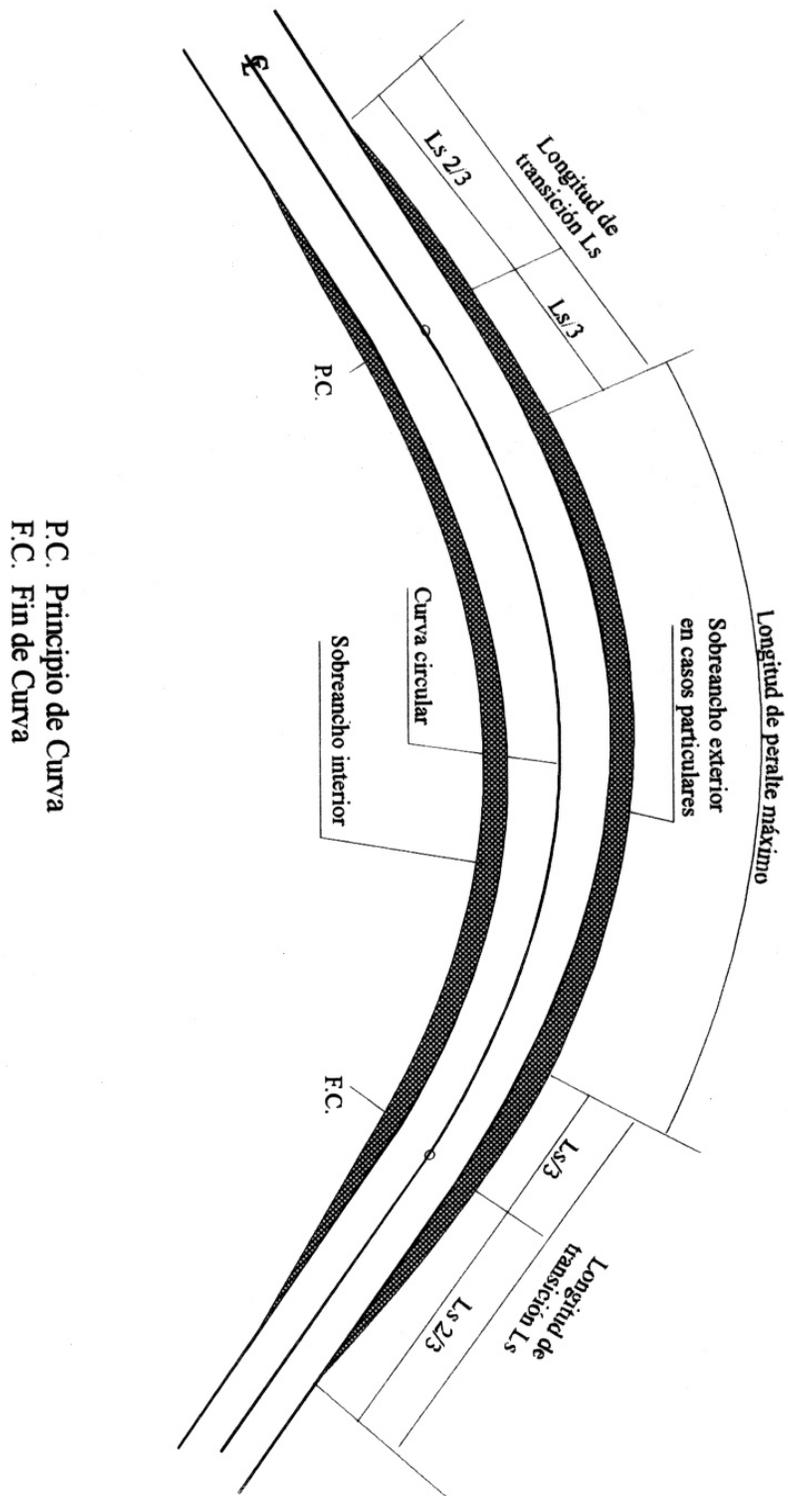
El gráfico 3-I-7 muestra la planta de una curva circular con transiciones simples, el gráfico 3-I-8 muestra los perfiles del eje central y los bordes de la calzada con sus respectivas rotaciones de transición hasta llegar al peralte máximo.



El gráfico ilustra la transición en la entrada a una curva circular, la salida es igual pero invertida, donde:

- d - Fin de la sección en peralte, inicio de la transición interna
- c - No cambia
- b - Fin de transición interna. Inicio de transición externa
- a - Fin de transición externa, sección normal

GRÁFICO 3-I-6 Desarrollo de transición simple



P.C. Principio de Curva  
F.C. Fin de Curva

GRÁFICO 3-1-7 Transición simple de peralte y sobrecancho

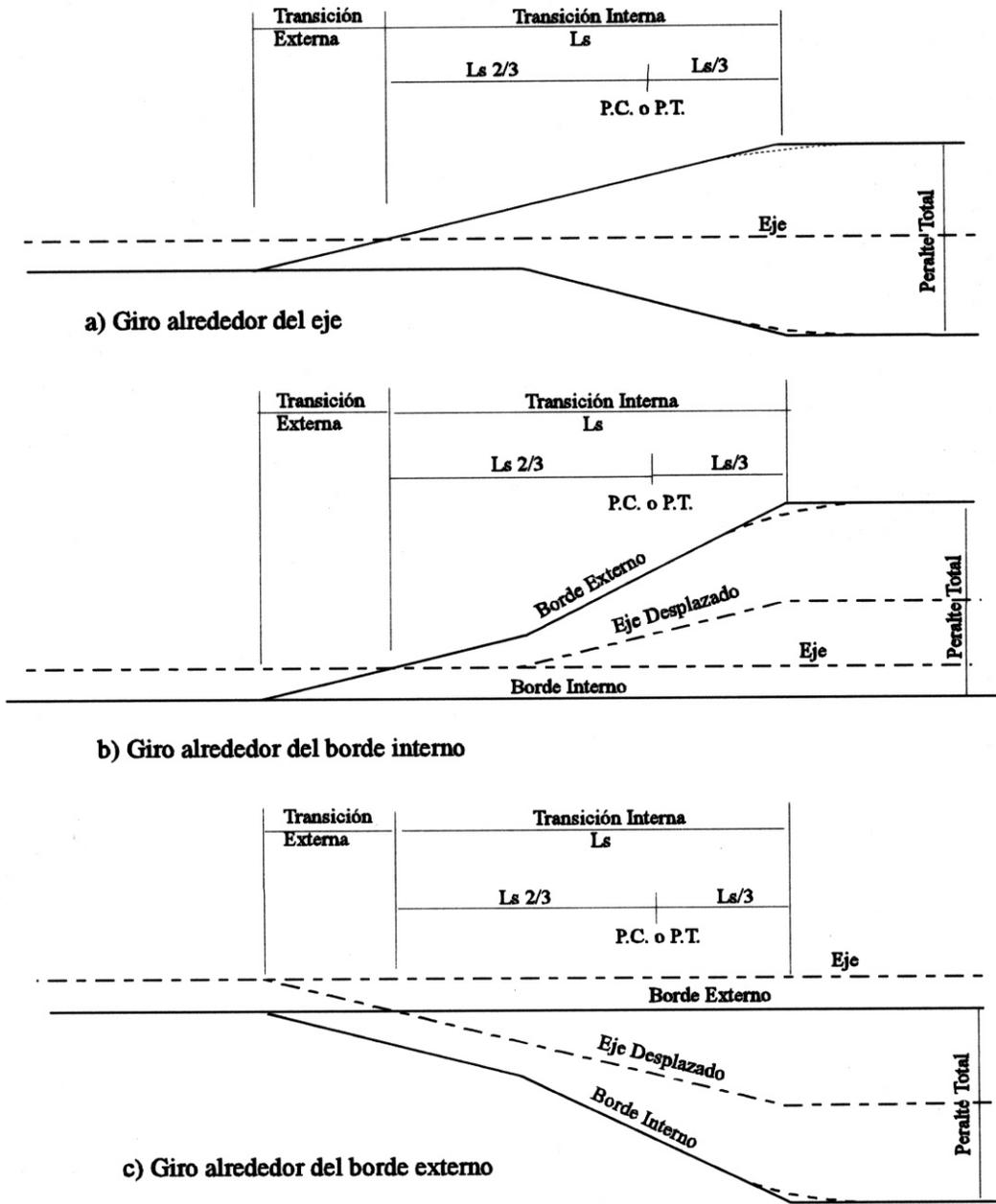


GRÁFICO 3-I-8 Giro del peralte para transición

## Curvas circulares compuestas

Las curvas compuestas pueden ser usadas como curvas de transición en reemplazo de las transiciones espirales; cuando cumplen esta función, la relación entre la longitud del radio mayor y el radio menor no debe exceder de 1.5:1. Cuando se usan curvas compuestas en rampas, particularmente en intercambios tipo trébol, la relación entre el radio mayor y el radio menor no debe exceder de 2:1.

La longitud de las curvas compuestas no puede ser muy pequeña, ya que estas cumplen una función de transición donde armónica y pausadamente deben cambiar de curvas de radios grandes a curvas de radios mas pequeños o viceversa.

La tabla 3-I-15 indica las longitudes mínimas de arco de las curvas en función de los radios.

LONGITUD (m) DEL ARCO DE LA CURVA CIRCULAR							
Radio	30	50	60	75	100	125	150 o mayor
Mínima crítica	12	15	20	25	30	35	45
Mínima recomendable	20	20	30	35	45	55	60

Tabla 3-I-15 Longitud mínima de curvas horizontales

## Sobreanchos

El sobreancho en las curvas permitirá mantener las mismas condiciones de seguridad en el cruce de vehículos que en la sección en tangente. La elección de su empleo y magnitud estarán en relación directa con la categoría asignada al camino, teniendo en cuenta su costo y su real participación, no se recomienda sobreancho a las curvas cuando su cálculo arroje un valor inferior a 0.50m.

En el caso de curvas con transición espiral, el sobreancho se deberá repartir, en general, por partes iguales a ambos lados del eje.

Por razones prácticas que lo justifiquen, podrá ser totalmente ubicado en correspondencia con el borde interior de la curva.

La forma de resolverlo para curvas con transición espiral será distribuirlo a lo largo de su longitud de modo que se obtenga el valor total del mismo en el punto E.C., tal como se indica en el gráfico 3-I-4.

Cuando no se empleen transiciones espirales, el desarrollo del sobreancho se hará progresivamente a lo largo de la longitud del desarrollo del peralte, como se indica en el gráfico 3-I-7.

Considerando la velocidad directriz, el radio de la curva circular y el número de carriles para un vehículo representativo del tránsito de la ruta se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = n (R - \sqrt{R^2 - l^2}) + \frac{V}{10 \sqrt{R}}$$

Donde:

$S$  = valor sobreechancho en metros

$n$  = número de carriles de la calzada

$l$  = longitud entre la parte frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, en metros

La tabla 3-I-16 indica los sobreeanchos para dos carriles y velocidades directrices entre 30 y 100 km/h.

El vehículo representativo elegido tiene una longitud de 8 metros entre la parte frontal y el eje posterior.

El gráfico 3-I-9 muestra un camión semiremolque transitando en una curva circular.

### Secciones Típicas

Según Decreto No. 173 de la LEY DE VÍAS DE COMUNICACIÓN TERRESTRE:

Artículo 1º: El sistema vial del país está integrado por:

- 1) Carreteras Especiales
- 2) Carreteras Principales o Troncales
- 3) Carreteras Secundarias
- 4) Caminos Vecinales
- 5) Caminos de Penetración

Para los efectos de ésta ley, el término carretera comprende cualquiera de las cinco clases anteriores.

Artículo 2º: Serán consideradas Carreteras Especiales con acceso enteramente controlado o parcialmente controlado, todas las que siendo de importancia especial para el país, absorban un tráfico que justifique su construcción, con las características de amplitud que requiere esta clase de rutas.

Artículo 3º: Se consideran Carreteras Principales o Troncales, las que forman la estructura vital de las redes viales de los países centroamericanos o de la red de la República y además aquellas que sin ser esenciales para la articulación general de la red de carreteras, unan puntos de gran importancia o tengan un volumen de tránsito cuya intensidad lo justifique.

Artículo 4º: Se consideran Carreteras Secundarias, las que comuniquen a los pueblos con la Red General de Caminos Principales o los que comuniquen pueblos entre sí, sin tener importancia especial al tránsito muy intenso.

Artículo 5º: Caminos Vecinales son los que comunican pequeños pueblos o fincas entre sí, o con otros caminos de cualquier clase de tránsito reducido.

Artículo 6º: Vías de Acceso o de Penetración, son las rutas transitables temporalmente por falta de Carreteras Principales, Carreteras Secundarias y Caminos Vecinales o puestos en uso por las necesidades de apertura, construcción o rectificación de cualquiera de éstos.

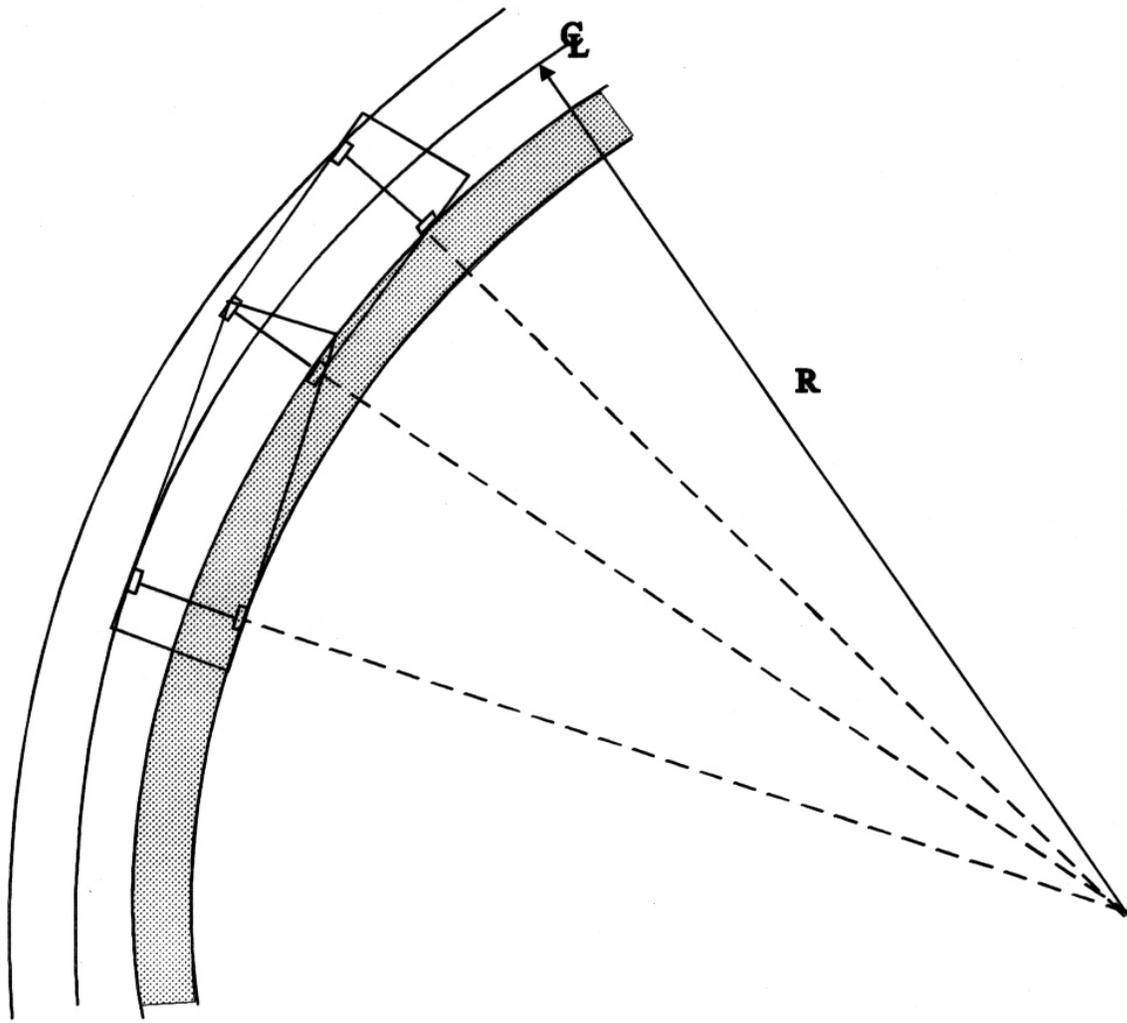


GRÁFICO 3-I-9 Sobrancho en curvas



**Artículo 7°:** Además de éstas clasificaciones, podrán considerarse Carreteras Internacionales, aquellas cuyo tránsito por sus condiciones especiales (terminal de puerto, etc.), puedan interesar a otro país fronterizo, aunque se encuentren dentro del territorio del país.

Los gráficos 3-I-10 y 3-I-11 muestran las secciones típicas para cada clase de carretera.

La pendiente transversal de la calzada del 3% y el hombro del 5%, no son definitivas, el proyectista de acuerdo a las condiciones locales determinará estas pendientes, sin embargo no se recomienda una pendiente menor del 2%.

La clasificación de la carretera depende de la máxima proyección de tránsito mixto por 10 años y se la cataloga de la siguiente manera (en vehículos diarios):

Especiales mayor de 15,000 vehículos diarios  
 Principales entre 5,000 y 15,000 vehículos diarios  
 Secundarias entre 1000 y 5,000 vehículos diarios  
 Vecinales entre 150 y 1000 vehículos diarios  
 Penetración entre 1 y 150 vehículos diarios

### Tipos de vehículos

Con fecha 7 de septiembre de 1992, se publicó un artículo de la Secretaría de Comunicaciones, Obras Públicas y Transportes, donde se anuncia la promulgación de la ley de Transporte Terrestre, con el fin de oficializar los tipos de vehículos autorizados para circular en las carreteras del país.

El gráfico 3-I-12 muestra los tipos de vehículos de transporte de automotor autorizados que circulan dentro de Honduras, en este gráfico no están incluidos los vehículos pequeños, automóviles para cinco o seis pasajeros y buses.

Los gráficos 3-I-13, 3-I-14, 3-I-15 y 3-I-16 indican el radio mínimo de giro para cuatro tipos de vehículos.

### Distancia de visibilidad en curvas horizontales

Otro elemento que hay que considerar en el diseño, es la distancia de visibilidad en el lado interior de una curva horizontal, esta visibilidad puede quedar obstruida debido a la existencia de muros, taludes en corte, vegetación, edificaciones, barreras longitudinales, u otros objetos.

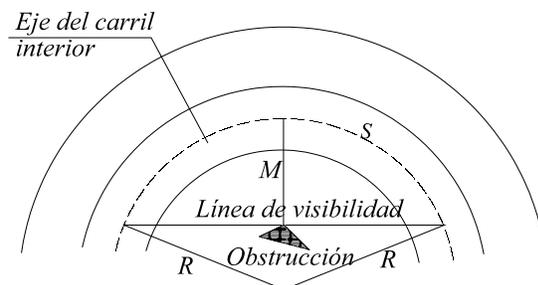
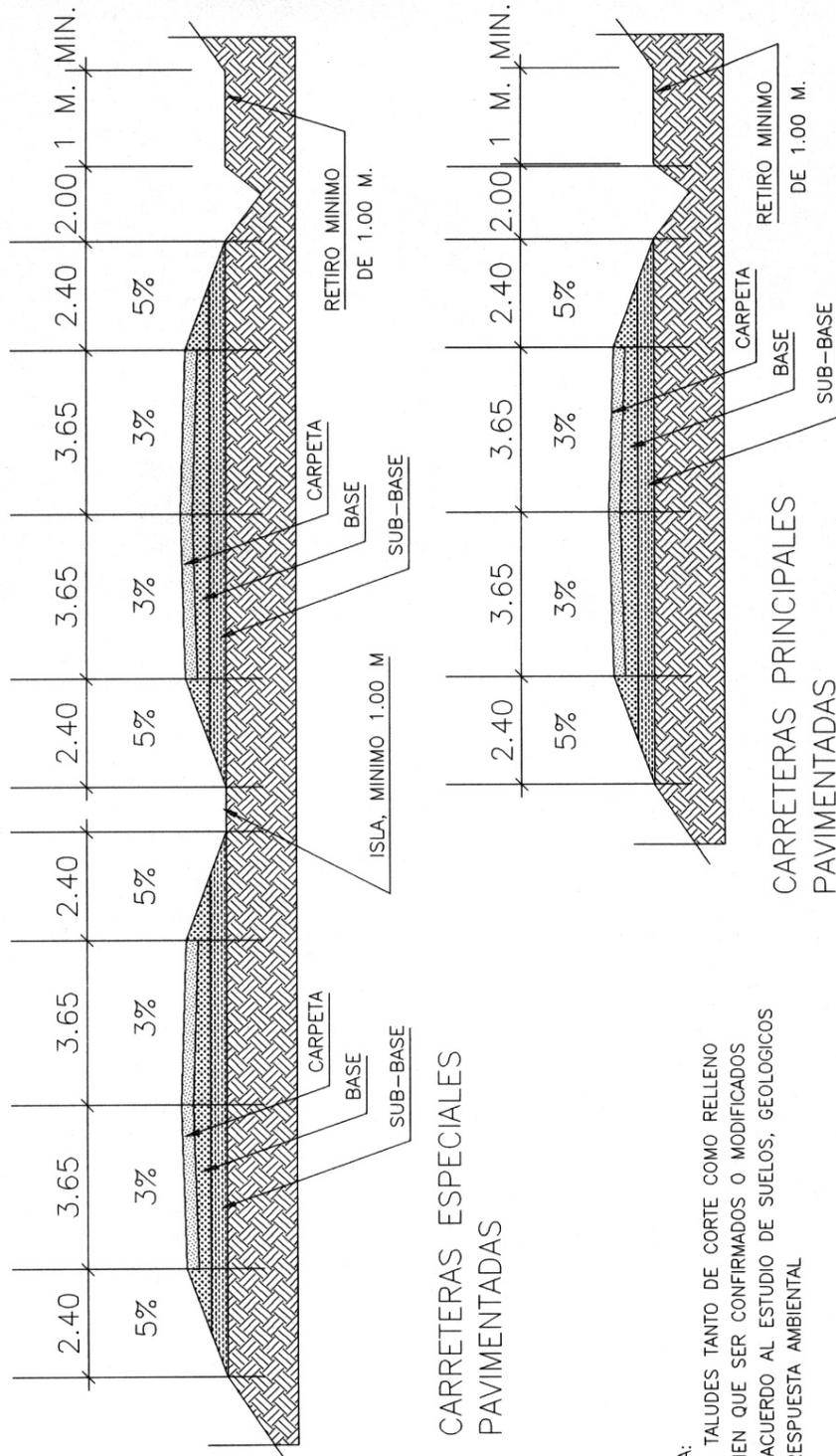


Gráfico 3-I-17 Elementos que intervienen en la distancia de visibilidad en una curva horizontal

Un buen diseño debe proporcionar una distancia de visibilidad adecuada, algunas veces es necesario la remoción de obstáculos y otras veces es imperante hacer un ajuste en el diseño horizontal o vertical o en ambos. Se considera que la altura del nivel del ojo es 1.07 m.



NOTA:  
 LOS TALUDES TANTO DE CORTE COMO RELLENO TIENEN QUE SER CONFIRMADOS O MODIFICADOS DE ACUERDO AL ESTUDIO DE SUELOS, GEOLOGICOS Y RESPUESTA AMBIENTAL

GRAFICO 3-1-10 Secciones Típicas

NOTA:  
 LOS TALUDES TANTO DE CORTE COMO RELLENO TIENEN QUE SER CONFIRMADOS O MODIFICADOS DE ACUERDO AL ESTUDIO DE SUELOS, GEOLOGICOS Y RESPUESTA AMBIENTAL

CARRETERAS SECUNDARIAS  
 PAVIMENTADAS O BALASTRO

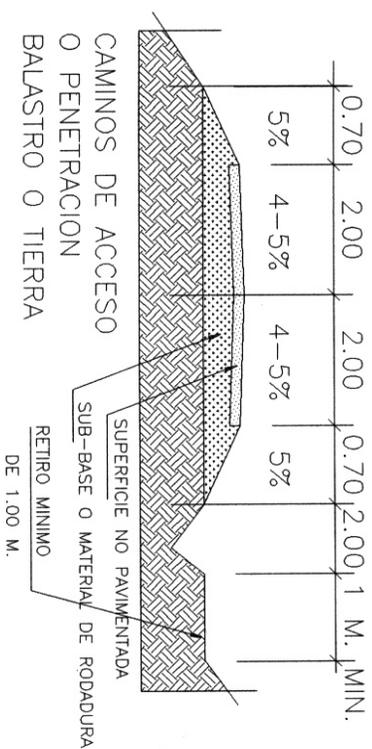
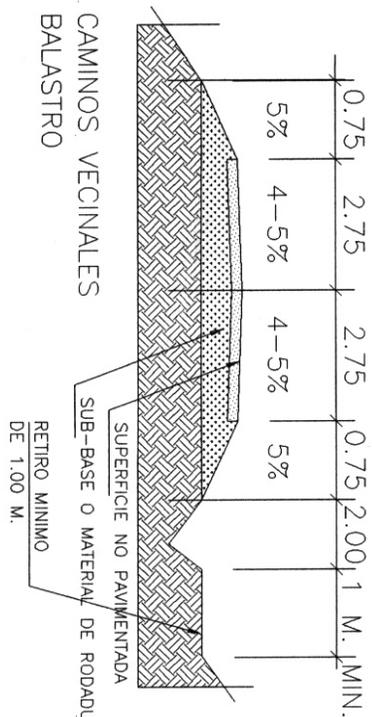
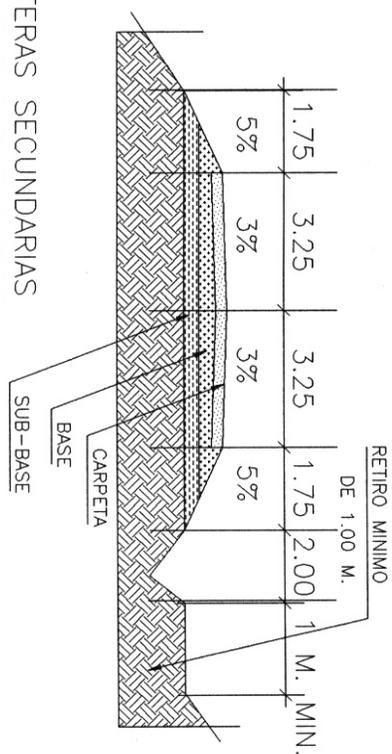
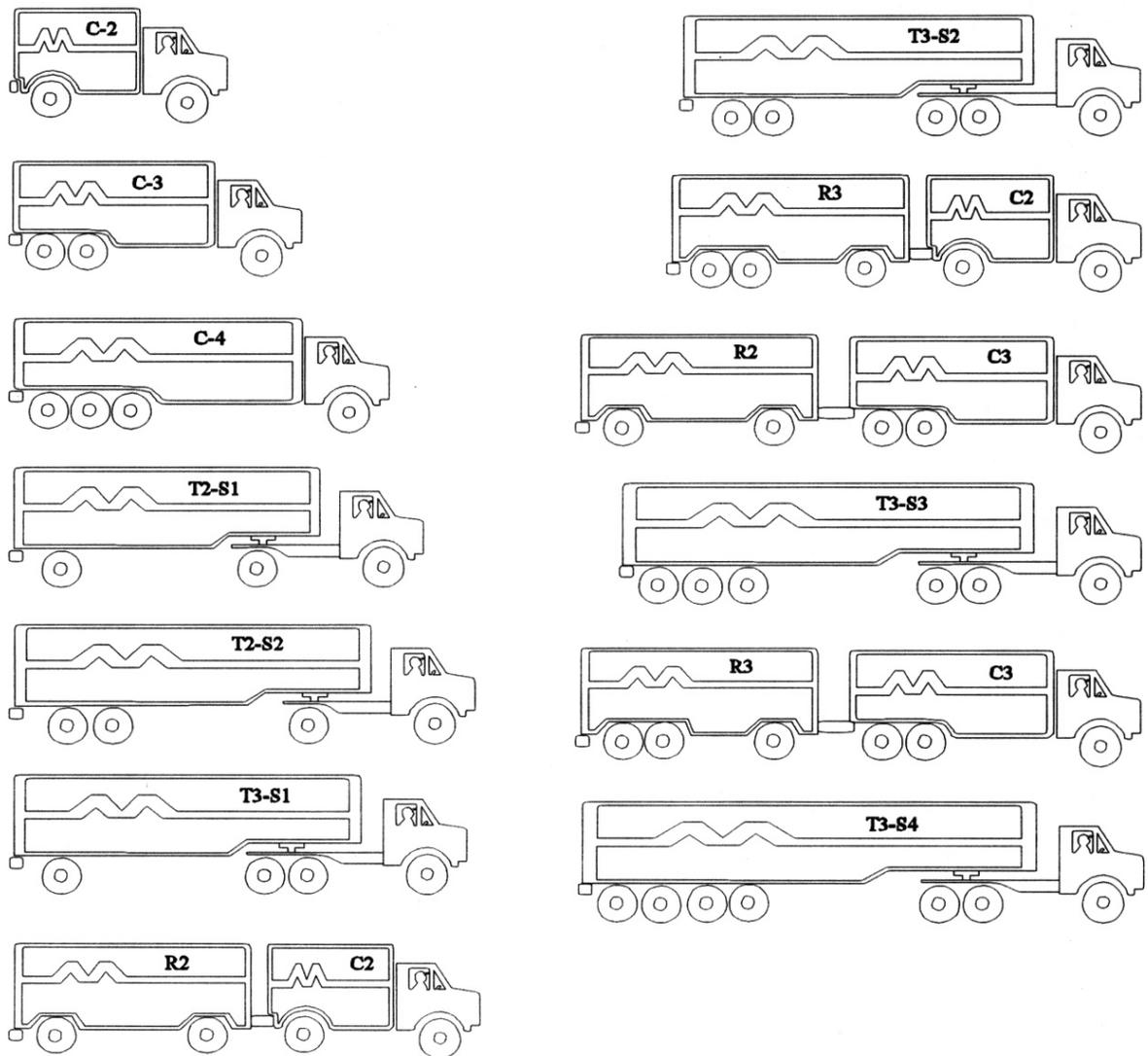


GRAFICO 3-1-11 Secciones Tipicas



**GRÁFICO 3-I-12 Vehículos de transporte automotor autorizados por la Dirección General de Transporte para circular en Honduras**

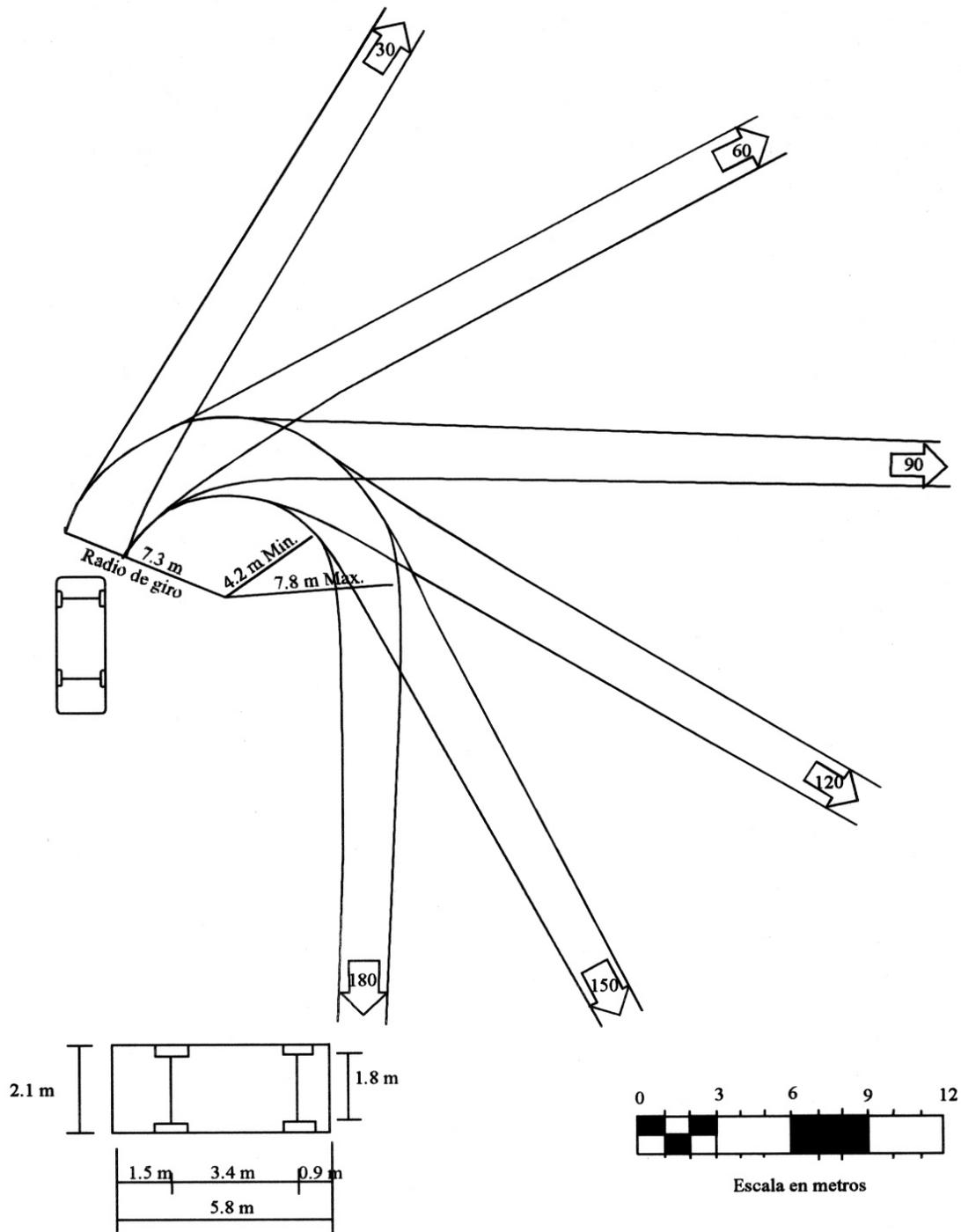


GRÁFICO 3-I-13 Radio mínimo de giro para un vehículo tipo Ap

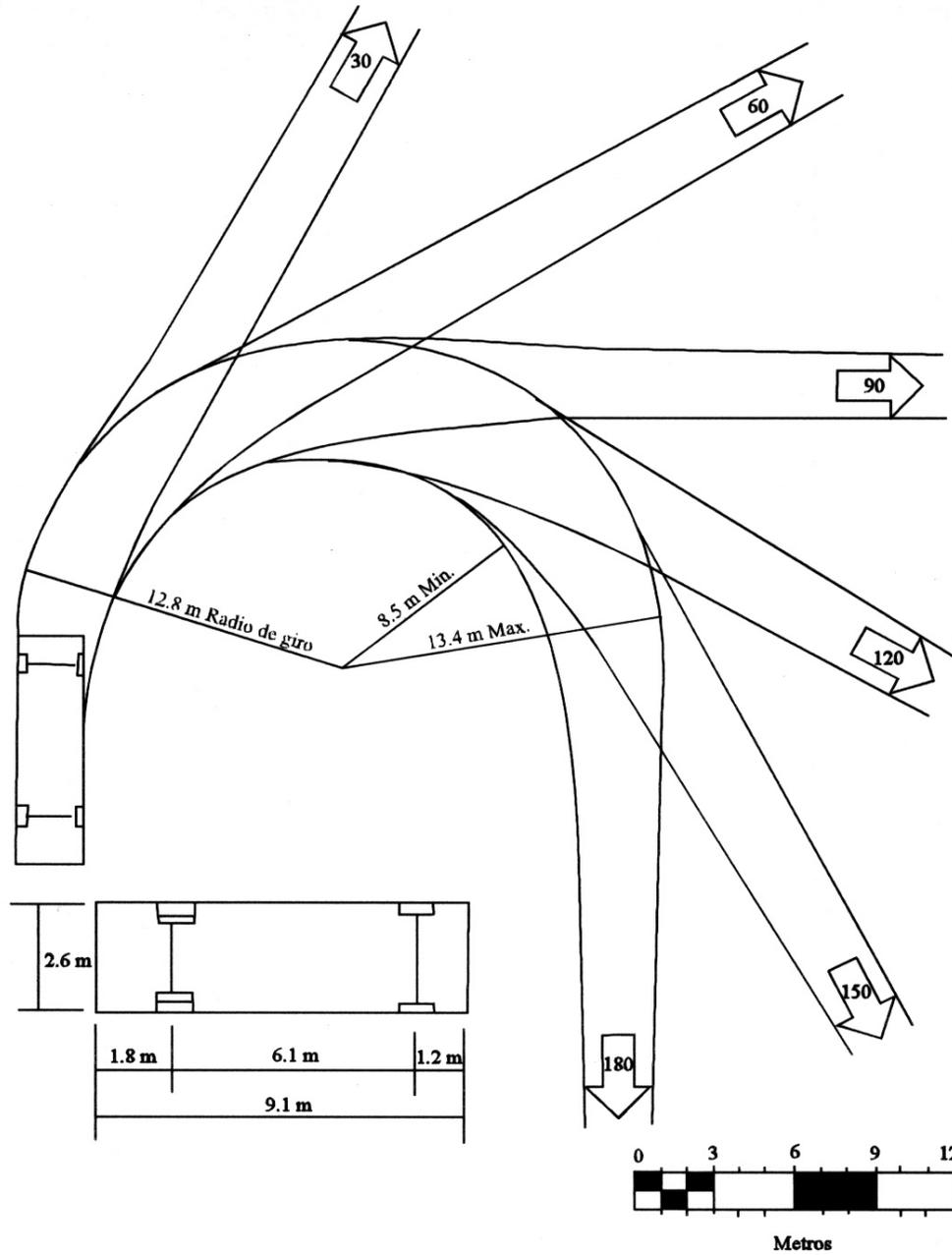


GRÁFICO 3-I-14 Radio mínimo de giro para un vehículo tipo B (Bus)

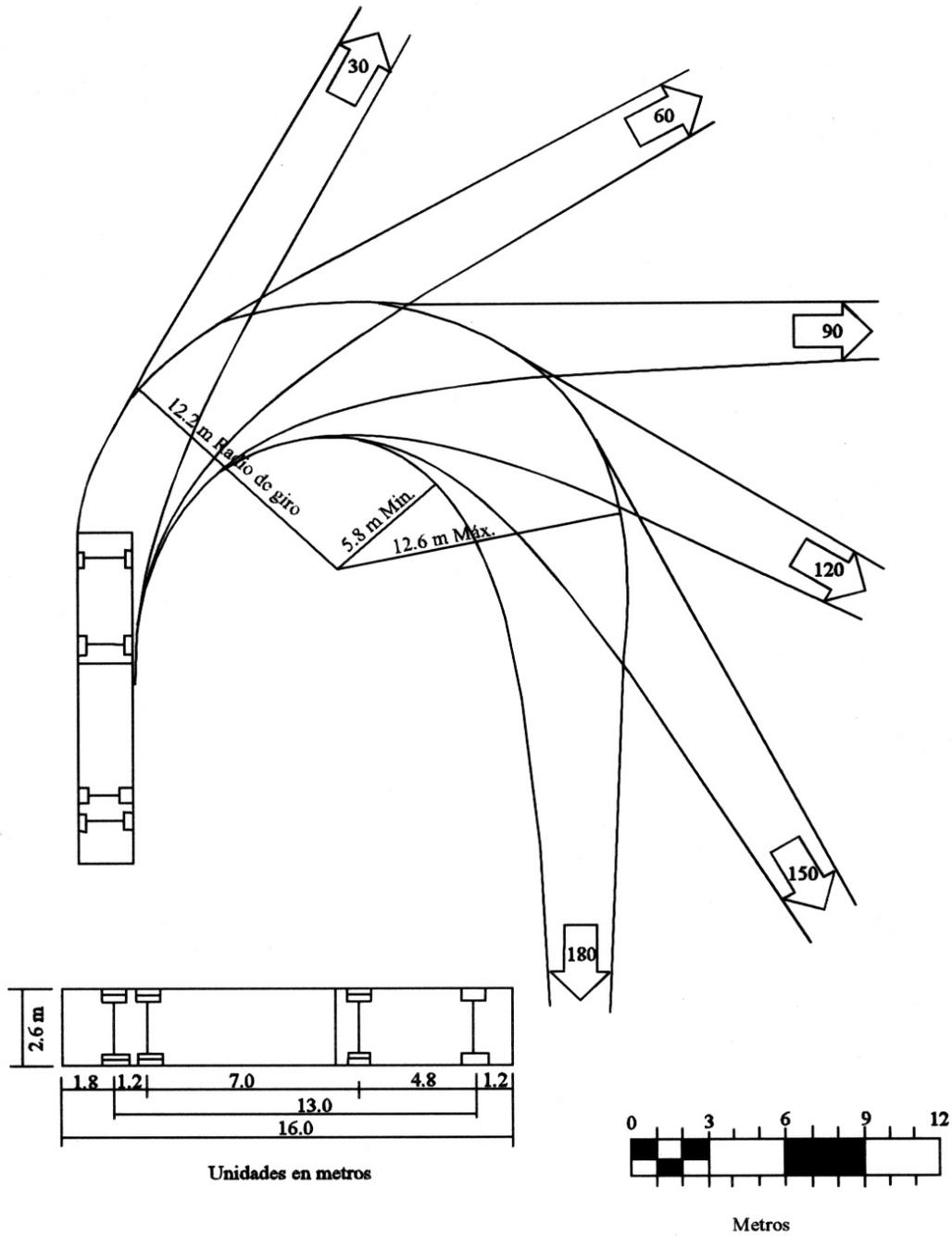


GRÁFICO 3-I-15 Radio mínimo de giro para un vehículo tipo T2-S2

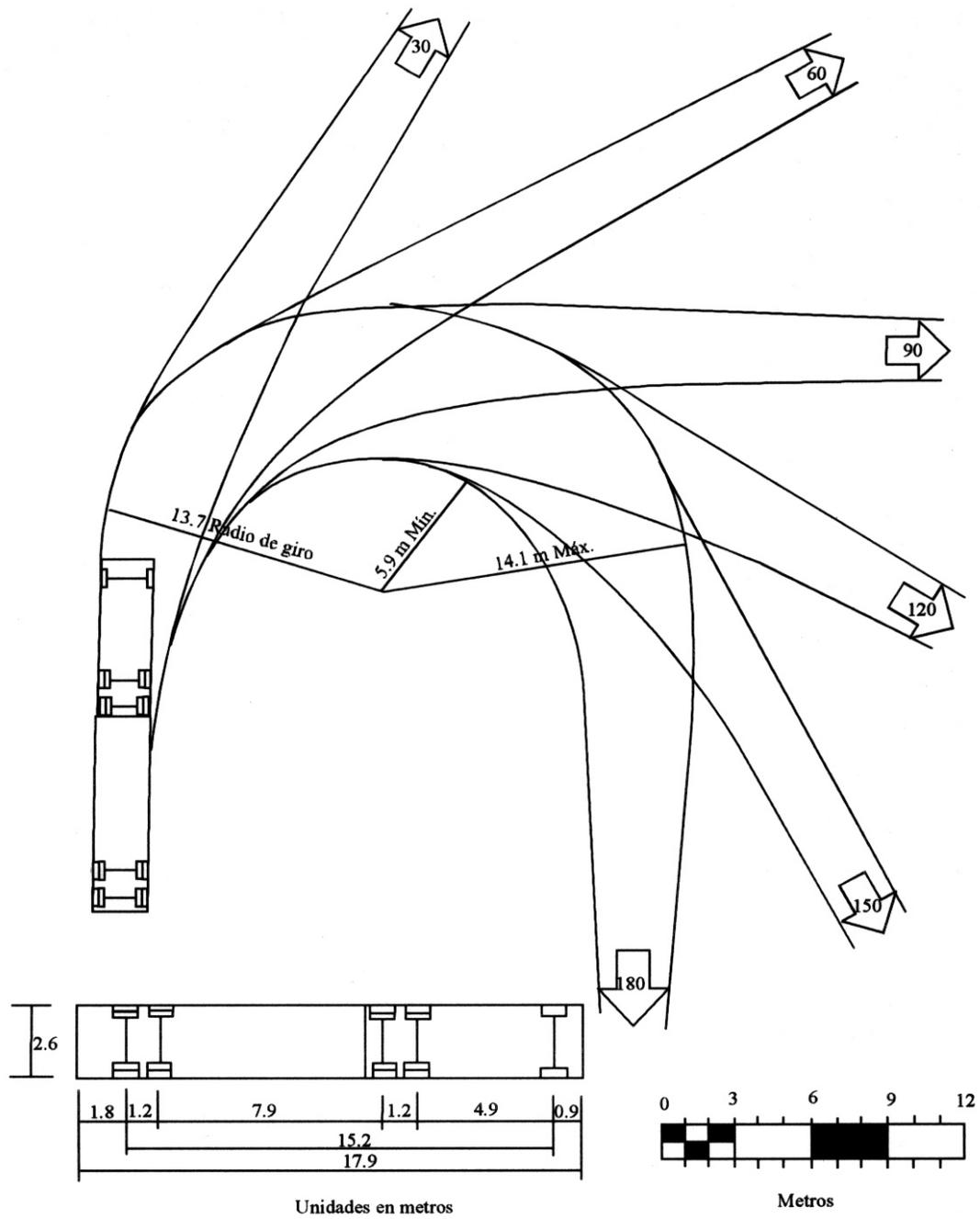


GRÁFICO 3-I-16 Radio mínimo de giro para un vehículo tipo T3-S2

La distancia entre la carretera y la obstrucción está dada por la ecuación:

$$M = R \left( 1 - \cos \frac{28.65 S}{R} \right)$$

donde:

M= Distancia entre el eje del carril interior y la obstrucción, (Ordenada Media)

S= Distancia de detención.

R= Radio.

La distancia de detención en superficie horizontal está dada en la tabla 3-I-1, usando estos valores se puede determinar la Ordenada Media ideal o la ordenada media mínima. Cuando se trata de rasantes con pendientes de 3%, 6% y 9%, la distancia de detención está indicada en la tabla 3-I-2 tanto para pendientes de bajada como para las de subida.

## ALINEAMIENTO VERTICAL

### Topografía

La topografía del terreno influye en el alineamiento horizontal de alguna manera secundaria, sin embargo en el alineamiento vertical la conformación del terreno es un factor importante que interviene en la definición de la rasante.

La topografía, a pesar de ser tan variada, se la puede agrupar en tres categorías: plana, ondulada y montañosa.

La tabla 3-I-17 indica las velocidades directrices máximas para los cinco tipos de caminos y las tres categorías de la topografía.

Topografía	Carretera Especial	Carretera Principal	Carretera Secundaria	Camino Vecinal	Camino de Penetración
Llana	100	80	60	50	40
Ondulada	80	60	50	40	30
Montañosa	60	50	40	30	20

Tabla 3-I-17 Velocidades directrices (km/h)

### Pendientes máximas y mínimas

No es práctico limitar o fijar las pendientes máximas de las rasantes, ya que las condiciones topográficas son las que, en la mayoría de los casos, definen la pendiente máxima; sin embargo es conveniente dar una guía que sugiera las pendientes máximas de diseño. Para una velocidad directriz de 100

km/h, que corresponde a una carretera especial en terreno llano, la máxima pendiente debería ser mas o menos 5%. Para velocidades de diseño de 80 km/h, que corresponde a una carretera especial en terreno ondulado y a una carretera principal en terreno llano, la pendiente máxima de la rasante debería estar entre el 5% al 7%. Para una velocidad directriz de 50 km/h que

corresponde a una carretera principal en terreno montañoso, una carretera secundaria en terreno ondulado y un camino vecinal en zona llana, la pendiente máxima debería fluctuar entre el 7% y 12%. Para velocidades directrices menores a 50 km/h, particularmente para caminos vecinales, de penetración en terreno montañoso, la gradiente máxima deberá ser definida de acuerdo a las exigencias y necesidades del proyecto y al juicio del proyectista.

Las pendientes mínimas, podrían en casos particulares ser 0%, siempre que la carretera no tenga bordillos u otros elementos y la sección transversal tenga una pendiente adecuada que permita un buen drenaje. La práctica ha indicado que la pendiente mínima debería limitarse al 0.5% y en casos extremos al 0.3% siempre que el pavimento sea de alta calidad con una base-sub base muy firme y una adecuada pendiente transversal.

### Curvas Verticales

Las curvas verticales deben ofrecer seguridad por medio de una adecuada visibilidad, deben ofrecer confortabilidad para los conductores y pasajeros de los vehículos, deben tener un buen sistema de drenaje y estéticamente deben ser presentables.

Se usan parábolas simples en las curvas verticales tanto simétricas como asimétricas, el gráfico 3-I-18 ilustra los distintos tipos de curvas y el gráfico 3-I-19 incluye los elementos de las curvas simétricas.

La ordenada máxima "e" está dada por la fórmula:

$$e = \frac{A L}{800}$$

donde:

A=Diferencia algebraica de las pendientes  $g_1, g_2$  (%).

L=Longitud de la curva vertical, m

Para determinar la ordenada "y" a una distancia "x", medida desde el comienzo o fin de la curva vertical se utiliza la siguiente ecuación.

$$y = e \left( \frac{x}{L} \right)^2$$

El gráfico 3-I-20 muestra los elementos de las curvas parabólicas asimétricas, estas curvas aunque no son muy usadas, es conveniente tomarlas en consideración, ya que dan excelentes soluciones en casos particulares.

La ordenada máxima "e", para las curvas asimétricas, está dada por la fórmula:

$$e = \frac{g_2 - g_1}{2 L} l_1 l_2$$

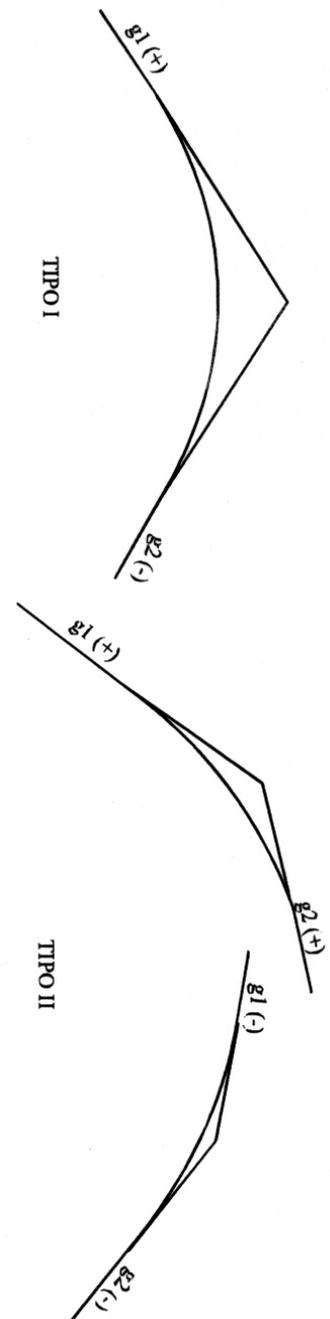
donde:

$g_2, g_1$  = Pendientes %

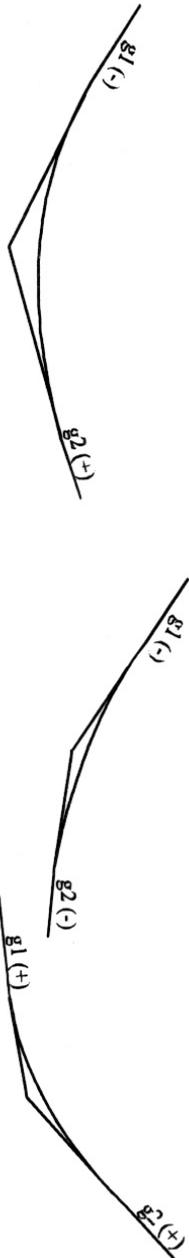
L = Longitud total de las curvas verticales, m

$l_1$  = Longitud de la primera curva vertical, m

$l_2$  = Longitud de la segunda curva vertical, m

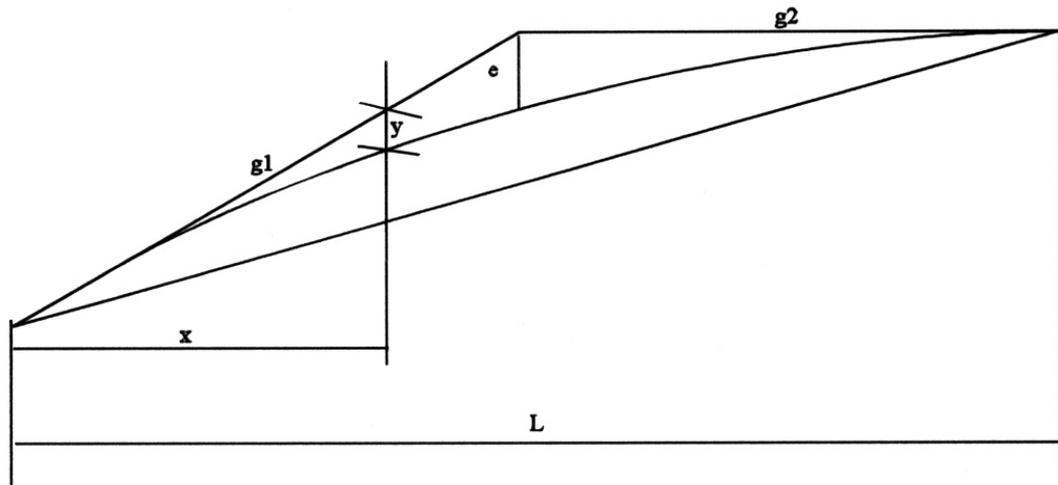


CURVAS VERTICALES CONVEXAS

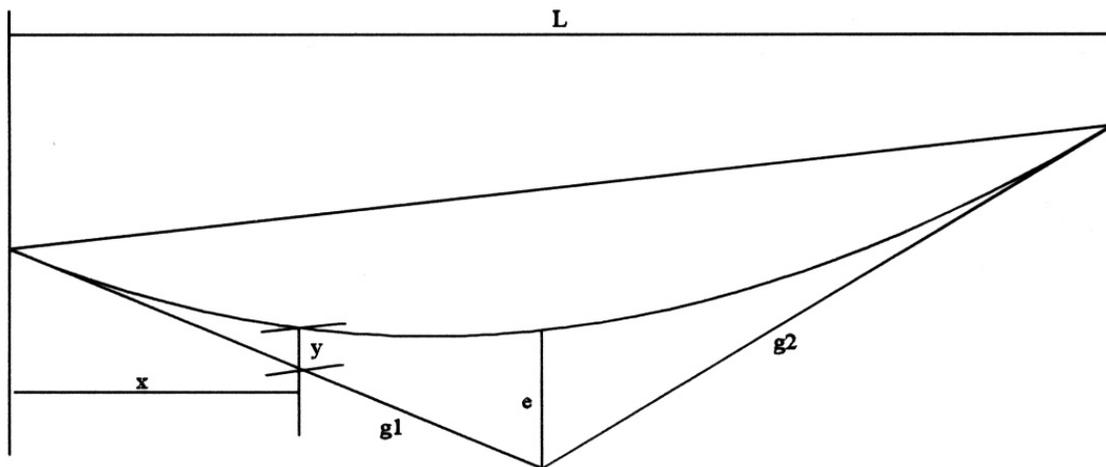


CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS

GRÁFICO 3-I-18 Tipos de curvas verticales

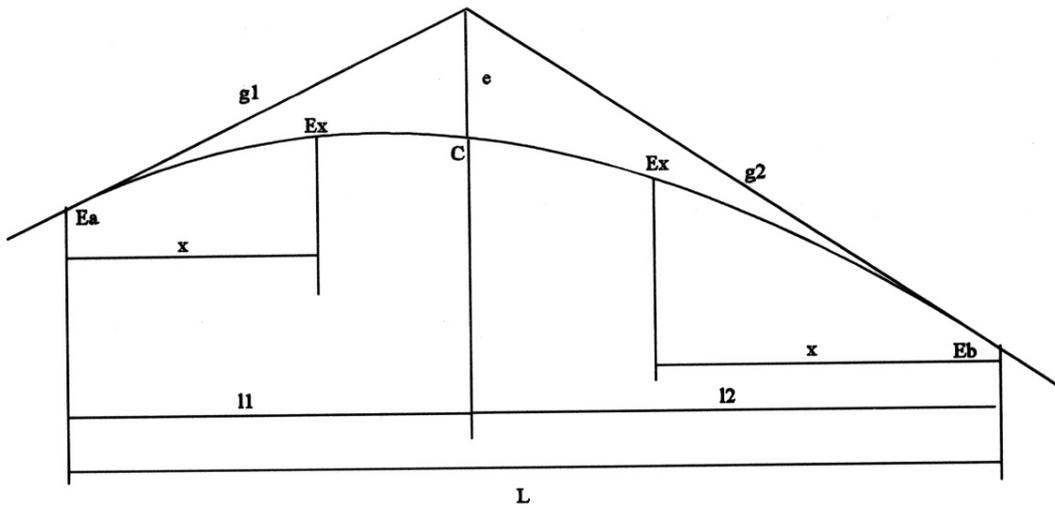


CURVA CONVEXA

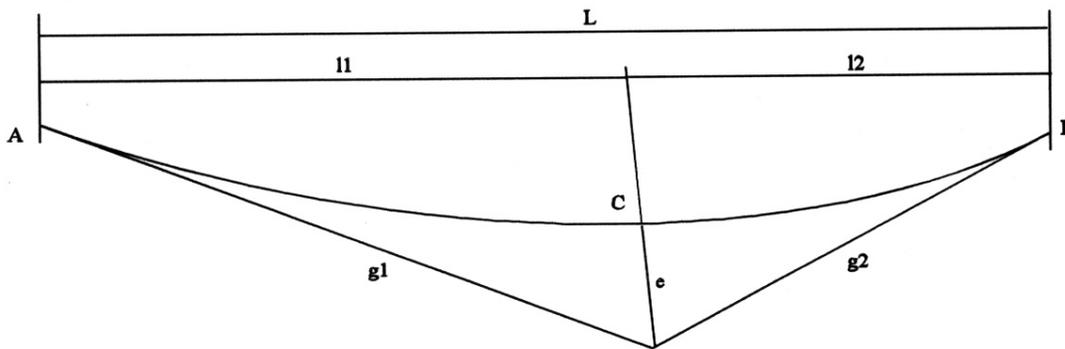


CURVA CÓNCAVA

GRÁFICO 3-I-19 Elementos de curvas verticales simétricas



CURVA CONVEXA



CURVA CÓNCAVA

GRÁFICO 3-I-20 Elementos de curvas verticales asimétricas

Para determinar la elevación "Ex" en cualquier punto de la primera curva vertical o rampa AC, se emplea la siguiente ecuación.

$$Ex = Ea + g_1 x + \left(\frac{x^2}{l_1}\right) e$$

donde:

Ea = Elevación del inicio de la primera curva

x = Distancia medida entre el inicio de la primera curva, y el punto Ex

Para determinar la elevación "Ex" en cualquier punto de la segunda curva vertical o rampa BC, se emplea siguiente ecuación:

$$Ex = Eb - g_2 x + \left(\frac{x^2}{l_2}\right) e$$

donde:

Eb = Elevación del fin de la segunda curva

x = Distancia medida a partir del fin de la segunda curva al punto Ex

### Curvas Verticales Convexas

La mínima longitud de las curvas verticales convexas está determinada por la distancia de visibilidad o distancia de detención, para otorgar seguridad en el manejo de vehículos motorizados y confortabilidad.

La fórmula básica para determinar la longitud de la curva parabólica vertical en función de la distancia de visibilidad y pendientes, está dada por la siguiente ecuación:

Cuando S es menor que L

$$L = \frac{A S^2}{100 (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

Cuando S es mayor que L

$$L = 2S - \frac{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

Donde:

L = Longitud de la curva vertical

S = Distancia de visibilidad o detención

A = Diferencia algebraica de las pendientes

h<sub>1</sub> = Altura de nivel de ojo sobre la superficie de rodadura 1.07 m

h<sub>2</sub> = Altura de un objeto sobre la superficie de rodadura 0.15 m

Sustituyendo en las fórmulas los valores de h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>, se llega a establecer una ecuación mas sintética:

Cuando S es menor que L

$$L = \frac{A S^2}{404}$$

Cuando S es mayor que L

$$L = 2S - \frac{404}{A}$$

La manera mas conveniente de determinar la mínima longitud de las curvas verticales es haciendo uso del factor "K", ya que al introducirlo en las fórmulas anteriores, queda considerada la distancia de visibilidad, la siguiente ecuación determina la longitud de la curva vertical usando el factor "K"

$$L = A K$$

Los cálculos y tablas que aparecen en la definición del factor K, están referidos sólo al caso en que S es menor que L, ya que es lo mas frecuente.

Sustituyendo ecuaciones se llega a:

$$AK = \frac{A S^2}{404}$$

$$K = \frac{S^2}{404}$$

Previamente en la tabla 3-I-1 se establecieron las distancias mínimas de visibilidad o distancias de detención para distintas velocidades directrices. Haciendo uso de esta información, en la tabla 3-I-18 se indican los valores del factor K que serán usados para determinar la longitud mínima de la curva vertical convexa.

Velocidad directriz km/h	Factor K calculado		Factor K redondeado	
			Mínimo absoluto	Mínimo recomendable
30	2.183	2.183	2	2
40	4.880	4.880	5	5
50	8.155	9.762	8	10
60	13.665	17.716	14	18
70	21.964	30.388	22	30
80	31.551	48.238	32	48
90	42.673	70.528	43	71
100	61.090	104.225	61	104

Tabla 3-I-18 Valores del factor K para curvas convexas

El gráfico 3-I-21 ilustra una curva vertical convexa donde se indica la distancia de detención y la distancia de rebaso.

Para determinar la longitud de la curva vertical, tomando en consideración la distancia de visibilidad para rebasar, el principio es el mismo que el que se empleó anteriormente, la diferencia es que la altura del objeto, en este caso un automóvil, es de

1.30m. Siguiendo el mismo procedimiento se concluye que para S menor que L:

$$L = \frac{A S^2}{946} \quad y \quad K = \frac{S^2}{946}$$

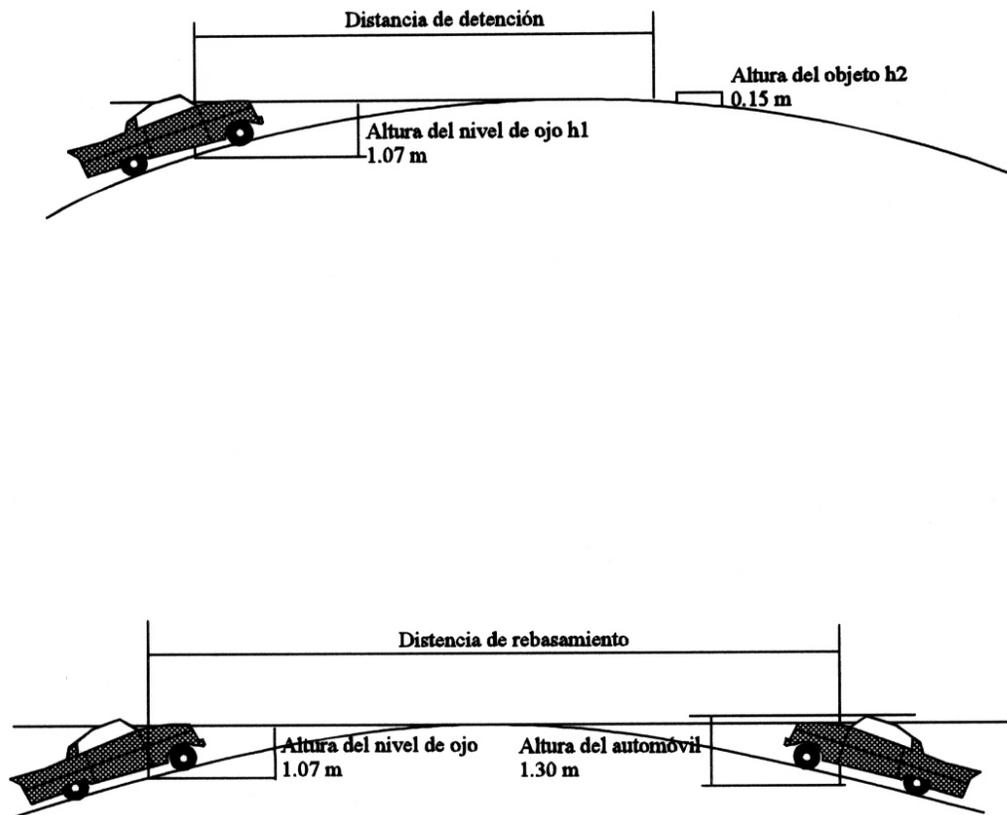


GRÁFICO 3-I-21 Distancia de detención y distancia de rebasamiento en una curva vertical convexa

Haciendo uso de la información que aparece en la tabla 3-I-5, con la distancia de rebaso, se puede calcular los valores del factor K para las distintas velocidades directrices, como se indica en la tabla 3-I-19.

Cuando S es mayor que L, que no es un caso común:

$$L = 2 S - \frac{946}{A}$$

### Curvas verticales cóncavas

Hay por lo menos cuatro diferentes criterios para definir la longitud de las curvas verticales cóncavas.

- 1) Distancia de visibilidad generada por los faros de un automóvil
- 2) Control de drenaje
- 3) Confortabilidad en el recorrido de la curva
- 4) Estética

Velocidad directriz km/h	Factor K calculado	Factor K redondeado
30	49.777	50
40	85.862	86
50	125.819	126
60	175.105	175
70	245.586	246
80	309.388	309
90	386.919	387
100	474.524	475

Tabla 3-I-19 Valores del factor K para curvas convexas con distancia de rebasamiento

El mas usado y recomendado es el primer criterio, que es el que se definirá en las ecuaciones, tablas y gráficos que se incluyen en este manual.

Cuando un vehículo circula en la noche por una curva vertical cóncava, la porción iluminada de la carretera depende de la posición de los faros y la amplitud de la dirección de los rayos de luz. La ubicación de los faros, a 0.60 m de la superficie del pavimento, corresponde a un automóvil tipo y es de uso generalizado. El ángulo de amplitud de los rayos de luz es de 1°, el gráfico 3-I-22 ilustra los conceptos mencionados anteriormente.

Cuando S es menor que L

$$L = \frac{A S^2}{200 [0.60 + S (\operatorname{tg} 1^\circ)]}$$

$$L = \frac{A S^2}{120 + 3.49 S}$$

Cuando S es mayor que L

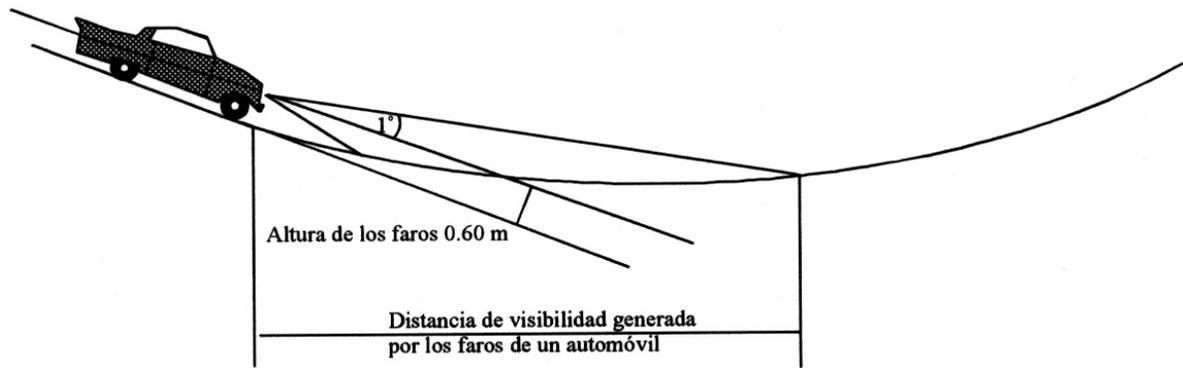
$$L = 2 S - \frac{200 [0.60 + S (\operatorname{tg} 1^\circ)]}{A}$$

$$L = 2 S - \frac{120 + 3.49 S}{A}$$

donde: S= Distancia de visibilidad generada por los faros de un vehículo.

Ya que la distancia de detención indicada en la tabla 3-I-1 es muy similar a la distancia de visibilidad generada por los faros de un automóvil, se recomienda usar la primera para efectos de cálculo.

La tabla 3-I-20 muestra los valores del factor K para las distintas velocidades directrices. En esta tabla, como en el caso de las curvas convexas, se consideran para los cálculos sólo el caso en que S es menor que L.



**GRÁFICO 3-I-22** Distancia de visibilidad en una curva vertical cóncava durante la noche

Reemplazando  $L = AK$  en la ecuación precedente aplicable.

$$K = \frac{S^2}{120 + 3.49 S}$$

Velocidad directriz km/h	Factor K calculado		Factor K redondeado	
			Mínimo absoluto	Mínimo recomendable
30	3.944	3.944	4	4
40	7.170	7.170	7	7
50	10.286	11.628	10	12
60	14.554	17.236	15	17
70	19.774	24.229	20	24
80	24.797	32.095	25	32
90	29.814	40.182	30	40
100	36.931	50.358	37	50

Tabla 3-I-20 Valores del factor K para curvas cóncavas

### Perfil que no requiere curva vertical

La práctica ha indicado que en un quiebre de tangentes, cuando la diferencia algebraica de las pendientes es menor del 0.5%, en la mayoría de los casos, la sensación de cambios pasa inadvertida. Por lo tanto se llega a la conclusión que en estos casos se puede prescindir de la introducción de curvas verticales para velocidades directrices entre 30km/h y 80km/h; para velocidades de 100km/h se recomienda que como límite se establezca en 0.4%.

### Perfiles con carriles adicionales

#### Carril de ascenso

En las carreteras de dos carriles, el tráfico de vehículos pesados siempre ocasiona retrasos, aún cuando las pendientes en subida sean relativamente insignificantes, un vehículo pesado, particularmente camiones con carga completa y algunas veces con carga por encima de los límites permitidos, disminuye

notablemente la velocidad, lo que obstaculiza la normal circulación de los vehículos. Esta situación crea un peligro inminente en las carreteras, ya que muchos conductores rebasan o tratan de rebasar cuando las condiciones no están dadas, principalmente insuficiente visibilidad y distancias para rebasar inferiores a las mínimas permitidas. A pesar de haberse asignado, en algunos proyectos, áreas para facilitar el rebasamiento, el congestionamiento y las condiciones de peligro no han desaparecido. La construcción de un carril de ascenso, contiguo al carril de subida, aunque incrementa el costo de la obra, es la solución mas acertada para disminuir accidentes, primordialmente y agilizar la circulación vehicular secundariamente.

Se justifica la incorporación de un carril de ascenso cuando se dan estas tres condiciones:

1. El número de vehículos excede el máximo que permite una circulación normal, debido a la pendiente de subida.
2. El número de camiones o vehículos pesados excede el 20% del número máximo de

vehículos que permite una circulación normal, debido a la pendiente de subida.

3. Un vehículo pesado, debido a la pendiente de subida disminuye su velocidad en por lo menos 15 km/h.

El carril de ascenso debe comenzar aproximadamente 50 m antes del inicio de la pendiente y deberá prolongarse mas allá de la pendiente, hasta un punto en el cual exista visibilidad de rebasar, aproximadamente 50 m a partir del final de la pendiente, que es cuando el vehículo vuelve a su velocidad habitual debido a la disminución de la pendiente. El ancho de este carril adicional será igual al de los otros carriles. La sección transversal será la prolongación de la pendiente transversal de la calzada.

La inclusión de un carril adicional-ascendente, no significará en general aumentar excesivamente el movimiento de tierra. En efecto, al agregar dicho carril, no será necesario que el ancho del hombro, del lado derecho, se encuentre determinado por las necesidades de estacionamiento, ya que salvo en caso de emergencia no es usual que los conductores estacionen en una zona de pendiente pronunciada. En consecuencia, el ancho del hombro puede reducirse a 1.00 m ó 1.50 m, con lo que el ancho de coronamiento aumenta en el orden de los 2 m en relación al correspondiente de la calzada normal de 2 carriles indivisos.

Es fundamental prever una adecuada señalización que indique la incorporación del carril adicional. También debe demarcarse convenientemente, además del carril de ascenso, el centro de la calzada que separa los sentidos de circulación, para evitar que se confunda esa sección de camino con una calzada de tres carriles en la cual el carril central se utilice indistintamente, en ambas direcciones, para rebasar

### **Secciones con cuatro carriles**

En determinados casos, para altos volúmenes de tránsito, cuando existen longitudes apreciables de camino sin rebaso, o con reducidas secciones que lo permitan, la capacidad práctica de la calzada puede reducirse a valores críticos de la que tendría en condiciones ideales de visibilidad.

Si el proyecto no permite proporcionar rebaso con intervalos frecuentes, puede ser conveniente proyectar esa sección con cuatro carriles, dos para cada sentido, indivisas o con mediana. En el caso que deba reducirse el costo inicial, en dicha sección además de preverse calzadas indivisas, puede disminuirse el ancho del hombro ya que la congestión del tránsito que produciría un vehículo que eventualmente se estacionara en uno de los carriles, sería mucho menor que en el caso de una sola calzada con dos carriles indivisos.

### **Carriles separados**

A veces por razones ecológicas, ambientales, de conservación o económicas; es necesario diseñar una carretera con los carriles separados; este caso es menos frecuente en zonas llanas, sin embargo existen casos en que una carretera debe trazarse en carriles separados para librar obstáculos que puedan ser muy importantes o de valores no cuantificables, como sitios arqueológicos, lugares históricos, fuentes de agua, importantes forestaciones, etc. En terrenos montañosos, la separación de carriles puede representar una importante economía en el movimiento de tierra. Existen carreteras, generalmente de dos carriles, uno para cada sentido, que después de haber cumplido el servicio esperado, necesitan ser ampliadas a cuatro carriles, porque así lo exigen las necesidades de tránsito, en estos casos y tratándose principalmente en terrenos montañosos, puede ser más conveniente que en

lugar de ampliación, se construyen los dos nuevos carriles en lugares mas convenientes, hay que tener en cuenta que una carretera que ya tiene muchos años de servicio, ha generado muchos elementos en el alrededor, principalmente asentamientos humanos que hace muy difícil la tarea de ensanchamiento, en estos casos se ve como mas conveniente el trazado de nuevos carriles en sectores más accesibles.

### **Carril de descenso o carril de emergencia**

Hay veces que, debido a la topografía del terreno, es inevitable la introducción de largos tramos de camino con pendientes muy pronunciadas, esta condición física hace que la carretera no ofrezca seguridad a los vehículos que van en bajada. Las principales causas de accidentes se deben a fallas mecánicas o sobrecalentamiento que ocasionan la pérdida de los frenos, o fallas humanas, como la falta de habilidad del conductor en operar la caja de cambios en el momento oportuno. Una importante ayuda que ha contribuido a minimizar considerablemente accidentes con consecuencias fatales, ha sido la incorporación de un carril adicional que sería usado por vehículos que pierden el control y no pueden detenerse.

Aunque no existen guías o manuales para el diseño del carril de descenso, la práctica, basada en experiencias obtenidas en carriles de emergencia que se construyeron en carreteras existentes, indica que el carril de descenso debe terminar en una rampa de escape para detener al vehículo, que al perder el control de los frenos, entró al carril de emergencia. La total detención del vehículo en la rampa de escape se logra de dos maneras, una es por gravedad y la otra por medio de una carpeta de arena. En el primer caso, la introducción de una curva vertical cóncava detiene al vehículo. En el segundo caso, la elevada fricción entre los

neumáticos del vehículo y el material granular suelto detienen al vehículo (Ver gráfico 3-I-23, (a) para el primer caso y (b) y (c) para el segundo caso). La pendiente del carril de descenso para el segundo caso varía; en el caso de la figura 3-I-23 (b) es 0% y en el caso de la figura 3-I-23 (c) es igual a la pendiente de la carretera.

La capa de arena o grava deberá estar constituida por una graduación uniforme de granos redondeada y libre de finos, con un tope de tamaño de 1.5 pulgadas para grava. El espesor máximo recomendado oscila entre 0.60 y 1.0 m; debe comenzar con una capa de 3 pulgadas de espesor e ir aumentando gradualmente hasta alcanzar el espesor máximo antes de los 60 m. El material de la capa deberá estar limpio y no deberá tener fácil compactación, con un elevado coeficiente de resistencia al movimiento de los vehículos. El ángulo de partida de la rampa será del orden de los 5°. Se debe construir un carril consolidado adyacente al colchón para el auxilio mecánico, de 3.5 m de ancho.

La existencia de la rampa debe señalizarse convenientemente para conocimiento de los usuarios. La longitud de la rampa con material granular puede estimarse con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{V^2}{254 (R \pm G)}$$

L = longitud de rampa con material granular (m)

V = velocidad de entrada (km/h)

R = resistencia al rodaje (0.10)

G = gradiente de la rampa (%/100)

La localización y longitud de la rampa será como consecuencia del estudio del lugar donde se registran los accidentes y de las condiciones

topográficas del mismo. El ancho de carril será de 3.6 m como mínimo.

### Carriles de aceleración y desaceleración

Especialmente por razones de seguridad, las entradas y salidas de las autopistas o carreteras deben cumplir con ciertas normas de diseño, la incorporación de carriles de aceleración y desaceleración están destinados al ajuste de velocidades del vehículo, tanto para la entrada como para la salida de la carretera, estos carriles adicionales contribuyen a dar a los usuarios mayor control en la seguridad, evitando accidentes debido a la aceleración descontrolada o ingreso imprudente a la carretera en un caso y a la abrupta aplicación de frenos en el otro.

carretera, la longitud depende de la velocidad de diseño de la autopista y de la rampa, también hay que tener en consideración la pendiente en el tramo que se ingresa, tanto de subida como de bajada. En el gráfico 3-I-24 se muestran los dos tipos de configuración de carriles de aceleración, entrada oblicua y entrada paralela. En la tabla 3-I-21 se indica la longitud del carril de aceleración "L" en función de las velocidades directrices y la pendiente de la rasante de la autopista que fluctúe entre el +2% y -2%. Para pendientes mayores al 2% y hasta el 4%, en subidas y bajadas, hay que ajustar la distancia obtenida en la tabla 3-I-21 por medio de los valores multiplicadores que se indican en la tabla 3-I-22. Para pendientes mayores al 4% y hasta el 6%, en subidas y bajadas, los valores multiplicadores aparecen en la tabla 3-I-23

### Carriles de aceleración

El carril de aceleración debe tener una longitud apropiada que permita un ingreso seguro a la

Velocidad directriz km/h carretera	Velocidad directriz km/h rampa de ingreso							
	0	20	30	40	50	60	70	80
50	60							
60	100	85	70					
70	145	125	110	85	50			
80	195	180	165	135	100	55		
90	275	260	240	210	175	130	150	
100	370	345	330	300	265	220	145	55

Tabla 3-I-21 Longitud (m) de carril de aceleración "L" para perfil de pendiente entre 2% y -2%.

Velocidad directriz km/h Carretera	Velocidad directriz Km/h rampa de ingreso							Velocidad cualquiera Bajada (-%)
	30	40	50	60	70	80		
50	1.1	1.2	1.3					0.7
60	1.2	1.3	1.4	1.4				0.7
70	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5			0.65
80	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6		0.65
90	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6		0.6
100	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8		0.6

Tabla 3-I-22 Factores de ajuste de longitud de carriles de aceleración para pendientes mayores al 2% y hasta el 4%, tanto positivas como negativas

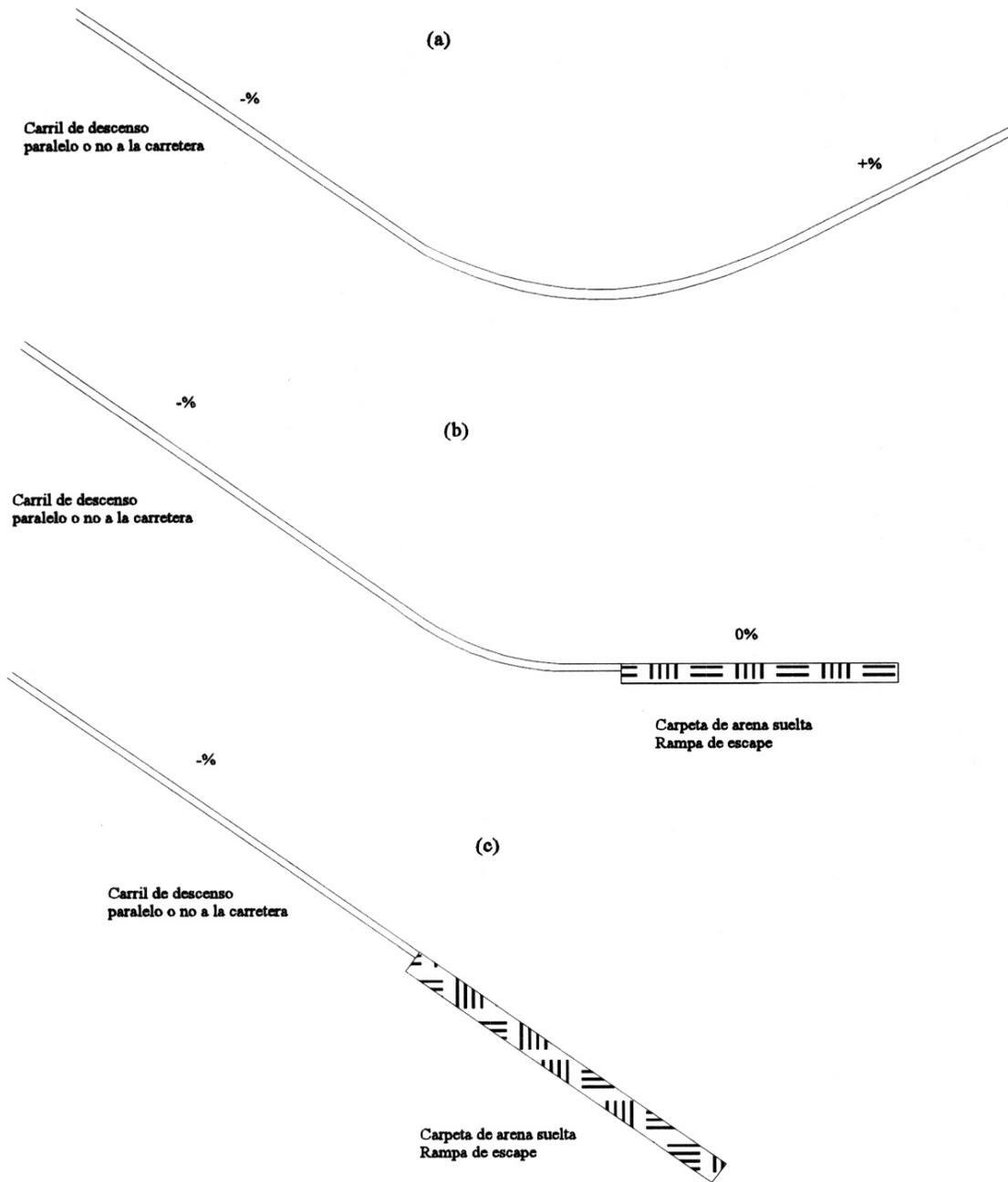
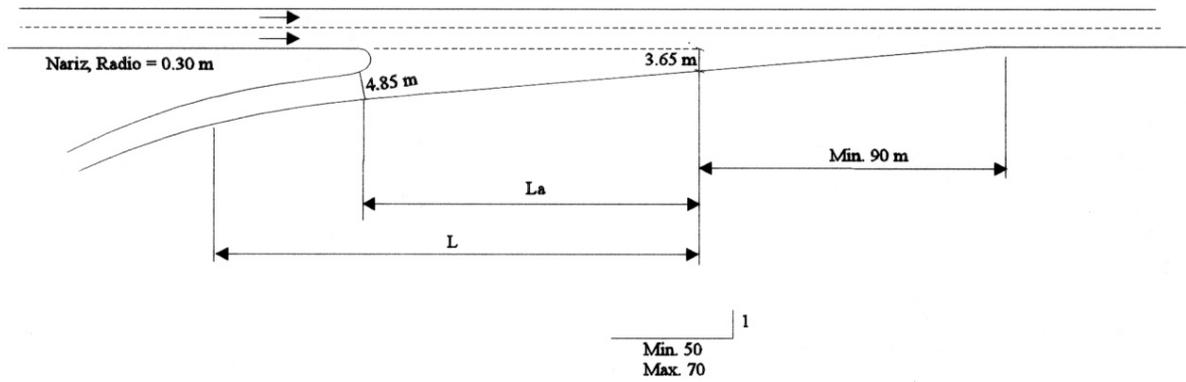
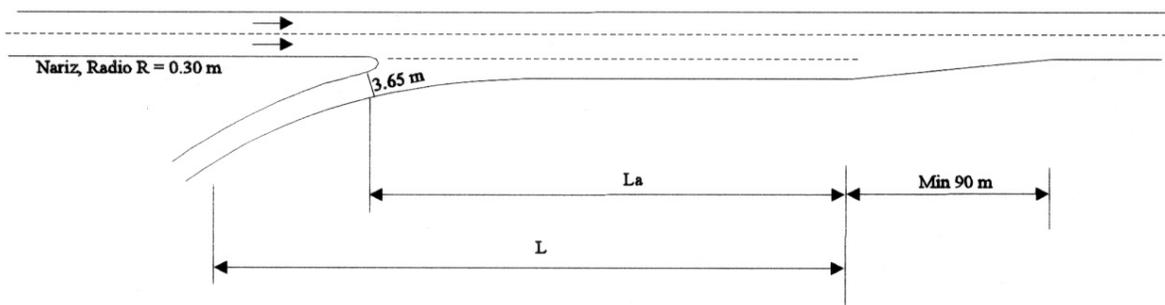


GRÁFICO 3-I-23 Carril de descenso o de emergencia



a) Carril de aceleración, entrada oblicua



b) Carril de aceleración, entrada paralela

GRÁFICO 3-I-24

Velocidad directriz km/h Carretera	Velocidad directriz km/h rampa de ingreso						Velocidad cualquiera Bajada (-%)
	30	40	50	60	70	80	
	Subida (+%)						
50	1.4	1.4					0.6
60	1.4	1.5	1.5				0.6
70	1.4	1.5	1.6	1.7			0.6
80	1.5	1.5	1.7	1.8	1.9		0.55
90	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	0.55
100	1.6	1.7	1.9	2.2	2.4	2.5	0.5

Tabla 3-I-23 Factores de ajuste de longitud de carriles de aceleración para pendientes mayores al 4% y hasta el 6%, tanto positivas como negativas.

La distancia "La" del carril de aceleración del tipo oblicuo, que se indica en el gráfico 3-I-24 (a), depende de la proporción usada, que varía entre 50:1 y 70:1, esta distancia está controlada por la ubicación de la nariz y por lo tanto define el punto de inicio del carril de aceleración "L", sin embargo hay que tener en consideración que el mencionado punto de inicio no debe estar dentro del arco de una curva cuyo radio sea inferior a 300 m ya que un radio menor, no contribuye al inicio adecuado de la aceleración. Para determinar la distancia "La" de la pista de aceleración del tipo paralelo, que se muestra en el gráfico 3-I-24 (b), se usa el mismo método de proporción que en el caso de entrada oblicua, aún tratándose de un carril de ancho constante donde la proporción de 50:1 a 70:1 no es real, el empleo de este método es sólo un instrumento para determinar la distancia adecuada, para establecer la ubicación de la pista de aceleración "L" se aplican los mismos principios mencionados en el caso del tipo de

entrada oblicua.

### Carriles de desaceleración

Un vehículo que sale de una autopista o carretera, debe disminuir la velocidad y ajustarla a los parámetros de diseño de la rampa de salida que son inferiores a los utilizados en la carretera, esta disminución de velocidad puede representar un peligro para los usuarios, cuando la aplicación de los frenos se realiza en el carril de la carretera.

Un vehículo que sale de la autopista debe disminuir la velocidad cuando entra totalmente en el carril diseñado para este propósito, denominado carril de desaceleración. En el gráfico 3-I-25 se indican los dos tipos característicos de carriles de desaceleración, la salida oblicua en el gráfico 3-I-25 (a) y la salida paralela en el gráfico 3-I-25 (b).

Velocidad directriz km/h Carretera	Velocidad directriz Km/h rampa de salida							
	0	20	30	40	50	60	70	80
50	75	70	60	45				
60	95	90	80	65	55			
70	110	105	95	85	70	55		
80	130	125	115	100	90	90	55	
90	145	140	135	120	110	100	75	60
100	170	165	155	145	135	120	100	85

Tabla 3-I-24 Longitud (m) de carril de desaceleración "L" para perfil de pendiente entre 2% y -2%.

Velocidad directriz (km/h) Carretera	Velocidad directriz Km/h rampa de salida Entre 0 a 80	
	Subida	Bajada
Entre 50 y 100	0.9	1.2

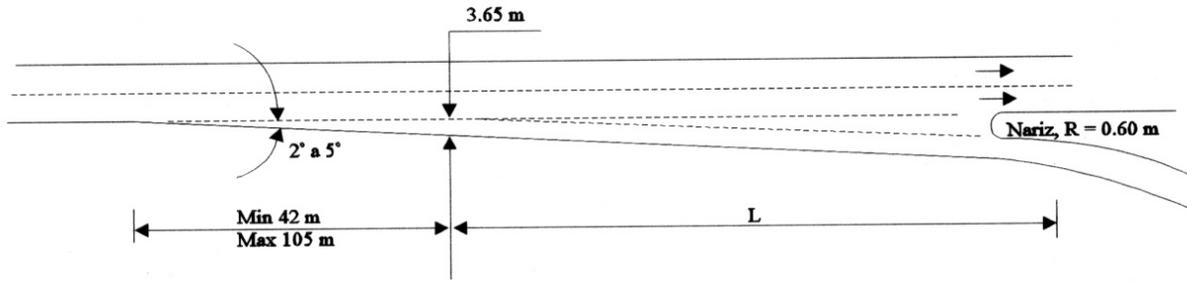
Tabla 3-I-25 Factor de ajuste de longitud de carriles de desaceleración para pendientes mayores al 2% y hasta el 4%, tanto positivas como negativas.

Velocidad directriz Km/h Carretera	Velocidad directriz Km/h rampa de salida Entre 0 a 80	
	Subida	Bajada
Entre 50 y 100	0.8	1.35

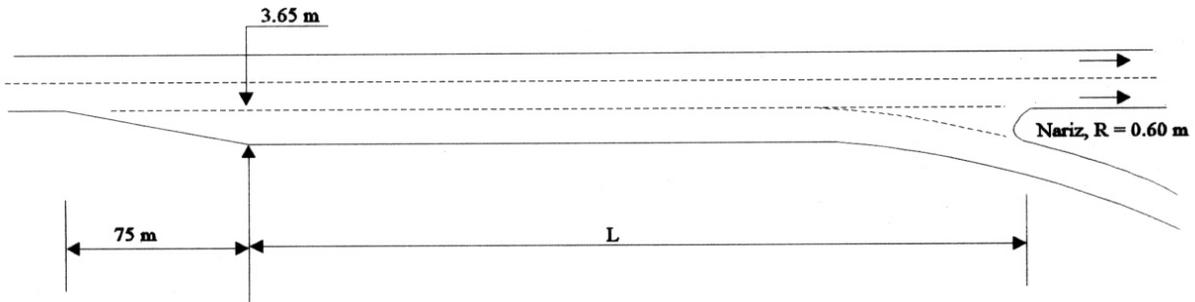
Tabla 3-I-26 Factor de ajuste de longitud de carriles de desaceleración para pendientes mayores al 4%, hasta al 6%.

En el carril de desaceleración del tipo oblicuo, la longitud "L" que está indicada en las tablas 3-I-24, 3-I-25 y 3-I-26, está controlada por el punto donde la pista llega a alcanzar un ancho de 3.65 m, como se puede apreciar en el gráfico 3-I-25 (a). La salida oblicua que forma un ángulo de deflexión con el borde de la carretera no debe ser menor de 2° y mayor de 5°, así el proyectista tiene flexibilidad para verificar si el punto  $\hat{a}$  está bien ubicado, este punto puede estar ubicado en la nariz, que es un buen punto de control, pero no antes de ella, si queda ubicado después de la nariz, no debe caer en una curva circular cuyo radio sea inferior a

300m. La longitud "L" del carril de desaceleración tipo paralelo, está indicada en las tablas 3-I-24, 3-I-25 y 3-I-26; la ubicación de este segmento está controlado por el punto  $\hat{I}$  que corresponde a la nariz, lo mismo que en el caso anterior, este punto puede estar después de la nariz siempre que no sea en una curva cuyo radio es menor de 300m; el gráfico 3-I-25 (b), ilustra las características de un carril de desaceleración paralela.



a) Pista de desaceleración, salida oblicua



b) Pista de desaceleración, salida paralela

GRÁFICO 3-I-25

Los carriles de aceleración y desaceleración descritas y dimensionadas en este manual, se aplican a autopistas, que corresponden, dentro de la clasificación nacional, a las carreteras especiales; se recomienda que estos instructivos de diseño de estos carriles adicionales, también sean aplicadas en las carreteras principales, hasta donde las condiciones físicas lo permitan. Cuando se diseñan carreteras secundarias, el proyectista

podrá usar estas normas como indicaciones generales para diseñar entradas y salidas, el diseño deberá ajustarse a las condiciones físicas del terreno y a las limitaciones económicas. En caminos vecinales y de penetración, es sólo el criterio del proyectista, de acuerdo a las experiencias locales, que determinará la ubicación y la forma geométrica de las entradas y salidas de los caminos.

## SECCIONES TRANSVERSALES

Los elementos de la sección transversal influyen sobre las características operativas, de seguridad y estética del camino. Deben diseñarse de acuerdo con los patrones de velocidad, capacidad y nivel de servicio, y con la debida consideración de las dimensiones y características de operación de los vehículos y del comportamiento de los conductores.

Sobre estas bases las normas establecen los valores de aplicación para los elementos de las secciones transversales de los caminos de la red nacional, resumido en la Planilla de las Características Geométricas.

El diseño de la sección transversal debe hacerse con espíritu previsor de modo tal que las futuras ampliaciones resulten fáciles y económicas de realizar.

### **Calzada**

La forma, dimensiones y estado de la calzada, junto con la curvatura horizontal y las pendientes del alineamiento vertical son las características geométricas que mayor influencia tienen sobre la seguridad y confort del tránsito.

En el gráfico 3-I-26 se indican cinco secciones transversales de tres carriles en cada sentido que muestran la geometría típica de calzadas indivisas y calzadas separadas por medio de una mediana.

En los gráficos 3-I-10 y 3-I-11 se muestran las secciones típicas que corresponden a los cinco tipos de carreteras designadas en el país, dentro de este contexto tipo y sin perder el concepto original, existen muchas variaciones cuyo diseño obedece a las necesidades de la carretera. Las carreteras secundarias, caminos vecinales y caminos de acceso o penetración, rara vez su sección típica muestra una variante, sin embargo las carreteras especiales y las carreteras principales, frecuentemente sus secciones típicas deben ser adaptadas a las exigencias de seguridad y demanda en el tráfico, especialmente en sectores urbanos y suburbanas, es en estos casos que se introducen las medianas.

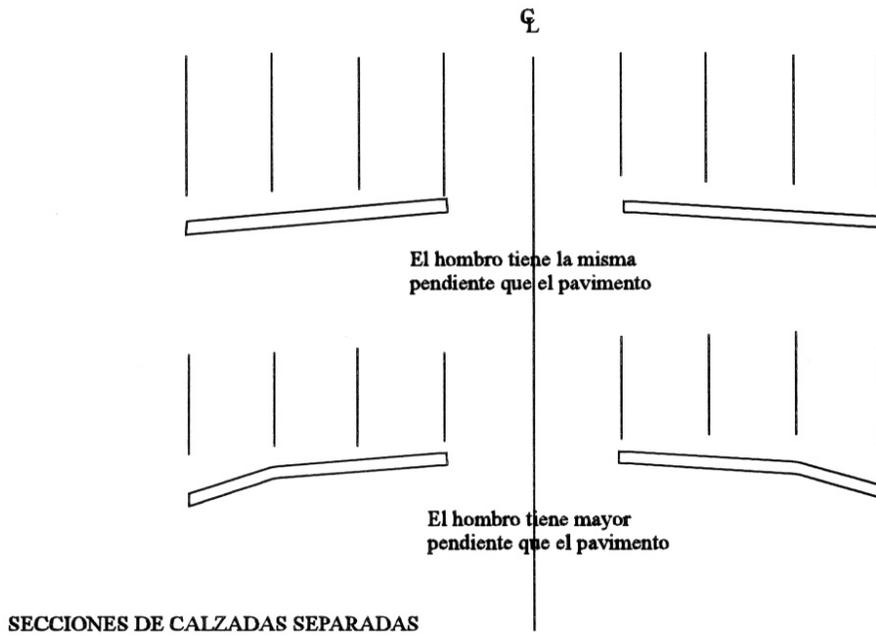
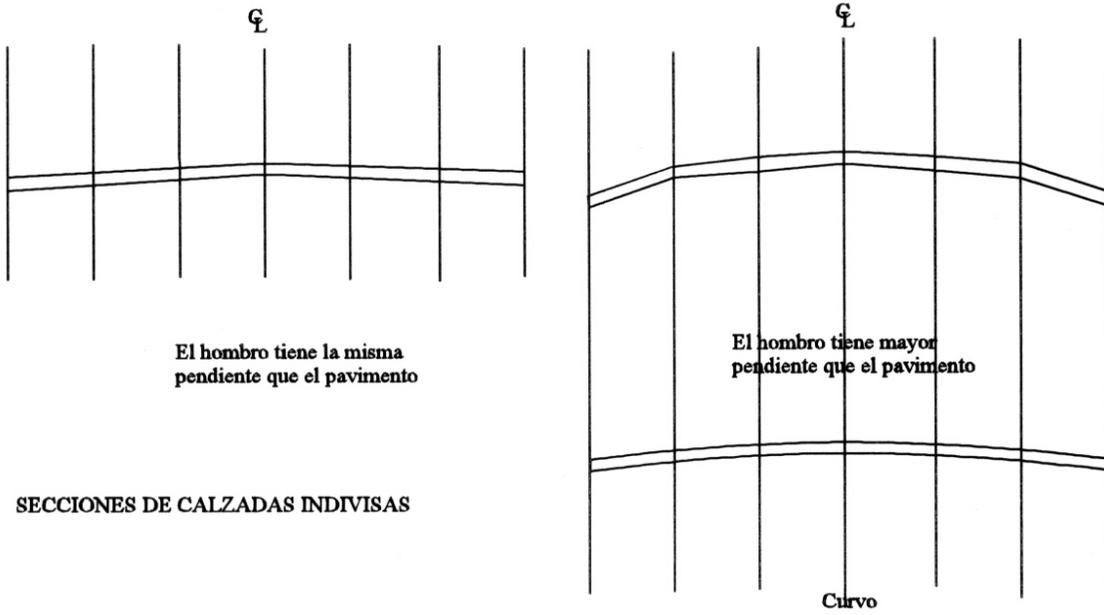


GRÁFICO 3-I-26 Secciones transversales

### **Secciones transversales con mediana y separador**

Muchas veces se necesita construir un separador para impedir que los vehículos traspasen la calzada de sentido contrario, este separador se justifica cuando el volumen de tránsito es alto y para impedir el giro de retorno. Se hace indispensable cuando se trata de una carretera con sistema de peaje. El gráfico 3-I-27 muestra secciones típicas con separador en la mediana, las secciones que aparecen en los gráficos 3-I-27 (a) y 3-I-27 (b), generalmente son usadas en lugares donde hay limitaciones con el derecho de vía y donde las condiciones indican que la carretera debe tener separador, en el primer caso el separador es una doble barrera de protección y en el segundo caso es una barrera de concreto tipo New Jersey o equivalente, al ancho de esta mediana es de 1.20m, sin embargo estas medidas pueden ser modificadas. Las secciones indicadas en los gráficos 3-I-27 (c) y 3-I-27 (d) se usan generalmente en zonas urbanas y suburbanas, donde el derecho de vía también limita el ancho de la carretera, el ancho de la mediana es mas o menos 1.20m, muchas veces la mediana es usada para la instalación de postes para luminarias, semáforos y señalización. El gráfico 3-I-27 (e) es de las mismas características que los dos anteriores, la diferencia es que en este caso, la mediana puede ser usada para la instalación de algunos servicios públicos.

En los caminos de carriles no divididos de

zonas rurales, se adoptará el perfil cuando el hombro sigue la misma ruta que el pavimento o a dos aguas, con pendiente uniforme en cada semi ancho y su parte central redondeada con un arco de curva.

En los caminos de carriles divididos, cada calzada puede tener pendiente hacia afuera o cuando el hombro sigue la misma ruta que el pavimento, según el sistema de evacuación del agua superficial.

También, con pendiente transversal continua, el tercer carril podrá aumentar su pendiente en 0.5% con la debida consideración a las condiciones de maniobrabilidad de los carriles adyacentes.

Las rampas y conexiones que entran o salen de la carretera tendrán pendientes hacia el lado exterior; excepcionalmente hacia ambos lados en el caso de rampas de doble sentido de circulación que puedan presentarse en enlaces de intercambio.

En las calles y avenidas de las zonas urbanas se emplearán de preferencia los perfiles curvos. Por razones constructivas los perfiles curvos se adaptan mejor en las calzadas de hormigón. Los perfiles cuando el hombro sigue la misma ruta que el pavimento con bordillo-cuneta de hormigón, se adaptan mejor en las calzadas asfálticas urbanas.

En la tabla 3-I-27 se indican las pendientes transversales para zonas mojadas y secas y el tipo de pavimento.

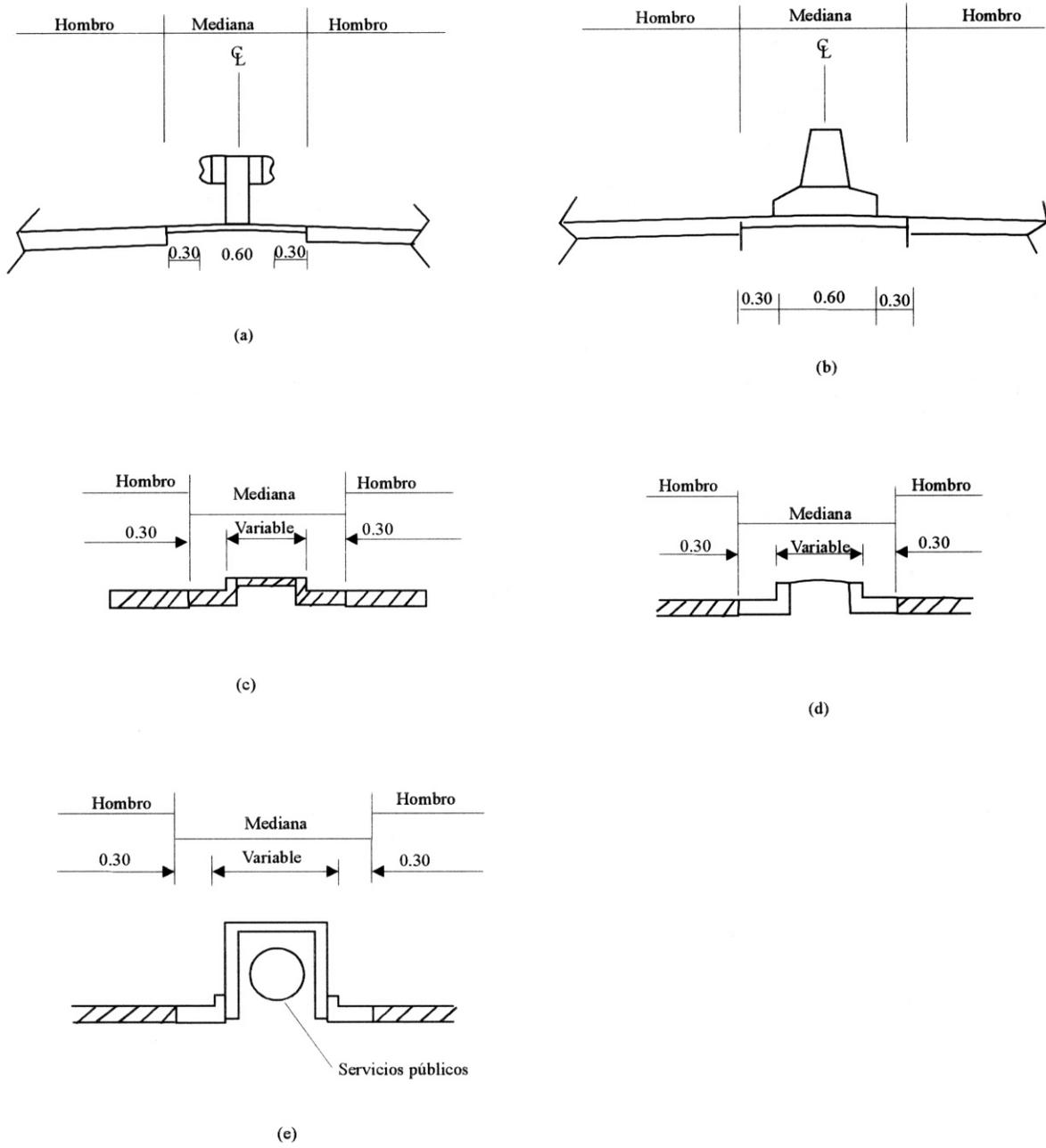


GRÁFICO 3-I-27 Sección transversal de mediana

TIPO DE PAVIMENTO	PENDIENTES TRANSVERSALES EN %	
	Zona mojada	Zona seca
Hormigón	2	1.50
Concreto asfáltico	2	2.00
Carpeta bituminosa y macadam a penetración	2.5	2.00
Tratamientos bituminosos tipos doble y triple	2.75	2.50
Tratamiento bituminoso tipos simple	3	3.00

Tabla 3-I-27 Pendientes transversales

Los valores se refieren a condiciones climáticas no rigurosas. En el caso de Honduras donde, prevalece una estación de lluvias bien definida, se adoptan en todos los casos un valor de pendiente del 3%, y en casos muy justificados, el valor 2.5%. En el caso de que ambas calzadas se encuentren en curva, podrá ser más económico, y aún más agradable desde el punto de vista estético, que en lugar de dar a todo el ancho de coronamiento de obra básica un peralte uniforme, se proporcione a cada calzada su perfil longitudinal propio e independiente del de la otra.

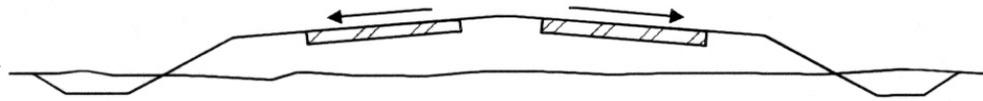
### Secciones transversales con mediana

Las carreteras rurales, excepto casos aislados, no tienen las limitaciones del derecho de vía, como las carreteras urbanas y suburbanas. Cuando se dispone de espacio, la inclusión de una amplia mediana es un elemento que ayuda a lograr un buen diseño, no sólo en lo geométrico, la parte estética es muy beneficiada ya que la mediana puede ser usada como área de mejoramiento del paisaje. La mediana puede tener diversos usos, como espacio disponible para una futura ampliación, áreas de descanso, refrigerio, servicios públicos, servicios de emergencia y otras utilidades.

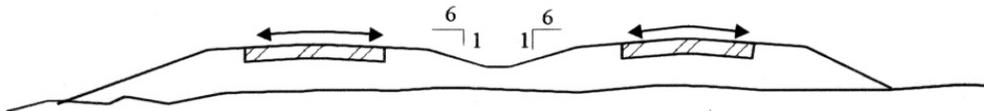
En el gráfico 3-I-28 (a) se ilustra la sección normal de una carretera con una mediana pequeña ocupada por los hombros. En el gráfico 3-I-28 (b) se muestra la sección normal de una carretera con una mediana ancha de talud constante de 6:1. El gráfico 3-I-28 (c) representa una sección en peralte donde la mediana tiene taludes diferentes, que tienen que estar dentro de ciertos límites: no más planos de 6:1 ni más pendientes de 4:1, en el caso que este último límite no pueda cumplirse, habrá que recurrir a otros elementos para no rebasarlos, como barreras, muros u otros elementos. El gráfico 3-I-28 (d) muestra una sección normal a desnivel, donde parte de la mediana es ocupada por un muro de contención.

### Secciones en depresión

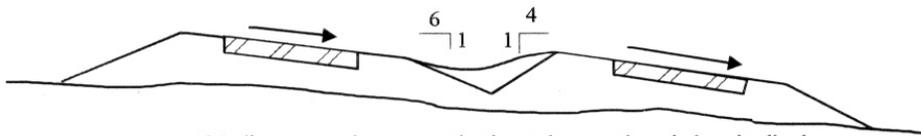
Este tipo de diseño de carreteras deprimidas que tienen calzadas colectoras o rampas, están catalogadas dentro de las carreteras especiales y principales, las carreteras deprimidas rara vez tienen mediana, con el fin de disminuir el volumen de movimiento de tierra en corte. En el gráfico 3-I-29 (a) se muestra una carretera deprimida, que generalmente su diseño obedece a la



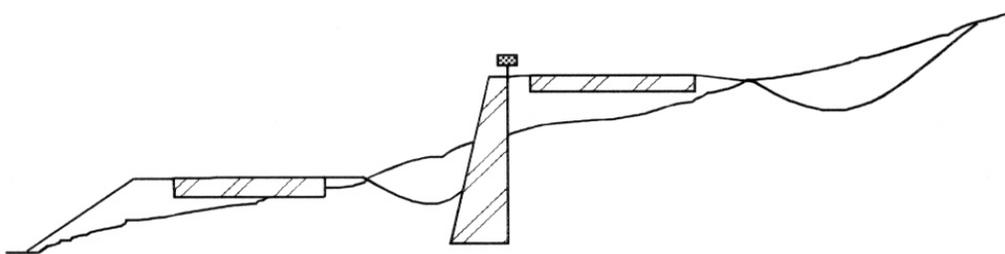
a) Mediana central de ancho reducido sin drenaje longitudinal propio  
Calzadas con pendiente transversal hacia los bordes exteriores



b) Mediana central con ancho que permite drenaje longitudinal  
Calzadas con pendiente transversal hacia ambos bordes



c) Mediana central en curvas horizontales con drenaje longitudinal  
Calzadas con perfil longitudinal independiente



d) Mediana central con muro de contención y barrera de seguridad  
Calzadas con perfil longitudinal independiente

GRÁFICO 3-I-28 Secciones transversales

incorporación de enlaces o movimientos para un intercambio, este tipo de diseño es mas usado en proyectos rurales. El gráfico 3-I-29 (b) tiene las mismas características del mencionado anteriormente, la única diferencia es la incorporación de muros de contención debido a la profundidad de la depresión o limitaciones en el derecho de vía. El gráfico 3-I-29 (c) es la típica vía deprimida en áreas urbanas. El gráfico 3-I-29 (d) tiene las mismas características anteriores, este diseño es muy usado cuando las restricciones de espacio son estrictas, el diseño no es económico y sólo se justifica cuando las necesidades lo requieren, una gran porción de las colectoras o rampas están en voladizo.

### **Secciones en viaducto**

Los viaductos son muy costosos y generalmente son proyectos urbanos, el gráfico 3-I-30 (a) muestra una sección transversal de un viaducto compuesto de calzadas de autopistas y las rampas de conexión y a nivel del terreno están las rampas colectoras. El gráfico 3-I-30 (b) está la autopista como viaducto y las colectoras a nivel del terreno. Los viaductos estarían clasificados como carreteras especiales y principales.

### **Secciones en peralte**

La transición del peralte para calzadas indivisas ha sido tratada bajo este mismo título en el Alineamiento Horizontal. Gráfico 3-I-31(c).

En el proyecto de una carretera con calzadas separadas, la presencia de la mediana en la

sección transversal altera el tratamiento del peralte. Según sea el ancho y sección transversal de la mediana, existen tres casos generales:

Caso 1: Toda la sección, incluyendo la mediana es peraltada como una sección plana.

Caso 2: La mediana se mantiene en un plano horizontal y las dos calzadas giran separadamente alrededor de los bordes interiores. Gráfico 3-I-31(a).

Caso 3: Las dos calzadas se tratan separadamente resultando diferencias en las altimetrías de los bordes. Gráficos 3-I-31(b).

El Caso a 1, está limitado a medianas angostas y moderados valores del peralte, para evitar grandes diferencias altimétricas entre los bordes exteriores.

El Caso 2, se aplica en medianas de ancho intermedio. Por mantener los bordes inferiores al mismo nivel, la diferencia altimétrica entre los bordes exteriores está limitada a la del peralte. Los bordes interiores, ejes de giro de los peraltes son, con respecto al sentido de la curva, interno y externo de cada calzada.

El Caso 3, se aplica a medianas suficientemente anchas como para minimizar el aspecto de distorsión provocado por la diferencia altimétrica entre los bordes interiores.

En las carreteras de calzadas divididas que sirven a mayores volúmenes de tránsito,

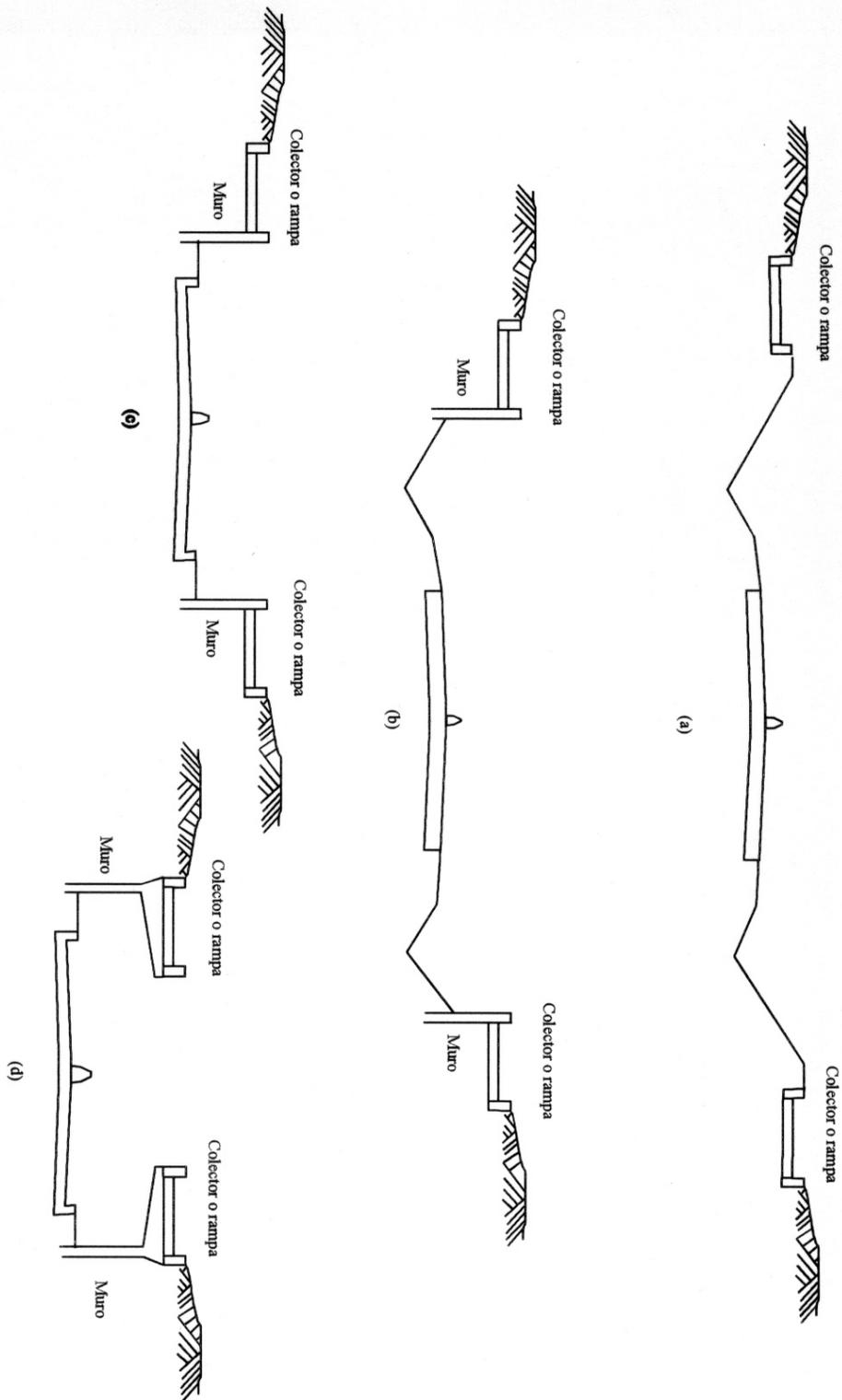


GRÁFICO 3-1-29 Secciones en depresión

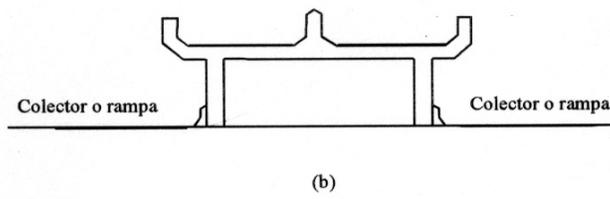
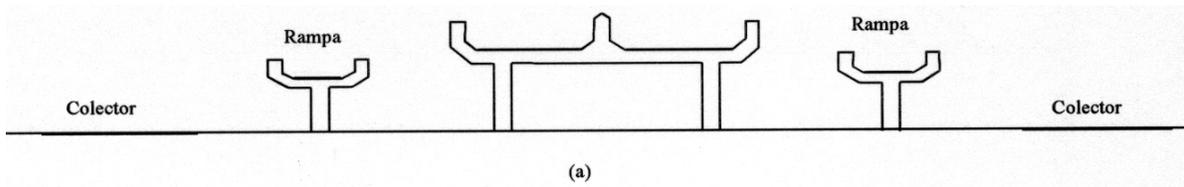


GRÁFICO 3-I-30 Secciones en viaducto

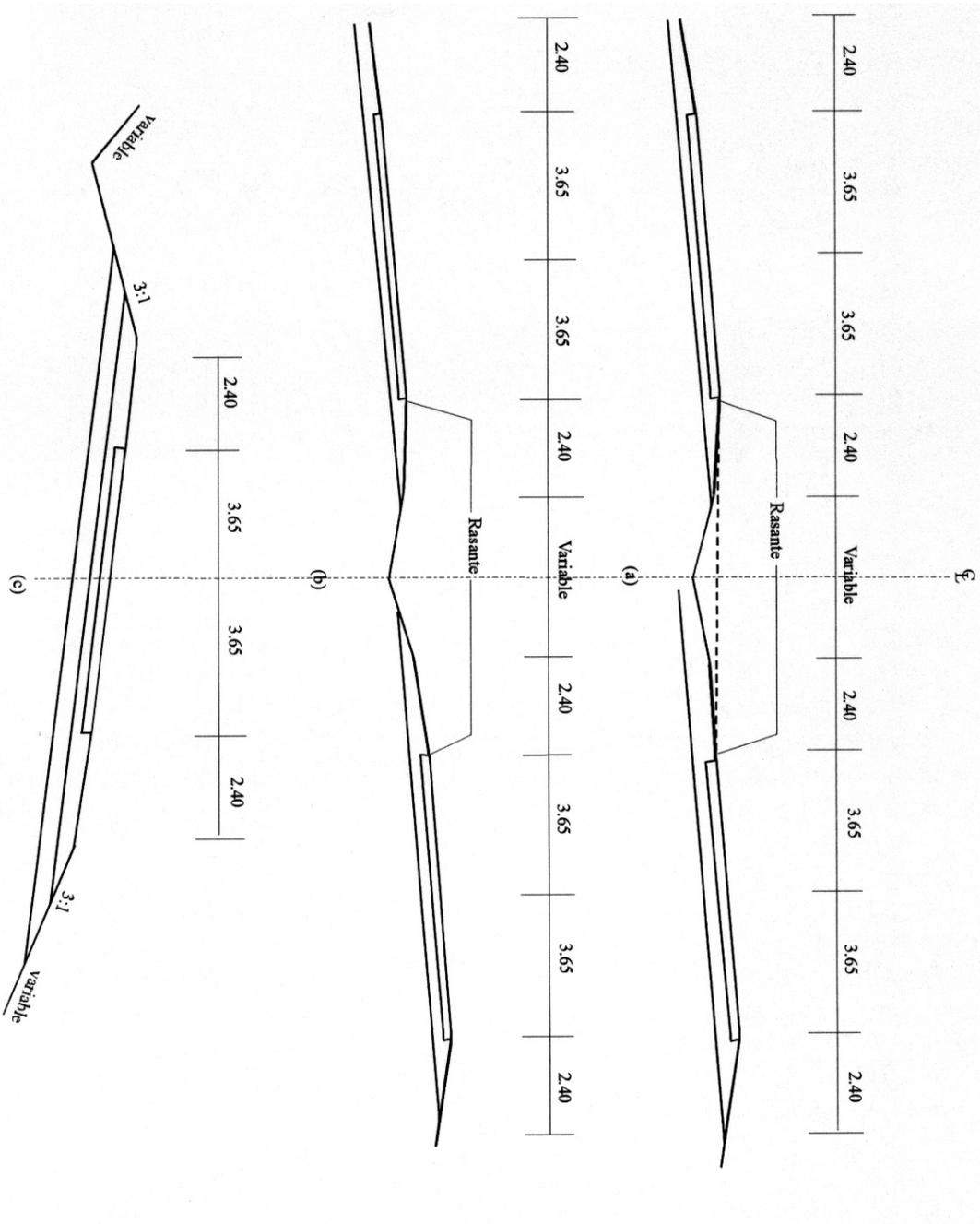


GRÁFICO 3-I-31 Secciones en peralte

Sin escala, medidas en metros

corresponde realizar mayores refinamientos en el proyecto y prestar mayor atención a la apariencia que en los caminos de dos trochas, ya que el mayor costo resultante es de poca importancia respecto al costo de construcción total de la obra.

### **Ancho de carril**

Se recomiendan valores de 3.50m y 3.65m para los carriles de las calzadas unidireccionales y bidireccionales. En los gráficos 3-I-10 y 3-I-11 se indican los anchos de calzadas para las cinco categorías de carreteras.

Si la calzada es de sentido único y tiene más de dos carriles el tercer carril podrá reducirse en su ancho.

Para las rampas de giro y enlace deberá tenerse en cuenta las características de los vehículos predominantes, particularmente por las trayectorias de los mas grandes.

Reducir el ancho del carril en procura de economía suele ser contraproducente, especialmente si además se hacen economías sobre la calidad del tipo de pavimento. Con anchos reducidos los vehículos están obligados a trayectorias únicas, lo que aumentan las cargas repetitivas y el ahuellamiento, con la consecuente reducción de la vida útil del pavimento. Además, se ocasiona la rotura de los bordes del pavimento, provocando mayores costos de mantenimiento, lo que supera la economía hecha en los costos de construcción, principalmente en caminos cuyos hombros no poseen la estructura de contención adecuada (bordillos, pavimentos, etc.)

### **Carriles auxiliares**

Los carriles auxiliares son aquellas adyacentes a la calzada principal, destinados a propósitos complementarios de la circulación del tránsito directo. Se clasifican de acuerdo con su función en:

- Carriles de giro
- Carriles de cambio de velocidad (aceleración y desaceleración)
- Carriles de estacionamientos
- Carril ascendente
- Carril descendente o de emergencia

### **Hombros**

El ancho de los hombros se determina en función de la categoría o clasificación de la carretera y de la topografía de la zona que atraviesa. Por otra parte en carreteras de clasificación principales y secundarias, en lo posible, el ancho de los hombros debe prever el ensanche futuro del pavimento sin necesidad de ampliar el ancho de la obra de movimiento de tierras.

Respecto de la pendiente transversal del hombro se ha adoptado en todos los casos el valor 5% teniendo en consideración la intensidad y estacionalidad del régimen de lluvias del país.

Cuando la calzada se encuentre en correspondencia con una curva horizontal y el peralte sea mayor que la pendiente transversal del hombro, se adoptará el mismo valor del peralte para toda la calzada.

*- El ancho del hombro en correspondencia con una obra de arte (alcantarillas, estructuras, etc.) debe mantenerse igual al de los tramos adyacentes.*

*- Las reducciones parciales o totales del ancho del hombro, deben justificarse*

mediante una evaluación económica comparativa entre los costos de construcción y el criterio de seguridad.

- Los hombros deben ser continuos para permitir que un vehículo pueda estacionar sobre ellos en cualquier lugar de la carretera. En caso contrario, los usuarios estacionarán parcialmente sobre la calzada con el consiguiente problema de seguridad.

- En general se observa en las carreteras troncales del país la tendencia de diseñar hombros de ancho reducido del orden de 1.00 - 1.50m, el que junto a la falta de un adecuado tratamiento de la superficie o del mantenimiento rutinario, crean una situación de inseguridad que debe evaluarse mediante la conveniencia de prever una obra de tierra de mayor ancho o aún de reducir el de la calzada en una primera etapa.

- En los lugares en que se coloquen señales reglamentarias, defensas, o cualquier otro elemento vertical permitido, el hombro debe ensancharse de modo que dichos elementos no obstruyan el hombro y permitan el estacionamiento de los vehículos.

- Los hombros no estabilizados son en general peligrosos debido a la falta de mantenimiento, creando una diferencia de nivel con el pavimento, o por efectos de la erosión y malezas. Debido a esta causa los conductores se alejan del borde de la calzada incrementando la inseguridad de circulación.

- En aquellos casos especiales donde no pueda construirse el hombro con su ancho reglamentario, debe preverse la construcción de áreas de estacionamiento de detención a cada lado del camino a intervalos no superiores a los 400m. Cuando se construyen

estas áreas de estacionamiento serán provistas de secciones de transición de longitud adecuada para facilitar su uso y permitir el ingreso y egreso a la velocidad normal de marcha.

- Se deberá cumplir estrictamente lo recomendado por las normas de señalización contenidas en otro componente del Manual. El señalamiento del límite entre calzada y hombro, adquiere particular importancia cuando no existe un marcado contraste en la apariencia visual de ambos o durante la circulación nocturna.

- Cuando se trata de carreteras de clasificación Especial con calzadas separadas por una mediana provista de algún tipo de bordillo o barreras de seguridad, estos elementos deberán mantener una separación mínima del borde interno de las calzadas, lo que hace aconsejable la existencia de un hombro interno de ancho suficiente el que será pavimentado y llevará la correspondiente señal de pintura blanca reflectante del borde del pavimento.

El ancho de hombro interno se indica en la tabla 3-I-28

- Los hombros internos resultan también convenientes en aquellos casos en que se prevé la ejecución del ancho de calzada por etapas, permitiendo estudiar la conveniencia de que dicho ensanche se realice hacia adentro de la calzada existente, o se incorpore un nuevo carril adicional

Número de carriles adyacentes	Topografía del terreno		
	Llana	Ondulada	Montañosa
2	1.20	1.00	0.60
3	2.50	2.00	2.00
4 o más	3.00	2.50	2.50

Tabla 3-I-28 ancho (m) de hombro interno

### Mediana

La mediana se utiliza como elemento divisorio de calzadas de distintos sentido de circulación.

Es conveniente que su ancho reservado únicamente a las carreteras especiales, prevea la posibilidad de agregar nuevos carriles cuando las necesidades del tránsito lo requieran.

En caminos que se desarrollen en zonas montañosas, el ancho mínimo podrá reducirse a un metro, de preferencia con algún elemento separador de seguridad en el centro.

En las carreteras especiales en zona plana u ondulada es aconsejable que la mediana tenga un ancho mínimo de cuatro metros y un ancho deseable entre 10-12 metros para permitir las obras de drenaje y el futuro ensanche de la calzada.

En general para anchos reducidos, debe proyectarse el escurrimiento superficial de las aguas de lluvia de la mediana se realice sobre las calzadas. En cambio, será recomendable que en anchos mayores, drenen por medio de una cuneta longitudinal ubicada en su interior. En este caso deberá preverse una pendiente de talud no inferior a 4:1, siendo recomendable 6:1.

Las medianas en zonas urbanas o con anchos menores de dos metros deberán ser elevados,

con bordillos de barrera o semi-montables, además de estar totalmente pavimentado. La barrera de seguridad se ubicará cuando el volumen de tránsito lo justifique.

Cuando la mediana tenga un ancho mayor de cuatro metros, es deseable la ornamentación por medio de plantas y su construcción podrá realizarse sin bordillos.

Es recomendable no reducir el ancho de la mediana en correspondencia con las estructuras, a menos que razones fundamentadas en serias restricciones en la zona de camino o económicas lo justifiquen.

El empleo de algún tipo de barrera de seguridad o defensa, debe ser evaluado cuidadosamente por el proyectista debido a su alto costo de adquisición y mantenimiento, y por ser a veces motivo de accidentes en número mayor que su ausencia ocasionaría.

El gráfico 3-I-32 puede utilizarse como guía para determinar la necesidad de ubicar una barrera en la mediana en función de su ancho y del volumen de tránsito previsto.

El aspecto seguridad debe recibir de parte del proyectista la atención preferente al diseñar los taludes. La estabilidad estructural depende de la naturaleza del material y del método constructivo, por lo que se hace necesario recurrir a los métodos de mecánica de los suelos y a la intervención de un

especialista en la materia, tal como se indica en el capítulo de geología del manual.

### **Taludes de relleno y Taludes de corte**

Los taludes de relleno son las superficies laterales inclinadas hacia afuera y abajo de los terraplenes, desde el borde exterior del hombro hasta el nivel del terreno natural o coronamiento de un muro de contención.

Los taludes de corte son las superficies laterales inclinadas o escalonadas de los cortes hacia afuera y arriba desde el nivel de la cuneta hasta el terreno natural, pudiendo tener en parte un muro de revestimiento.

El diseño de los taludes de relleno y taludes de corte consiste en establecer la pendiente y tipo de revestimiento adecuados, teniendo en cuenta la influencia de diversos factores, tales como:

- C Seguridad
- C Estabilidad estructural
- C Clima y erosión
- C Facilidad de mantenimiento
- C Apariencia estética
- C Economía

El aspecto de seguridad debe recibir de parte del proyectista la atención preferente al diseñar los taludes.

La estabilidad estructural depende de la naturaleza del material y del método constructivo, por lo que se hace necesario recurrir a los métodos de mecánica de los suelos y a la intervención de un especialista en la materia, tal como se indica en el capítulo de geología del Manual.

En los taludes de fuerte pendiente, la erosión actúa fácilmente especialmente en

determinados tipos de suelos creando una situación de peligro para el tránsito, dado que los taludes estables al principio pueden dejar de serlo con la erosión. Una cubierta de vegetación adecuada sobre un talud prevendrá la mayor parte de los daños originados por el clima y mantendrá el suelo firmemente arraigado.

Un talud de baja pendiente tiene mayor superficie expuesta, pero la erosión disminuye y se facilitan las tareas de revestirlo con una cubierta vegetal. En cambio, en los taludes de fuerte pendiente, se dificultan las tareas de mantenimiento con equipo mecánico y son necesarias operaciones manuales.

Desde el punto de vista de la apariencia estética más natural e integrada al terreno circundante y su paisaje, en el caso de los terraplenes de altura variable es preferible que los taludes, en las distintas secciones, no tengan la misma proyección horizontal es decir, pendientes inversamente proporcionales a su altura.

Los taludes deben adaptarse a la naturaleza, armonizar con la topografía del terreno. Si éste fuera plano deberían ser lo más tendido posibles, lo contrario en terreno accidentado donde puede admitirse taludes de mayor pendiente.

La armonía de formas, redondeo de bordes y pie de taludes y el cubrimiento vegetal con buena conservación contribuyen a realzar la apariencia estética de la carretera.

La principal desventaja de los taludes de poca pendiente reside en su aspecto económico por el mayor volumen de tierra, pero no siempre la solución más conveniente son los taludes

de fuerte pendiente, por lo que el proyectista deberá evaluar este aspecto considerando la funcionalidad y seguridad que debe ofrecer al usuario.

El proyectista debe realizar un análisis económico entre el costo inicial del movimiento de tierras con taludes de baja pendiente pero menor costo de mantenimiento, y el costo de los elementos de defensa, seguridad y menor volumen de tierra.

### **Pendientes**

*De acuerdo con lo visto en el punto anterior, los factores de seguridad, erosión, facilidad y economía de mantenimiento y apariencia estética justifican la construcción de taludes de relleno de pendiente razonablemente baja.*

*Los taludes de relleno de pendiente 4:1 (25%) o más tendidos permiten a la mayoría de los conductores de los vehículos desviados retomar el control con pocas probabilidades de vuelco, y disminuyen la severidad del impacto en los desmontes.*

*En caminos importantes es conveniente reducir aún más las pendientes de los taludes de relleno y llevarlas a 6:1 (17%) o menor.*

*Los equipos mecánicos de construcción y de mantenimiento pueden trabajar eficientemente hasta taludes del orden de 3:1 (33%) y en condiciones precarias con taludes de hasta 2:1 (50%).*

*A los taludes de corte excavados en tierra se les da una pendiente transversal en general mayor que la del talud de relleno; un valor típico es de 2:1.*

*La pendiente de la excavación en roca estará determinada por su composición y estado. La transición entre pendientes distintas debe hacerse en forma gradual. Del mismo modo, no debe cambiarse el talud en forma sistemática. Debe estudiarse la sección y evaluar la necesidad de mantener o variar el talud. Como criterio general se puede recomendar, no modificar los taludes cuando la longitud del sector afectado sea menor de 25 metros.*

*Las pendientes mencionadas anteriormente son las más comunes, pero si las condiciones del terreno u otros factores implican otros valores, se podrán utilizar contando con la aprobación del proyectista.*

Los valores indicados de las pendientes son ilustrativos y deben aplicarse con criterio.

La altura del terraplén para la colocación de la barrera de seguridad debe ser analizada también desde el punto de vista económico.

Respecto de los taludes de corte valen las mismas consideraciones indicadas que para los taludes de relleno. Siempre debe evaluarse la pendiente en función de la estabilidad, seguridad, mantenimiento y necesidad de tierra para la compensación longitudinal.

Desde el punto de vista estético son aplicables las mismas recomendaciones dadas para el caso de los taludes de terraplenes.

### **Cunetas y cunetas préstamos**

Se denominan cunetas a los canales que desempeñan la vital función de conducir, desviar o alejar el agua superficial de la zona de camino. Cuando además cumplen la función como fuente de material reciben el nombre de cunetas préstamos.

Las cunetas de acuerdo con su función específica pueden ser clasificadas en: cunetas laterales; rápidos; contracunetas; cuneta central; canales transversales y bordillo-cuneta.

### **Cunetas laterales**

Son las que se construyen en forma paralela al camino y con la dirección aproximada a su eje geométrico, llevando el agua hasta los puntos más bajos del perfil longitudinal o hasta la alcantarilla transversal más próxima. Generalmente el suelo extraído se emplea en la construcción de los terraplenes (cunetas préstamos).

En carreteras principales es conveniente el uso de cunetas de sección transversal trapezoidal con un ancho de fondo de cuneta de 2.00 metros mínimo y deseable de 3.00 m para facilitar su excavación con equipo pesado y la conservación futura, siendo recomendable que la solera tenga pendiente transversal que aleje el agua del pie del talud.

La zanja de sección trapezoidal representa un cauce más natural y de superior capacidad de descarga hidráulica en relación con el tipo de sección abierta triangular (en "V"). La pendiente longitudinal de la cuneta debe proyectarse en función del terreno natural y del perfil transversal de la obra.

La capacidad de una cuneta puede aumentarse ventajosamente ensanchándola en lugar de profundizarla; adicionalmente se reduce la velocidad de la corriente y la erosión.

En suelos erosionables o donde la velocidad del agua debido a la pendiente longitudinal sea próxima a la crítica que provoque la erosión del suelo, se deberán proyectar salidas o retardadores. En caminos importantes con altos volúmenes de tránsito será deseable si resulta económicamente justificable, construir cunetas revestidas.

El tipo de revestimiento dependerá de la velocidad del agua, tipo de suelo de la pendiente y forma de la cuneta.

Para carreteras especiales o autopistas con mediana colectora de agua, se ubicarán tragantes convenientemente distanciados para conducirla mediante conductos subterráneos de salida a las cunetas o alcantarillas.

Será deseable que las pendientes de las paredes de la cuneta no superen la relación 1:4, en caso contrario prever algún tipo de defensa o entubamiento.

### **Rápidos**

Los rápidos son canales abiertos o cerrados con pendiente elevada que conducen el agua hacia un nivel inferior. Los rápidos abiertos pueden revestirse en concreto, piedra, tubería metálica, de acuerdo con el volumen y velocidad del agua.

### **Contracunetas**

Las contracunetas se ubican sobre el terreno natural cerca del borde superior del talud en

corte en un desmonte o corte, a lo largo del borde de la zona de camino, para interceptar la corriente que escurre sobre el terreno hacia el camino.

Su finalidad es la de reducir la erosión de los taludes en corte del desmonte, la infiltración y la posibilidad de inundar el camino en forma no controlada, guiando el escurrimiento generalmente hacia las cunetas o alcantarillas.

El trazado de las contracunetas debe proyectarse sobre planos con curvas de nivel, previéndose la necesidad de su revestimiento cuando el tipo de suelo lo requiera. En el caso de desmontes con bermas, éstas deberán tener pendiente hacia el talud en corte inmediato superior para evitar el escurrimiento sobre el terreno del corte, y se construirá una zanja para coleccionar y conducir el agua en forma controlada hacia las cunetas o alcantarillas.

Para este tipo de zanja es particularmente necesario evaluar la necesidad del revestimiento para evitar el efecto de infiltración en terrenos erosionables o inestables que puedan ser la causa de derrumbes.

### **Cuneta central**

Las cunetas centrales son las que se ubican de preferencia en las carreteras especiales o autopistas y cuyo objeto es drenar el área de la mediana y parte de la calzada.

El área deprimida que conforma la cuneta central deberá tratarse en forma armoniosa, mediante pendientes que eviten el peligro de un vehículo que la invada en forma accidental. Asimismo se asegura su drenaje

longitudinal con una pendiente adecuada y tragantes ubicados convenientemente para alejar el agua del camino.

### **Bordillo cuneta**

Los bordillos cuneta son los canales en los bordes del pavimento o de los hombros formados por un bordillo o por una suave depresión. Son invariablemente pavimentados con concreto, bloques de piedra o material estructural. Son usados generalmente para el drenaje de caminos en áreas urbanas.

### **Calles laterales o colectoras**

Las calles laterales, colectoras, frentistas o de servicio, son caminos locales auxiliares ubicados al costado de la zona de camino para servir a las propiedades adyacentes. Separan el tránsito directo del local y permiten el control del acceso.

Mediante conexiones adecuadamente espaciadas entre las calzadas principales y las calles laterales se suministra la necesaria vinculación entre ellas.

Dado su carácter, la rasante de estos caminos debe ajustarse al terreno y al drenaje de las propiedades frentistas. Las velocidades de diseño son en general del orden de la mitad de las correspondientes a las calzadas principales.

Se las trata como verdaderas calles, por lo cual sus curvas no serán provistas de peralte y mantendrán el perfil de los tramos rectos.

### **Zona de camino o Derecho de vía**

La zona de camino o derecho de vía es la faja de terreno destinada exclusivamente a los elementos, servicios y funciones del camino. Su ancho depende del ancho de los distintos elementos de la sección transversal, actuales o previstos para el futuro; su longitud es la del camino.

La adquisición de la zona de camino es un elemento clave en cualquier programa de desarrollo para un camino nuevo.

Los factores ingenieriles, de seguridad y económicos tradicionalmente han determinado la cantidad de tierra requerida para la construcción de un nuevo camino. Otros factores como la estética, recreación y confort, son ahora ampliamente reconocidos como muy importantes. Los nuevos conceptos en el proyecto vial requieren más tierra que la normalmente necesaria para la construcción.

Por otra parte, más caminos quedan desactualizados por la falta de adecuada zona de camino que por cualquier otra causa, principalmente en las zonas urbanas o semiurbanas en desarrollo.

Uno de los factores que deben preverse en la adquisición de la franja destinada a la zona de camino, es la necesidad de tierra de préstamos en general para la construcción del camino y en forma particular para los accesos a las cabeceras de los puentes, no siendo conveniente mantener un ancho constante.

Otro de los factores a considerar es el asociado con la posibilidad futura de ensanche de la calzada y consecuentemente de los drenajes, lo que, sin duda, lo será a costo mucho más elevado por la valorización de la tierra adyacente a la carretera.

Cuando el ancho de la zona de camino tenga en cuenta futuras ampliaciones, es conveniente que la obra inicial se proyecte y construya con el eje descentrado a fin de facilitar la construcción.

### **Paradas de buses**

Existen muchos elementos que hay que considerar en el diseño de una parada de buses, particularmente en sitios urbanos, donde las limitaciones con el espacio disponible son frecuentes. El proyectista tendrá que realizar algunos estudios para definir, en la forma más apropiada, el diseño de una parada de buses; tendrá que tener en cuenta la ubicación de la parada, tipo de zona, dimensiones, cantidad de buses que usarán la parada simultáneamente, pendiente longitudinal, pendiente transversal, etc. En el gráfico 3-I-33 se muestra una típica parada de buses en una zona rural y en algunos casos en un zona semiurbana, para una carretera principal de dos carriles, donde se ha considerado que los buses van a una velocidad aproximada de 60 a 70 Km/h, la incorporación de un bordillo contribuye a que el bus se detenga en el sitio apropiado. Se considera adecuada la proporción 1:10 para determinar la longitud de salida de la carretera y de 1:15 para establecer la longitud de entrada a la carretera.

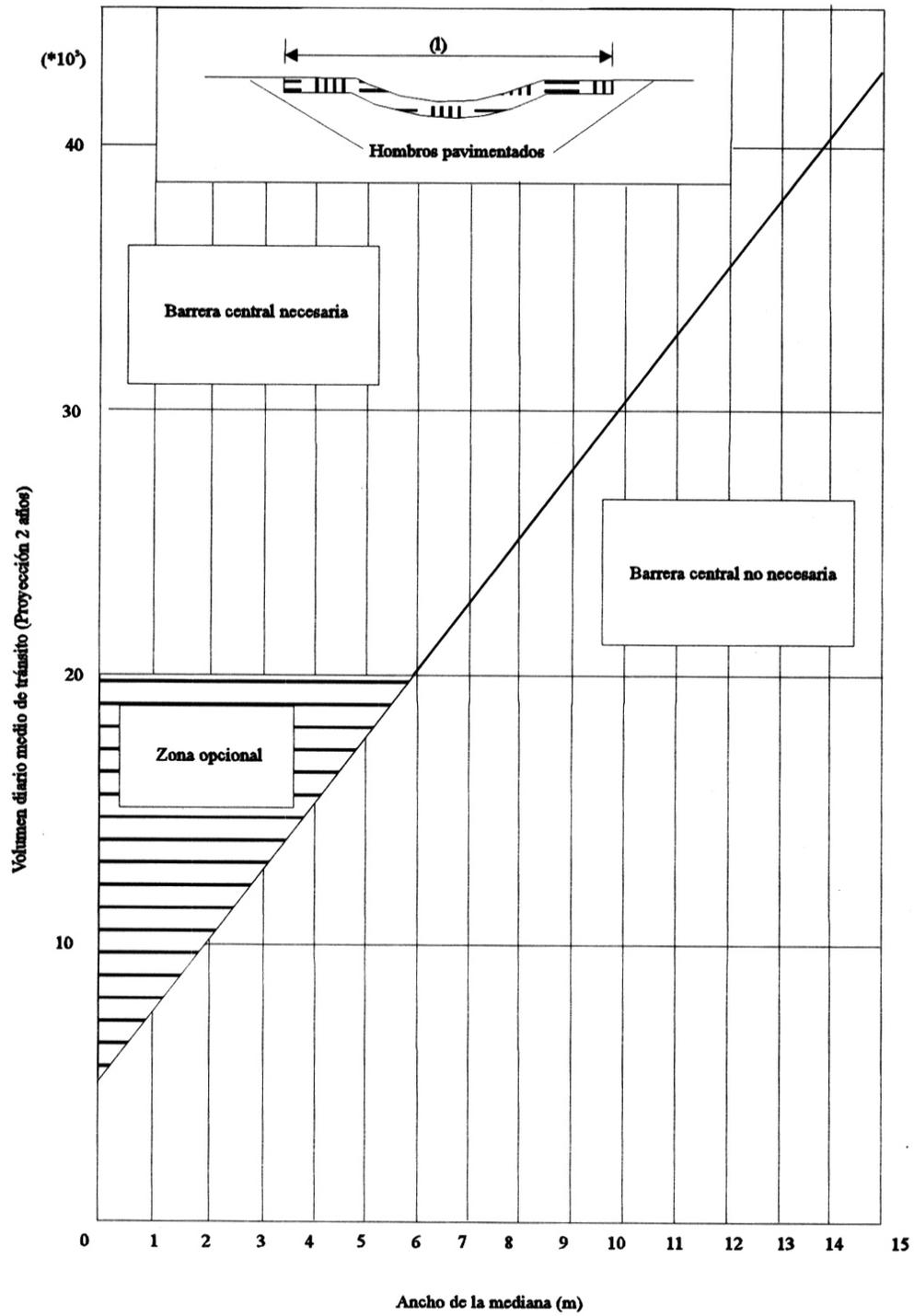


GRÁFICO 3-I-32

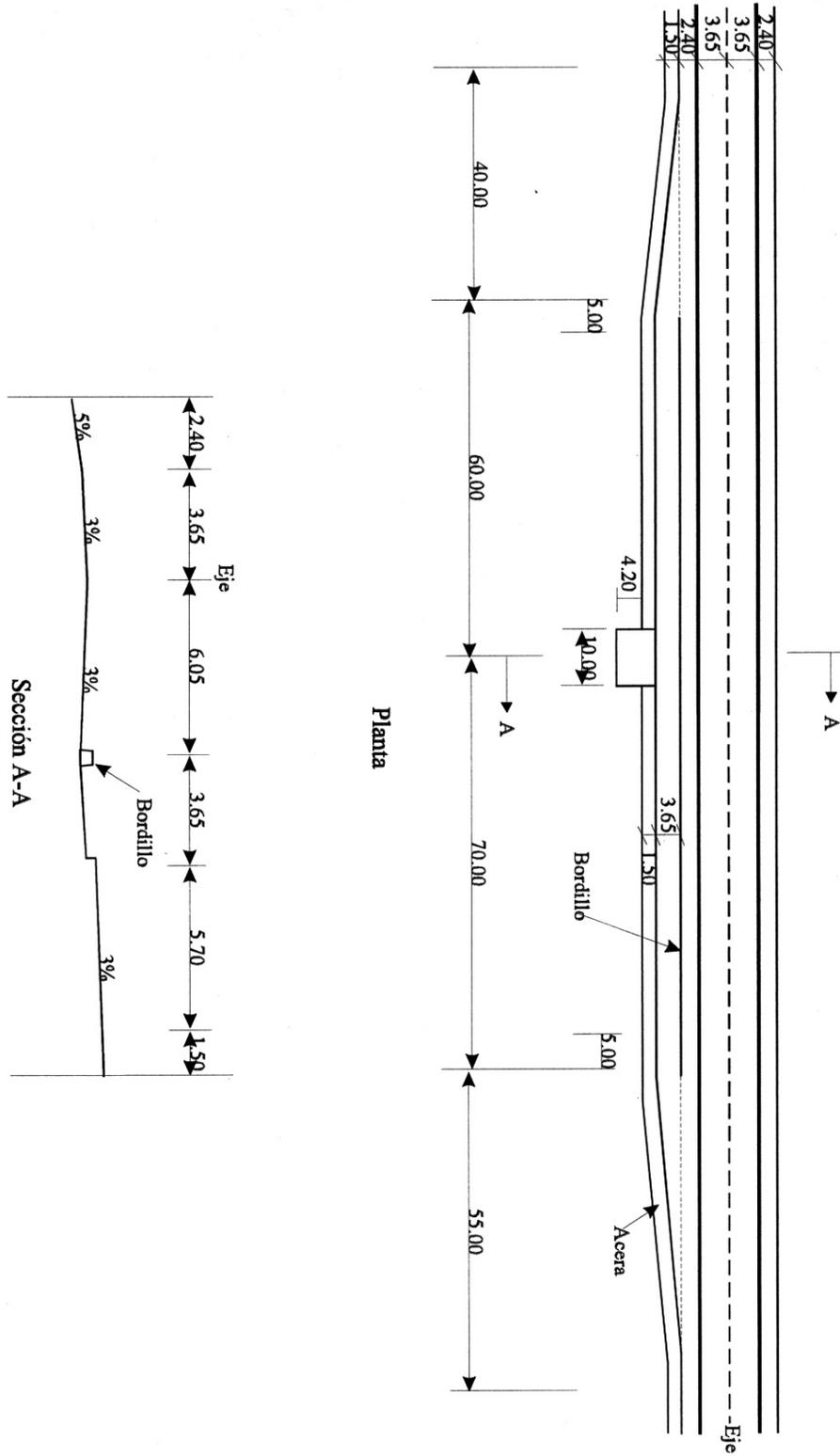


GRÁFICO 3-I-33 Parada de buses

Clasificación de la carretera	Características			Topografía	Velocidad directriz km/h	Peralte máximo %	Pendientes máximas y longitudes correspondientes en recta			Distancia mínima de visibilidad (m)		Anchos de coronamiento (m)				Radio mínimo absoluto (m)	Taludes de relleno según altura (m)			
	Volumen de tránsito Vehículos diarios	Control de acceso	Número de carriles				Valores deseables		Pendiente máxima	Para detención en bajada	Para detención en subida	Carril	Hombro	Mediana	Total		0 a 1.50	1.50 a 3.00	3.00 a 5.00	Mayor de 5.00
							Pendiente	Longitud												
							%	m		%										
Especiales	Mayor a 15000	parcial o Total	4	LL	100	8	2	540	3	205	205	3.65	2.4	Var.	24.2+Var	525	6:1	4:1	2:1	3:2
				ON	80	8	3	540	5	149	107	3.65	2.4	Var.	24.2+Var	296	6:1	4:1	2:1	3:2
				MO	60	10	4	330	6	91	70	3.65	2.4	Var.	24.2+Var	149	3:1	3:2		
Principales o troncales	5000 a 15000	Parcial	2	LL	80	8	3	540	3	149	107	3.65	2.4	-	12.10	296	4:1	4:1	2:1	3:2
				ON	60	8	4	540	5	91	70	3.65	2.4	-	12.10	149	4:1	4:1	2:1	3:2
				MO	50	10	5	240	7	68	54	3.65	2.4	-	12.10	94	3:1	3:2		
Secundarias	1000 a 5000	Parcial o sin control	2	LL	60	8	3	540	5	89	71	3.25	1.75	-	10.00	157	4:1	4:1	2:1	3:2
				ON	50	10	4	330	6	67	55	3.25	1.75	-	10.00	98	4:1	3:1	2:1	3:2
				MO	40	10	5	240	7	47	42	3.25	1.75	-	10.00	57	3:1	3:2		
Vecinales	150 a 1000	Sin control	2	LL	50	8	4	330	6	67	55	2.75	0.75	-	7.00	98	3:1	2:1	3:2	
				ON	40	10	5	240	7	47	42	2.75	0.75	-	7.00	57	3:1	2:1	3:2	
				MO	30	10	6	180	8	31	29	2.75	0.75	-	7.00	30	3:2			
Penetración de Menos de 150	Sin control	2	LL	40	8	5	240	7	47	42	2.00	0.75	-	5.50	57	2:1		3:2		
			ON	30	10	6	180	10	31	29	2.00	0.75	-	5.50	30	2:1		3:2		
			MO	20	10	7	160	12	18	17	2.00	0.75	-	5.50	11	1:1				

TABLA 3-I-52 Parámetros de diseño geométrico

La Tabla resume los parámetros, más importantes, de diseño geométrico para las cinco clasificaciones de carreteras y para los tres tipos de topografía

## DISEÑO DE INTERCAMBIADORES

### INTRODUCCIÓN

#### Definición

En general se define una intersección como la zona donde dos o más caminos se juntan, o se cruzan, incluyendo las instalaciones o canalizaciones para permitir o controlar los movimientos en ella. Cada vía o ruta que llega o parte de una intersección, constituye un ramal, siendo el caso más común el de las intersecciones de cuatro ramales. Es deseable que una intersección no tenga más de cuatro ramales.

La eficiencia, seguridad, velocidad, costo y capacidad dependen en alto grado de su diseño.

Hay diferentes tipos de intersecciones, que se pueden dividir fundamentalmente en intersecciones a nivel, cruces a distinto nivel sin rampas de conexión e intercambio.

Los elementos de diseño que sirven a una intersección a nivel, especialmente los que conciernen a los giros, son también aplicables a los intercambios.

La principal función del diseño de intersecciones, es reducir los conflictos que se suceden entre los vehículos y facilitar el movimiento de los mismos.

El diseño debe tender a respetar las trayectorias naturales de los usuarios y sus características operativas.

Se debe tener en cuenta:

#### A: Factores humanos

1. Comportamiento habituales de los usuarios, conductores, ciclistas y peatones.

#### B: Tránsito

1. Capacidad, actual y diseño.
2. Diseño de giros - necesidades - N° de carriles.
3. Tipo de vehículo.
4. Tipo de movimiento, divergencia, convergencia, entrecruzamiento y cruce.
5. Velocidad diseño.
6. Antecedentes de accidentes.
7. Movimiento de bicicletas.

#### C: Elementos físico - geométricos

1. Pendientes.
2. Visibilidad. Curvatura vertical y horizontal.
3. Angulo de intersección.
4. Análisis de conflictos.
5. Carriles de intercambio de velocidad.
6. Dispositivos de control de tránsito (semáforos).
7. Geometría - Radios - Longitudes de diferentes elementos de diseño.
8. Iluminación.
9. Seguridad - Instalaciones.
10. Tráfico de bicicletas.
11. Factores ambientales.

#### D: Factores económicos

1. Costos de las mejoras.
2. Efecto de las restricciones impuestas al tránsito sobre las zonas adyacentes,

residenciales o comerciales.

### Tipos de intersecciones a nivel

Los tipos básicos de intersecciones a nivel son:

#### Intersecciones de tres ramales

Las intersecciones en T, con múltiples variaciones angulares, las intersecciones de cuatro ramales y las intersecciones múltiples.

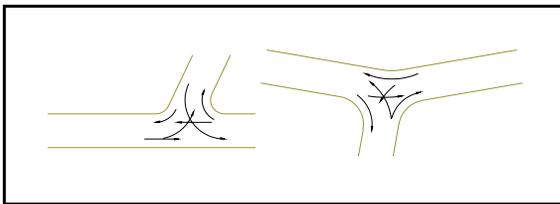


Gráfico 3-I-34 - Casos típicos de intersecciones de tres ramales

En cada caso, el tipo está determinado fundamentalmente por el número de ramales, la topografía y el modelo del tránsito previsto para el diseño.

Una intersección puede variar en tamaño, forma y grado de canalización.

Los principios de diseño aplicables a intersecciones en zonas urbanas, también lo son para zonas rurales.

En zonas urbanas puede surgir la necesidad de mayor control de tránsito por medio de semáforos, desde advertencias sin detención, detención para los volúmenes menores o para ambas direcciones, ya sea de tiempo fijo o según el tránsito que llega a la misma.

También se pueden proveer giros a la derecha sin detención, pero deberá estar supeditado a una convergencia adecuada. En una intersección típica de tres ramales las diferentes trayectorias son seis, pero los conflictos posibles son mucho más numerosos. A esto debemos agregar el cruce de peatones, que también debe ser tenido en cuenta.

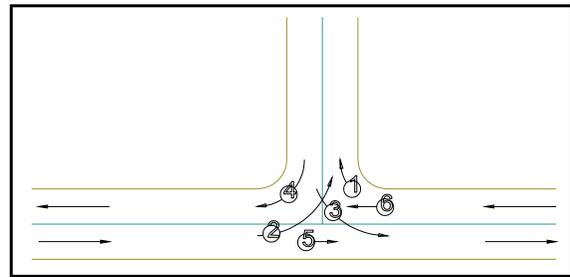


Gráfico 3-I-35 - Trayectorias en una intersección de tres ramales

### Canalización

Como se puede observar en estos ejemplos de intersecciones simples sin ningún tipo de mejora, los conflictos tienden a concentrarse en un punto para el tránsito pasante y los giros a la izquierda, siendo los puntos restantes de mayor significación los de convergencia de los movimientos que se alejan de la intersección. Los conflictos mencionados se pueden ordenar mediante la canalización, que consiste en separar los movimientos en diferentes trayectorias por medio de islas o señalización horizontal en el pavimento para facilitar la circulación más segura y ordenada de vehículos y peatones.

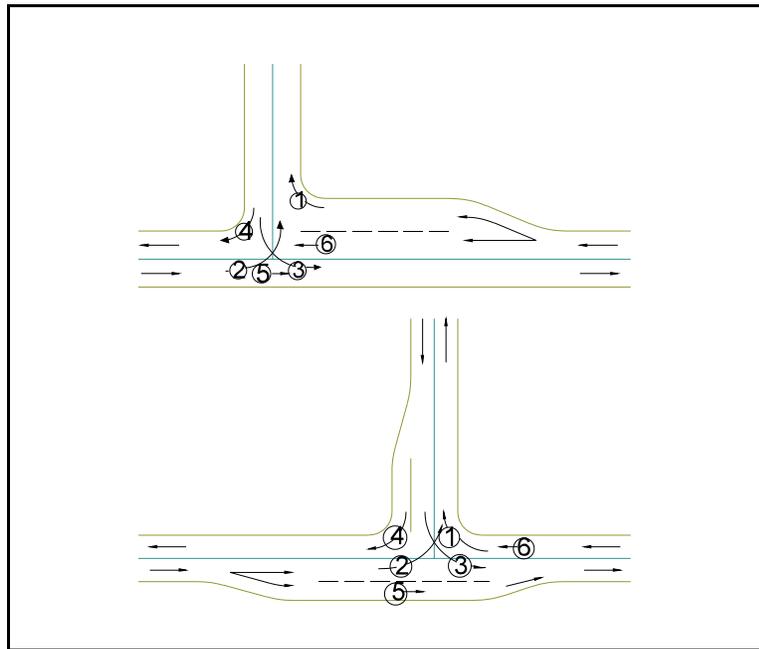


Gráfico 3-I-36 - Ejemplos de canalización

Una apropiada canalización aumenta la capacidad, mejora la seguridad e inspira confianza al conductor.

Una canalización mal realizada puede ser perjudicial y a veces es peor que la ausencia total de la misma. Un exceso de canalización se debe evitar porque puede crear confusión y maniobras equivocadas. Por ejemplo, islas muy pequeñas con bordillos no montables pueden ser no vistas a tiempo y provocar accidentes.

Generalmente es aconsejable una canalización simple, que puede aumentar en alto grado la seguridad del cruce. Un tratamiento apropiado para los giros a la izquierda, puede ser suficiente. Por ejemplo un carril auxiliar de giro a la izquierda, reduce el peligro de un choque trasero y

proporciona un lugar de espera para efectuar el giro cuando se produce la oportunidad.

Del mismo modo, un carril adicional a la derecha, permite al vehículo que se aproxima a la intersección, reducir su velocidad sin peligro de ser embestido por la parte trasera, y girar oportunamente. Similarmente, un carril derecho adicional en el sector de incorporación, reduce la fricción con los vehículos convergentes. Esta elección depende de los respectivos volúmenes de giros y pasantes, así como también de las respectivas velocidades de operación. Un carril exclusivo de giro a la derecha se puede obtener mediante la ampliación del radio de giro a la derecha en la medida suficiente para crear una isla de separación entre la misma y la zona de circulación previa.

En el caso de grandes volúmenes o altas velocidades, un carril adicional sobre el borde derecho para el tránsito pasante es altamente recomendable, porque independiza en gran medida el tránsito más veloz de aquellos que deciden girar a la izquierda.

Generalmente es aconsejable una canalización simple, que puede aumentar en alto grado la seguridad del cruce. Un tratamiento para los giros a la izquierda, puede ser suficiente. Por ejemplo un carril auxiliar de giro a la izquierda, reduce el peligro de un choque trasero y provee un lugar de espera para efectuar el giro cuando se produce la oportunidad.

Del mismo modo, un carril adicional a la derecha, permite al vehículo que se aproxima a la intersección, reducir su velocidad sin peligro de ser embestido por la parte trasera, y girar oportunamente. Similarmente, un carril derecho adicional en el sector de incorporación, reduce la fricción con los vehículos convergentes. Esta elección depende de los respectivos volúmenes de giro y pasantes, así como también de las respectivas velocidades de operación. Un carril exclusivo de giro a la derecha se puede obtener mediante la ampliación del radio de giro a la derecha en la medida suficiente para crear una isla de separación entre la misma y la zona de circulación previa.

En el caso de grandes volúmenes o altas velocidades, un carril adicional sobre el borde derecho para el tránsito pasante es altamente recomendable, porque independiza en gran medida el tránsito más veloz de aquellos que deciden girar a la izquierda.

Para los giros a la izquierda, a partir de

ciertos volúmenes y velocidades, es preferible incluir una isla divisoria, especialmente en la calzada pasante, del ancho suficiente para albergar un carril exclusivo de espera y almacenamiento para los giros a la izquierda, que puede ser con bordillos o simplemente pintada con un rayado de alta visibilidad, ésto último dependiente del grado de educación vial y comportamiento de los conductores. Es conveniente que sea lo más larga posible, según la disponibilidad de espacio transversal. Es habitual que en zonas rurales, también en muchas intersecciones urbanas haya gasolineras o restaurantes en las inmediaciones del cruce, y la ubicación de isletas con bordillos puede restringir el acceso de clientes, por lo que la alternativa de islas pintadas constituye una alternativa más viable. Se muestran en forma esquemática algunos ejemplos de canalización con islas divisorias.

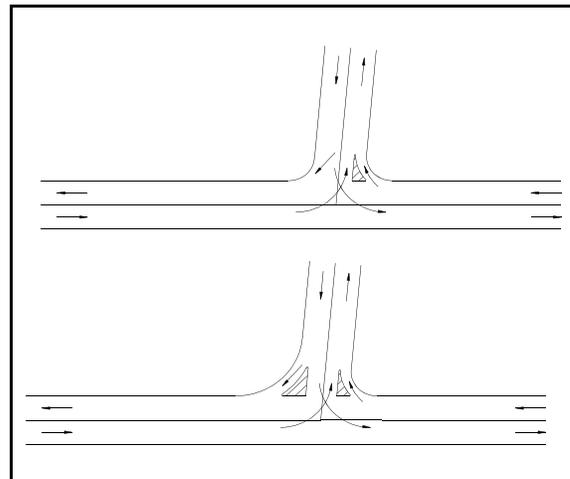


Gráfico 3-I-37 - Ejemplos de intersecciones canalizadas con islas divisorias

### Intersección de cuatro ramales

Como se puede observar en los ejemplos siguientes, las generalidades y principios

enumerados para las intersecciones de tres ramales, también son aplicables a las de cuatro ramales.

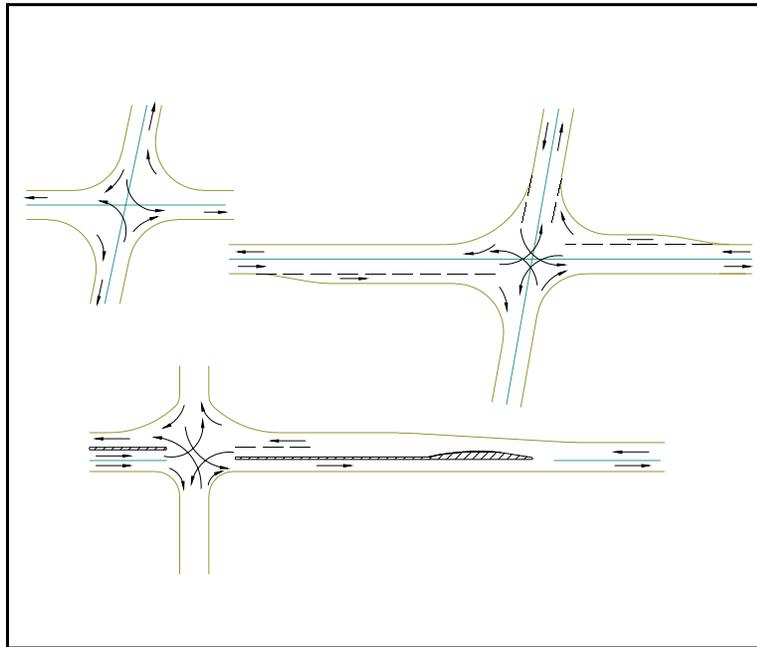


Gráfico 3-I-38 - Ejemplos de intersecciones simples de cuatro ramales

El gráfico 3-I-38 indica el tipo más simple de intersección, que es aplicable a cruces urbanos, de caminos secundarios o locales y a veces apropiado para cruces de caminos menores con rutas de mayor importancia. El ángulo del cruce con la normal no debe exceder los 30 grados. El ensanche o abocinamiento se limita al provocado por el redondeo de las esquinas para permitir los giros.

En el siguiente ejemplo se observa una intersección ensanchada o abocinada con aumento de su capacidad para los tránsitos pasantes y giros. Los ensanches en la vía

transversal alejan los conflictos de divergencia y convergencia y permiten que el tránsito pasante circule lentamente mientras los vehículos detenidos se preparan a girar a la izquierda.

Dependiendo de los volúmenes relativos de tránsito, y del tipo de control de tránsito usado, el abocinamiento se complementa con la incorporación de carriles adicionales en la calzada principal o con zonas de transición en la calzada transversal como se observa en la figura.

Estas zonas de transición deben ser

preferiblemente mayores de 45 m de longitud en el carril que se aproxima al cruce, y 60 m en el carril de salida de la intersección.

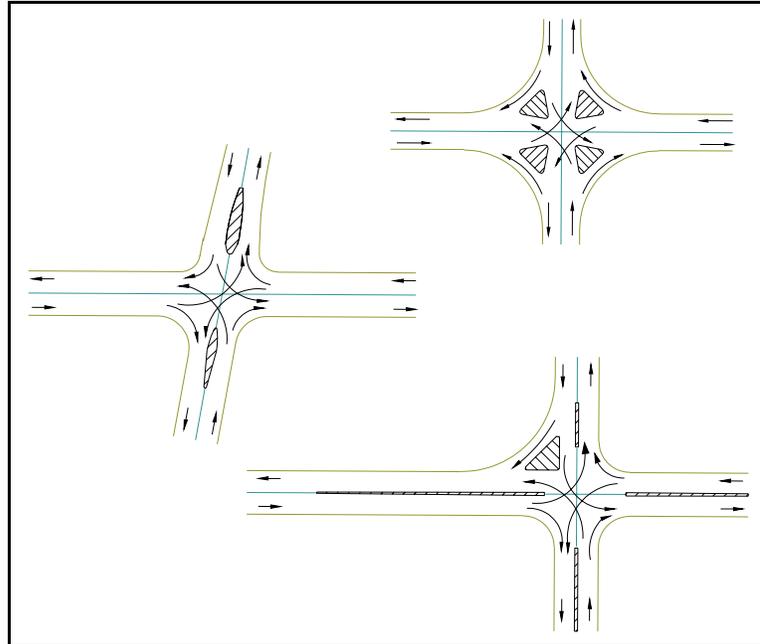


Gráfico 3-I-39 - Ejemplo de intersección simple de cuatro ramales ensanchada y con demarcación horizontal

En este ejemplo la zona marcada divide a la ruta principal proveyendo un carril adicional para espera, almacenamiento y giro a la izquierda, siempre que los volúmenes en la calzada transversal no sean altos y los cruces sean infrecuentes. La zona marcada debe tener como mínimo un ancho de 3,60 m. en su parte más ancha, y los carriles pasantes deben tener un sobreaño mínimo de 0,50 m. adicional a cada lado, al llegar a la zona de cruce.

### **Intersecciones de cuatro ramales canalizadas**

Analizando la intersección a diseñar o mejorar, en función de su ángulo, tránsitos

relativos, velocidad y volúmenes de giro, podremos determinar qué movimientos deberemos favorecer con la canalización, proveyendo realinamiento del ángulo de la intersección, carriles exclusivos de giro a la derecha, abocinamientos, carriles adicionales para el tránsito pasante, divergente o convergente, islas divisorias para proteger y controlar los movimientos de vehículos y/o carriles de giro a la izquierda.

Esto resulta en diferentes niveles de categoría de intersección, donde la economía estará en no sobredimensionar la superficie pavimentada innecesariamente, y seleccionar

las mejoras necesarias para cada movimiento según sus características, pudiendo resultar

un cruce de tratamiento asimétrico pero de excelente comportamiento.

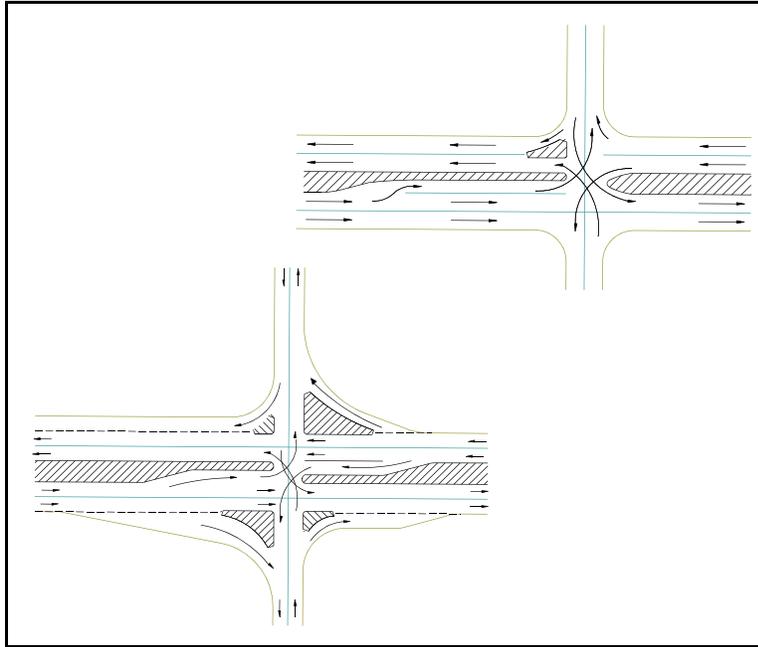


Gráfico 3-I-40 - Ejemplos de intersecciones de cuatro ramales canalizadas

### Intersecciones de ramales múltiples

Se denominan de esta manera, aquellas intersecciones de cinco o más ramales. Se deben evitar siempre que sea posible.

Cuando los volúmenes de tránsito son bajos y se utiliza algún dispositivo de control de parada, puede ser satisfactorio reunir todos los ramales en una sola área pavimentada común.

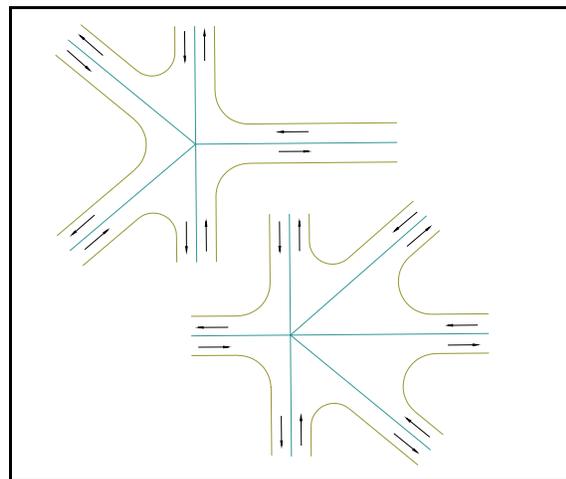


Gráfico 3-I-41 - Ejemplos de intersecciones de ramales múltiples

En intersecciones más importantes, puede mejorarse la seguridad y la eficiencia mediante reacomodamientos que alejen algunos movimientos conflictivos de la intersección principal. Esto se puede lograr realineando alguno o algunos de los ramales que convergen a la intersección, creando una nueva intersección vecina a la primera, o cambiando la mano de circulación de alguno

de los ramales, dándole sentido único de circulación hacia afuera de la intersección. Dicha intersección secundaria, deberá estar a una distancia suficiente para no estar afectada por la posible formación de colas de almacenamiento de vehículos que se detienen en la principal, y no afectar a los vehículos que salen de la misma.

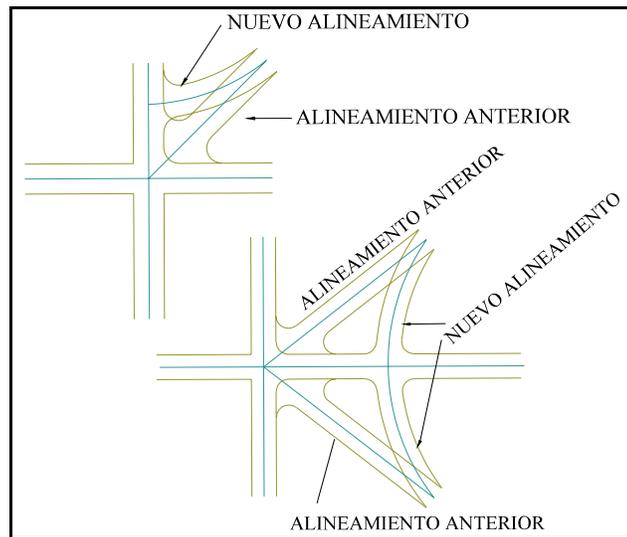


Gráfico 3-I-42 Ejemplos de realineamiento en intersecciones múltiples

### Tránsito

Si bien este tema se desarrolla separadamente en otro capítulo de este manual, se lo menciona especialmente porque es el tránsito existente o esperado para el año de diseño, el que define las verdaderas necesidades en cuanto a anchos, geometría, y pendientes.

Deberá contarse con un estudio de tránsito para cada intersección a diseñar o mejorar. Se obtendrá el T.P.D. (Tránsito promedio diario) para los vehículos pasantes y para cada giro.

Se deberá establecer a los efectos de un correcto dimensionamiento de la intersección, si en determinados períodos del año, mes o día, los volúmenes de tránsito exceden en forma apreciable al T.P.D., pues de lo contrario una intersección diseñada para el tránsito promedio, requerirá satisfacer un volumen mayor que el volumen de diseño durante muchos días, el tránsito servido será mucho mayor que el de diseño.

## Tránsito de hora pico

El comportamiento del tránsito a lo largo del día muestra en general, que hay una variación muy considerable entre las diferentes horas del mismo y también el comportamiento horario varía a lo largo del año. Será antieconómico diseñar para la máxima hora pico del año, ya que rara vez el tránsito sería suficiente para ocupar la capacidad del diseño resultante, lo mismo que diseñar para la hora promedio anual sería suficiente.

Una guía para determinar el mejor tránsito horario de diseño es una curva que muestra la variación de los volúmenes de tránsito horario a lo largo del año.

Se trata de una curva estadística basada en el análisis de datos de conteo de tránsito que cubren un amplio rango de volúmenes y condiciones geográficas.

En la misma se expresan los volúmenes horarios de un año, en porcentajes del T.P.D.

Observando el comportamiento de los volúmenes horarios se concluye que el tránsito horario que sirve de base para el diseño, debería ser el de la treintava hora más congestionada del año, conocida como 30VH.

La razonabilidad de esta elección, se debe a que la curva aumenta rápidamente su pendiente a la izquierda de la treintava hora más congestionada, indicando mucho mayores volúmenes para un aumento de sólo unas pocas horas más de las de mayor volumen. Si observamos el comportamiento de la curva a la derecha del punto de la 30VH, miramos que la curva se aplana,

indicando muchas horas en las cuales el volumen es muy poco menor al de la 30VH.

En caminos rurales, con volúmenes de fluctuación promedio, la 30VH es del 15% del T.P.D. Para fluctuaciones bajas a altas este porcentaje varía entre el 12% al 18% del T.P.D. Estos porcentajes no varían sustancialmente de año a año con el aumento del T.P.D.

Por lo tanto, es un método confiable determinar el volumen de diseño de la 30VH, como un porcentaje del volumen del T.P.D. previsto para un año futuro.

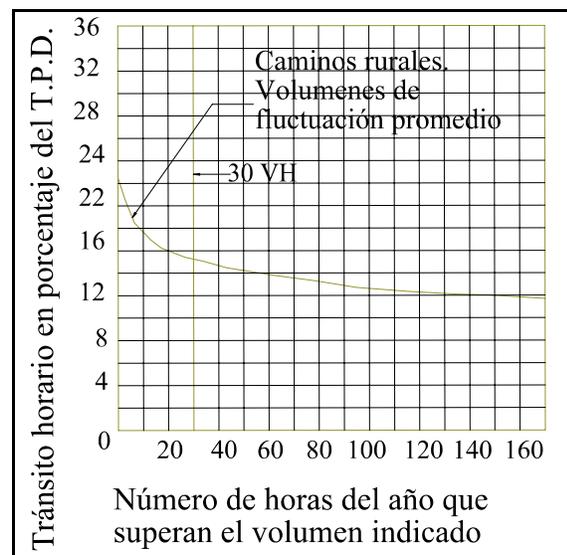


Gráfico 3-I-43 - Relación entre volumen de hora pico y T.P.D. en caminos rurales

## Distribución direccional

El conocimiento de la distribución horaria del volumen de hora pico es esencial para el diseño. Especialmente en zonas urbanas, la distribución puede ser altamente asimétrica a

lo largo del día, dándose frecuentemente que los volúmenes máximos son los correspondientes al tránsito del lugar de trabajo al hogar en horas de la tarde. La distribución del tránsito por dirección durante las horas pico, es constante de año en año, salvo en aquellos lugares donde el camino sirve áreas de recreo o casos similares de demanda estacional o eventual.

La distribución direccional del tránsito en un camino de carriles de distintos sentidos, durante la hora de diseño, debe determinarse por medio de censos hechos en el lugar en cuestión o en lugares de similares características.

El tránsito de hora de diseño para un determinado sentido, puede calcularse multiplicando el T.P.D. por el porcentaje del T.P.D. correspondiente a la 30VH, y luego por el porcentaje del tránsito en el sentido predominante durante la hora de diseño.

Por ejemplo si el volumen de la hora de diseño es 15% del tránsito promedio diario y la distribución direccional a esa hora es del 70% y 30%, el volumen direccional de la hora de diseño será  $0.15 \times 0.70 \times \text{T.P.D.}$ , o 10.5% del T.P.D.

Para una intersección es necesario conocer los volúmenes para todos los movimientos vehiculares, durante la hora de diseño, para lo cual se deben realizar conteos de vehículos en el lugar o censos de origen y destino.

Una más detallada metodología sobre este tema excede la finalidad de este capítulo, y debe hallarse en el correspondiente a tránsito.

### **Composición del tránsito**

El porcentaje de camiones durante las horas pico debe ser conocido a los efectos del diseño. Habitualmente a medida que crece el tránsito acercándose a la hora pico, el porcentaje de automóviles aumenta en relación al de vehículos pesados. Esto se debe a que el tránsito de camiones circula en forma más uniforme a lo largo del día y aprovechando horas nocturnas y especialmente las horas tempranas del día. En la cercanía de terminales de buses o camiones, los esquemas de salidas pueden resultar en concentraciones de dichos vehículos a ciertas horas del día.

Los anchos de los pavimentos de calzadas y rampas en intersecciones están gobernados por los volúmenes de tránsito y el tipo de vehículos que circulan por ellas y pueden ser de uno o dos sentidos de operación, dependiendo del tipo de intersección elegido.

Los radios de giro y los peraltes son función de la velocidad de diseño y del tipo de vehículo.

El porcentaje y tipo de camiones con respecto al tránsito total, determina que vehículo tipo pasa a gobernar el diseño.

Un criterio aproximado para elegir el vehículo de diseño a partir de la composición del tránsito, es el siguiente: Cuando el tipo de vehículo mayor alcanza un porcentaje del 5 al 10% del tránsito total, pasa a gobernar el diseño, dependiendo de la concentración en un determinado momento, del tipo de vehículo considerado.

Angulo de giro en grados	Vehículo de diseño	Curva simple Radio en metros	Curva simple con transición recta		
			Radio en metros	Separación de borde (m)	Transición en m / m
30	Ap	18	-	-	-
	C-2	30	-	-	-
	T2-S2	45	-	-	-
	T3-S2	60	-	-	-
45	Ap	15	-	-	-
	C-2	23	-	-	-
	T2-S2	36	-	-	-
	T3-S2	53	36	6	15:1
60	Ap	12	-	-	-
	C-2	18	-	-	-
	T2-S2	28	-	-	-
	T3-S2	45	29	1	15:1
75	Ap	11	8	6	10:1
	C-2	17	14	6	10:1
	T2-S2	-	18	6	15:1
	T3-S2	-	20	1	15:1
90	Ap	9	6	8	10:1
	C-2	15	12	6	10:1
	T2-S2	-	14	12	10:1
	T3-S2	-	18	12	15:1
105	Ap	-	6	8	8:1
	C-2	-	11	6	10:1
	T2-S2	-	12	12	10:1
	T3-S2	-	17	12	15:1

Angulo de giro en grados	Vehículo de diseño	Curva simple Radio en metros	Curva simple con transición recta		
			Radio en metros	Separación de borde (m)	Transición en m / m
120	Ap	-	6	6	10:1
	C-2	-	9	1	10:1
	T2-S2	-	11	15	8:1
	T3-S2	-	14	12	15:1
135	Ap	-	6	5	15:1
	C-2	-	9	12	8:1
	T2-S2	-	9	25	6:1
	T3-S2	-	12	2	10:1
150	Ap	-	6	6	10:1
	C-2	-	9	12	8:1
	T2-S2	-	9	25	8:1
	T3-S2	-	11	2	6:1
180	Ap	-	5	2	20:1
	C-2	-	9	5	10:1
	T2-S2	-	6	3	5:1
	T3-S2	-	8	3	5:1

Tabla 3-I-29 - Mínimo diseño de trayectorias de vehículos en intersecciones

Angulo de giro en grados	Vehículo de diseño	Curva de 3 centros		Curva de 3 centros	
		Radios en metros	Retiros (simétricos)	Radios en metros	Retiros (simétricos)
30	Ap	-	-	-	-
	C-2	-	-	-	-
	T2-S2	-	-	-	-
	T3-S2	-	-	-	-
45	Ap	-	-	-	-
	C-2	-	-	-	-
	T2-S2	-	-	-	-
	T3-S2	60-30-60	10	-	-
60	Ap	-	-	-	-
	C-2	-	-	-	-
	T2-S2	-	-	-	-
	T3-S2	60-23-60	17	60-23-60	0.6-2.0
75	Ap	30-8-30	6	-	-
	C-2	36-14-36	6	-	-
	T2-S2	36-14-36	15	36-14-60	0.6-2.0
	T3-S2	45-15-45	20	45-15-69	0.6-3.0
90	Ap	30-60-30	8	-	-
	C-2	36-12-36	6	-	-
	T2-S2	36-12-36	15	36-12-60	0.6-2.0
	T3-S2	55-18-55	20	36-12-60	0.6-3.0
105	Ap	30-6-30	8	-	-
	C-2	30-11-30	10	-	-
	T2-S2	30-11-30	15	30-17-60	0.6-2.5
	T3-S2	55-14-55	25	45-12-64	0.6-3.0

Angulo de giro en grados	Vehículo de diseño	Curva de 3 centros		Curva de 3 centros	
		Radios en metros	Retiros (simétricos)	Radios en metros	Retiros (simétricos)
120	Ap	30-6-30	6	-	-
	C-2	30-9-30	10	-	-
	T2-S2	36-9-36	20	30-9-55	0.6-2.7
	T3-S2	55-12-55	26	45-11-67	0.6-3.6
135	Ap	30-6-30	5	-	-
	C-2	30-9-30	12	-	-
	T2-S2	36-9-36	20	30-8-55	1.0-4.0
	T3-S2	48-11-48	27	40-9-56	1.0-4.3
150	Ap	23-6-23	6	-	-
	C-2	30-9-30	12	-	-
	T2-S2	30-9-30	20	28-8-48	0.3-3.6
	T3-S2	48-11-48	21	36-9-55	1.0-4.3
180	Ap	15-5-15	2	-	-
	C-2	30-9-30	5	-	-
	T2-S2	30-6-30	30	26-6-45	2.0-4.0
	T3-S2	40-8-40	30	30-8-55	2.0-4.0

Tabla 3-I-30 - Mínimo diseño de trayectorias de vehículos en intersecciones

### Radios mínimos para giros a la derecha con islas

Cuando en una intersección se requiere diseñar los radios de giro a la derecha, con la magnitud necesaria para que un vehículo determinado pueda girar a una velocidad acorde con la velocidad de operación de la intersección, es habitual que resulte suficiente espacio para una isla limitada por el borde izquierdo del carril de giro y los respectivos bordes derechos ensanchados, de las calzadas pasantes. Se muestran ejemplos para tres categorías de vehículos de diseño con sus cuadros respectivos en función del ángulo de cruce. Las tres divisiones A, B y C corresponden a la siguiente clasificación:

A: Cuando el número de automóviles es predominante, pero se tiene también en cuenta algunos camiones de dos ejes y buses.

B: Cuando el número de camiones de dos ejes o buses son suficientes como para gobernar el diseño (5 al 10% del tránsito total), pero también se tienen en cuenta algunos camiones con acoplados y semirremolques.

C: Cuando el número de camiones con acoplados y semirremolques es suficiente para gobernar el diseño.

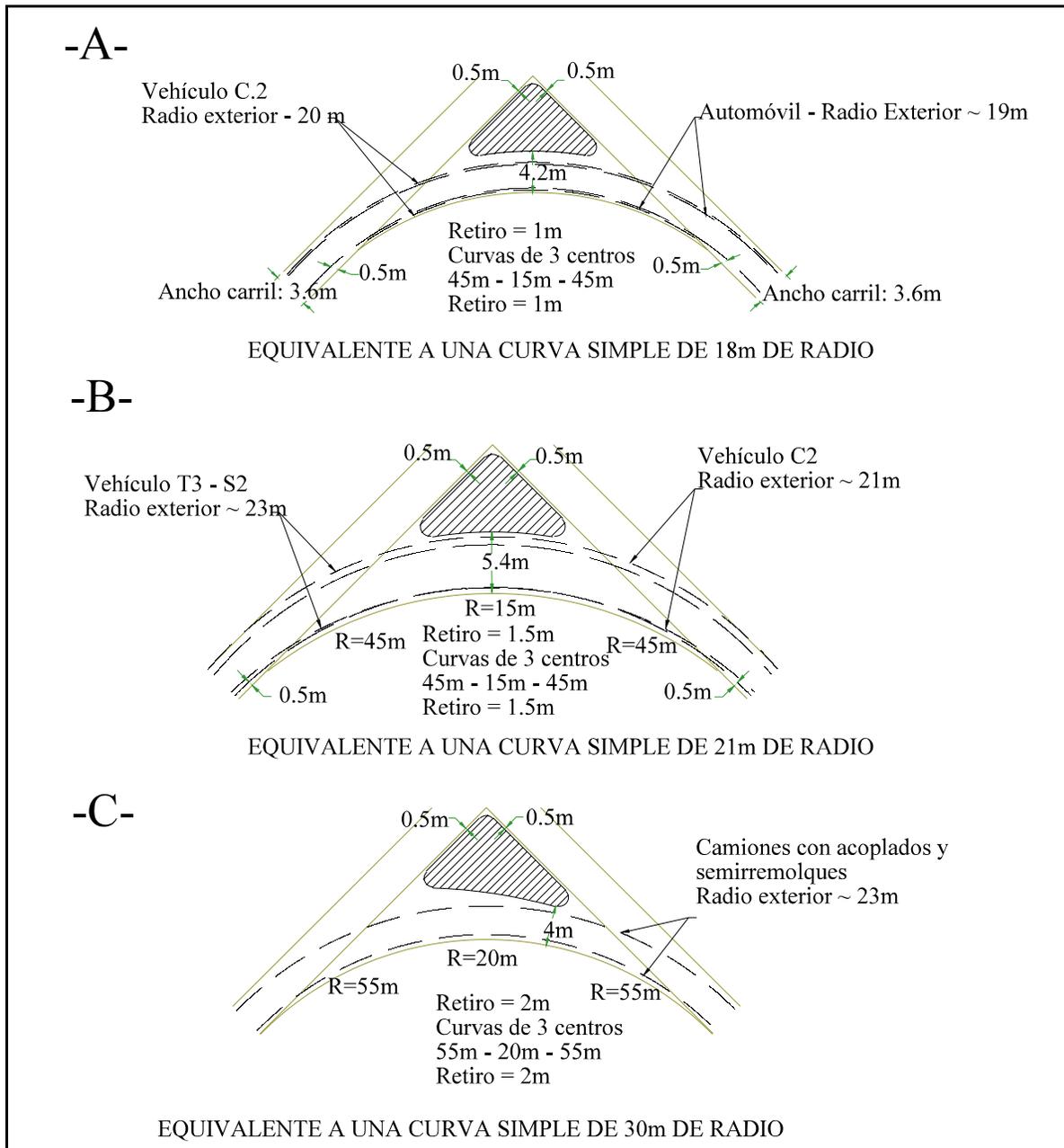


Gráfico 3-I-44 - Diseño de giros con islas mínimas

Los gráficos incluidos se complementan con las tablas que indican los elementos de las curvas compuestas para diferentes ángulos de cruce, a saber: Diseño de la curva de borde

interior de calzada, ancho del carril de giro, y la superficie aproximada de la isla resultante para las tres categorías descriptas.

Angulo de giro	Clasificación	Curva compuesta de tres centros		Ancho de carril (m)	Superficie aproximada de la isla (m <sup>2</sup> )
		Radios (m)	Retiro del borde (m)		
75	A	45-23-45	1	42	55
	B	45-23-45	15	54	5
	C	55-28-55	1	6	5
90	A	45-15-45	1	42	5
	B	45-15-45	15	54	75
	C	55-20-55	2	6	115
105	A	36-12-36	6	45	65
	B	30-11-30	15	66	5
	C	55-14-55	24	9	55
120	A	30-9-30	8	48	110
	B	30-9-30	15	72	85
	C	55-12-55	25	102	200
135	A	30-9-30	8	48	430
	B	30-9-30	15	78	350
	C	48-11-48	27	105	600
150	A	30-9-30	8	48	1300
	B	30-9-30	20	90	1100
	C	48-11-48	21	114	1600

Tabla 3-I-31 - Diseño de borde de calzada en carriles de giro para diferentes vehículos de diseño y para distintos ángulos de cruce en intersecciones

### Transito Futuro

No se debe diseñar una intersección para el tránsito existente, sino para el tránsito que se espera circule a través de la intersección a lo largo de su vida útil.

Para ello se adoptará una tasa de crecimiento anual y un período al final del cual se toma el año de diseño.

Habitualmente para intersecciones se toman períodos de diseño de 10 a 15 años.

### Velocidad de diseño.

Es quizás la principal componente del diseño que determina las características geométricas de una intersección. En función de la velocidad, el correcto diseño de los elementos constitutivos de una intersección, varía de acuerdo al tratamiento dado al

tránsito pasante, al tránsito que gira, al tránsito que llega y al que sale de la misma. Las principales variaciones están dadas por el tratamiento dado a las terminales de rampas tanto de salida como entrada, y a los movimientos de giro a la izquierda.

Para los movimientos de giro o salida a la derecha, el diseño es similar y aplicable a movimientos de entrada, excepto que las narices de empalme de salida tienen un retiro o abocinamiento del borde de la nariz con respecto al borde de calzada, con la finalidad de encauzar mejor el tránsito hacia la rama, a diferencia de la nariz de entrada que no lo tiene. Para mejorar la facilidad y comodidad de la maniobra de los vehículos al girar, es

altamente deseable incluir además de las curvas compuestas definidas anteriormente, una transición en el ancho del pavimento, a la entrada y salida de las mismas, que permita una desaceleración gradual para tomar la curva, permitir una zona para desarrollo del peralte necesario, indicada en los esquemas como el área a, b, c, d y una trayectoria más natural para los vehículos.

Se dan algunos ejemplos en función de la velocidad de diseño, para 30 Km/h y para 50 Km/h en el carril de giro, con distintos tipos de tratamiento de la transición, desde curvas simples hasta curvas compuestas con transición espiral e incorporación de un carril auxiliar de ancho variable.

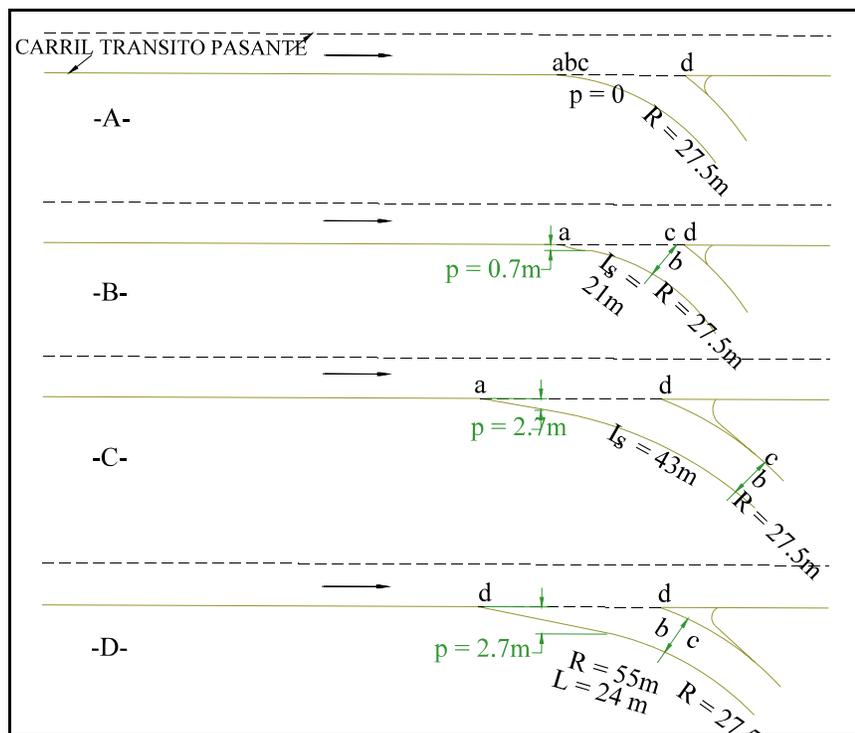
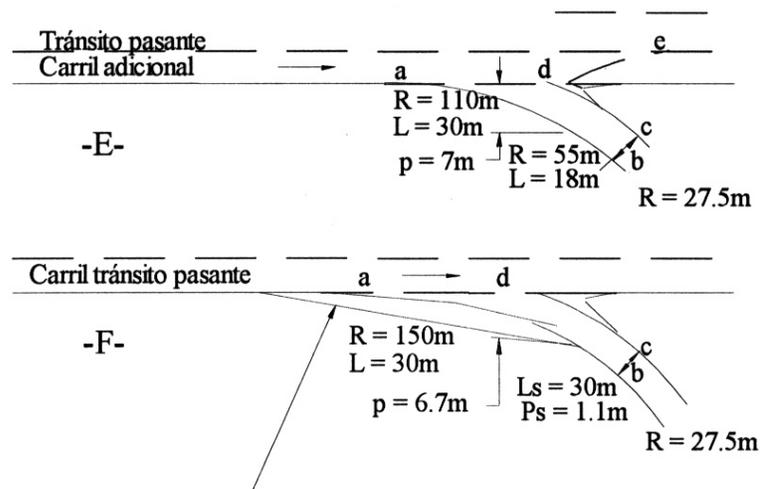


Gráfico 3-I-45 Uso de transición y curvas compuestas en carriles de giro para 30 Km/h



Una transición recta puede usarse en lugar de arcos circulares  
 Nota: Las entradas son similares, excepto por el retiro de borde en narices que se elimina

GRÁFICO 3-I-46: USO DE TRANSICIÓN Y CURVAS COMPUESTAS EN CARRILES DE GIRO PARA 30 km/h

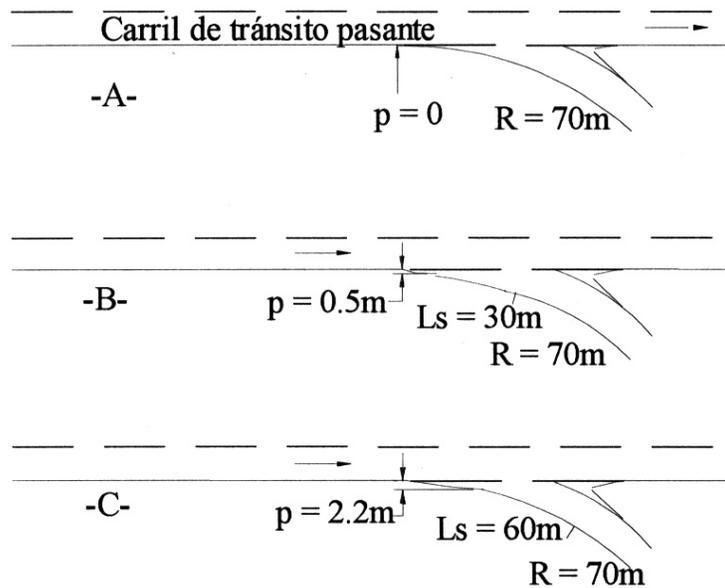


GRÁFICO 3-I-47: USO DE TRANSICIÓN Y CURVAS COMPUESTAS EN CARRILES DE GIRO PARA 50 km/h

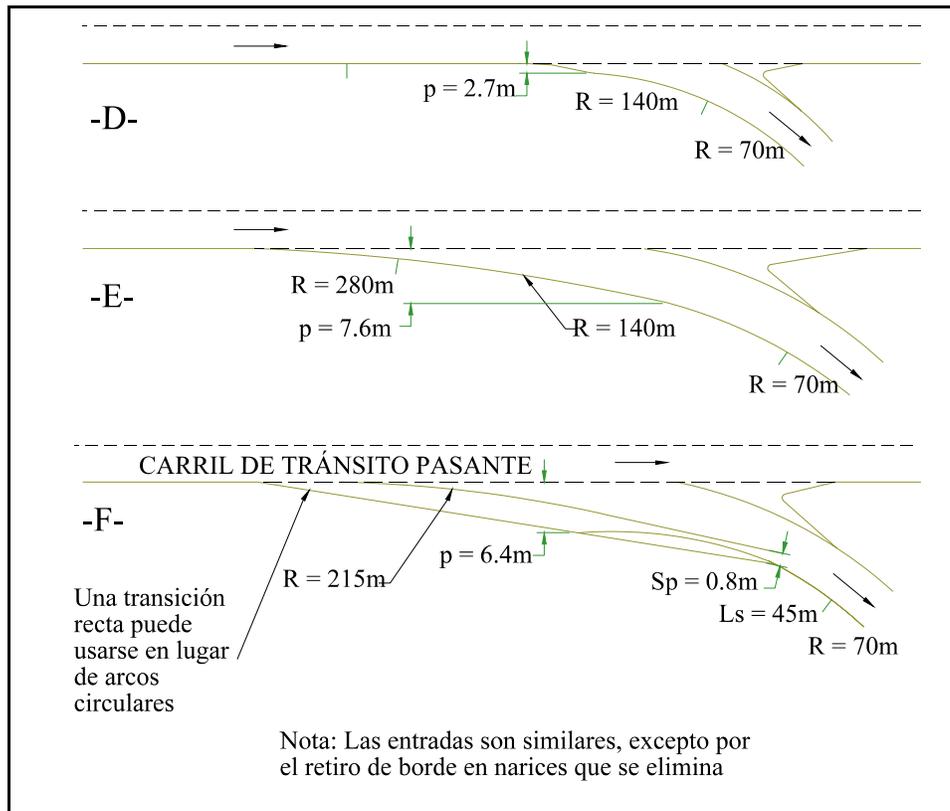


Gráfico 3-I-48 - Uso de transición y curvas compuestas en carriles de giro para 50 Km/h

Las tablas 3-I-32 y 3-I-33, sugieren los largos mínimos de espiral a colocar en los carriles de giro. Estos valores son mínimos y de ser

posibles deben superarse en valores de hasta el doble, para una mejora sustancial en los aspectos mencionados anteriormente.

Velocidad de diseño (Km/h)	Radio mínimo (m)	Largo de la espiral según cálculo (m)	Largo de espiral mínimo sugerido (m)	Retiro de la circular con respecto a la tangente (m)
30	25	19	20	7
40	50	25	25	7
50	80	33	35	7
60	125	41	45	8
70	160	57	60	9

Tabla 3-I-32 - Largos mínimos de espiral para carriles de giro en intersecciones

Radio (m)	30	50	60	75	100	125	150 ó más
Largo Mínimo del arco circular (m)	12	15	20	25	30	35	45
Deseable	20	20	30	35	45	55	60

Tabla 3-I-33 - Largos de arco circular en carriles de giro en intersecciones cuando están precedidos por una curva de radio doble o seguidos de una curva de radio igual a la mitad.

### Distancia de visibilidad

Las intersecciones son lugares de conflictos potenciales.

La posibilidad de que dichos conflictos ocurran, puede ser reducida en gran medida por la provisión de una apropiada distancia de visibilidad y apropiados sistemas de control del tránsito.

La eficiencia de operación del tránsito y evitar los accidentes todavía dependen de otros factores, como la capacidad, el juicio y el comportamiento del conductor.

El conductor de un vehículo que se aproxima a una intersección a nivel debería tener una visión total y despejada de la misma, y longitudes suficientes hasta el cruce que permitan controlar el vehículo y evitar colisiones. En una intersección controlada por señales luminosas, la zona de visibilidad puede quedar restringida a la zona controlada.

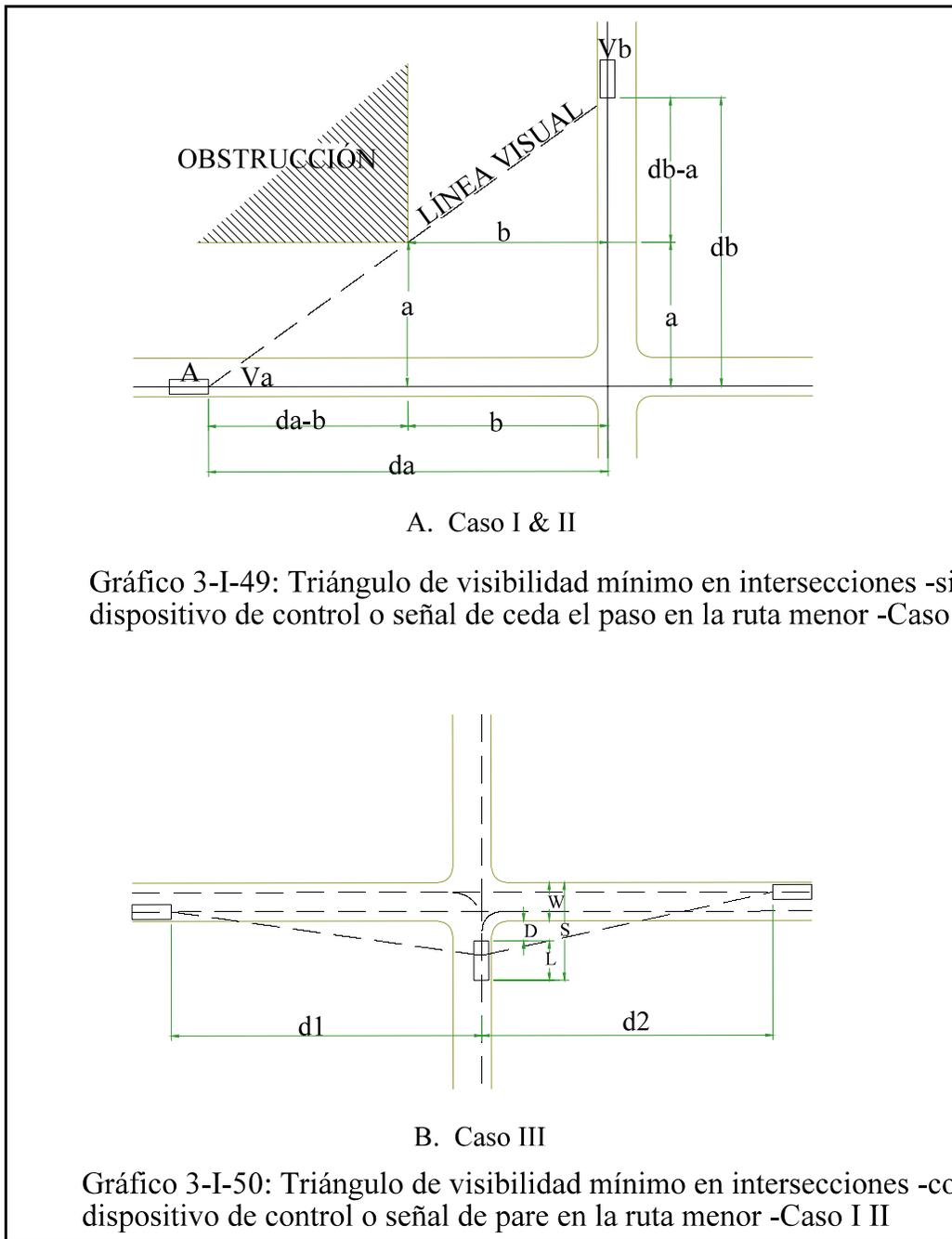
La distancia de visibilidad considerada segura, suponiendo condiciones físicas y comportamientos del conductor determinados,

está directamente relacionada con la velocidad del vehículo y con las respectivas distancias recorridas durante el tiempo de percepción, reacción y frenado.

La distancia de visibilidad considerada segura en un cruce debe ser tal a lo largo de la vía principal, entre el vehículo que circula por la misma y el cruce, que provea al vehículo que comienza a cruzar el tiempo necesario para hacerlo. Esto evita cambiar de velocidad al vehículo que circula por la ruta principal.

Esta distancia de visibilidad debe existir a lo largo de ambas vías, con una distancia suficiente que permita a los conductores de los vehículos que se aproximan simultáneamente, verse uno al otro a tiempo para evitar la colisión. Cada conductor tiene tres posibles acciones: acelerar, disminuir la velocidad o detenerse.

La relación entre la velocidad, el espacio y el tiempo determina el triángulo de visibilidad requerido libre de obstáculos visuales, o en su defecto, los cambios de velocidad necesarios para aproximarse al cruce del triángulo de visibilidad es menor que lo indicado.



El tiempo de percepción más el tiempo de reacción para el diseño de una intersección se considera de 2 segundos. El tiempo de accionar el freno o acelerar para regular la

velocidad se fija en 1 segundo. Se muestran a continuación las distancias promedio recorridas por un vehículo en 3 segundos.

Velocidad (Km/h)	Distancia (m)
20	20
30	25
40	35
50	40
60	50
70	60
80	65
90	75
100	85
110	90
120	100

Tabla 3-I-34 - Distancias recorridas en tres segundos en función de velocidad

En el caso I, indicado en el gráfico 3-I-49, la ruta **A** tiene 80 Km/h de velocidad y la ruta **B** 50 Km/h, requiriendo un triángulo de visibilidad despejado entre los puntos **A** y **B**, de 65 m y 40 m, respectivamente, desde la intersección. Estas distancias permiten al vehículo variar su velocidad antes de llegar a la intersección. En aquellas intersecciones en las cuales no se puedan lograr las distancias de visibilidad mínimas requeridas, se deberían usar dispositivos de control de tránsito como señales de pare o ceda el paso en por lo menos una de las vías o semáforos.

En el ejemplo, la velocidad  $V_a$  es conocida y  $a$  y  $b$  son las distancias conocidas hasta el obstáculo visual desde las respectivas calzadas **A** y **B**. La distancia  $d_a$  es la distancia de frenado para el vehículo **A**. Cuando el vehículo **A** está a una distancia  $d_a$  de la intersección y los conductores de los vehículos **A** y **B** se divisan, el vehículo **B** está

a una distancia  $d_b$  de la intersección:

$$d_b = \frac{a d_a}{d_a - b}$$

y la velocidad crítica  $V_b$  es aquella para la cual la distancia de frenado es  $d_b$ .

En el caso II, se requiere señalizar la ruta menor con señal de pare o ceda el paso. Si la distancia requerida no se puede lograr, se deberá señalizar la aproximación a la calzada principal con señales de reducción de velocidad. Si el vehículo se debe detener en la calzada, se deben tener en cuenta las consideraciones realizadas anteriormente para aquellos que desean cruzar la vía mayor o incorporarse a ella.

En el caso III, indicado en el gráfico 3-I-50, el tránsito de la ruta menor está controlado

por señales de pare, el conductor del vehículo que se ha detenido, debe tener suficiente distancia visual hasta el vehículo que se aproxima, tal que permita iniciar su movimiento y transponer la calzada principal, o girar a la izquierda o a la derecha. Para el caso en que la calzada principal tenga un separador central o mediana que permita el almacenamiento del vehículo de diseño, la maniobra de cruce o giro a la izquierda se puede calcular como dos operaciones distintas. En el caso de no existir mediana o ser demasiado angosta, la maniobra se debe tratar como una sola operación. La distancia de visibilidad para una maniobra de cruce, está basada en el tiempo que le toma al vehículo detenido cruzar la intersección, y la distancia que recorrerá el vehículo pasante a la velocidad de diseño en ese lapso.

$$d = 0,28 V ( J + t_a )$$

donde

d = Distancia de visibilidad sobre la calzada principal, desde el cruce.

V = Velocidad de diseño en la ruta principal.

J = Suma del tiempo de percepción y de reacción.

$t_a$  = Tiempo requerido para acelerar y atravesar la distancia S para cruce de la vía principal.

El término J representa el tiempo necesario para que el conductor del vehículo mire en ambas direcciones del camino, evalúe que hay suficiente tiempo para el cruce y coloque el cambio adecuado si fuera necesario para

iniciar el movimiento. Aun cuando la mayoría de los conductores sólo necesitan una fracción de segundo para efectuar esta operación, se debe tener en cuenta para el diseño el tiempo que emplea el conductor más lento. Se opta un valor de 2.5 segundos.

En el gráfico 3-I-51 se indica el tiempo de aceleración necesario para recorrer una distancia dada, para diferentes tipos de vehículos. Estos tiempos se basan en estudios realizados por el Instituto de Investigación del Transporte de la Universidad de Michigan.

La distancia S que el vehículo que cruza debe recorrer para trasponer la ruta principal, es la suma de las tres distancias (en metros):

$$S = D + W + L$$

donde

D = distancia desde el vehículo hasta el borde más cercano del camino que cruza (m).

W = ancho de la ruta principal a lo largo de la trayectoria del vehículo (m).

L = Longitud del vehículo (m).

El valor D se establece en 3 metros, mientras que el valor de W es función principalmente del número de carriles en la ruta principal, para lo que se toma un ancho de 3.60 por carril. La longitud para L, se toma de 6 m, 9 m y 17 m para los vehículos Ap, C-2 y T3-S2 respectivamente.

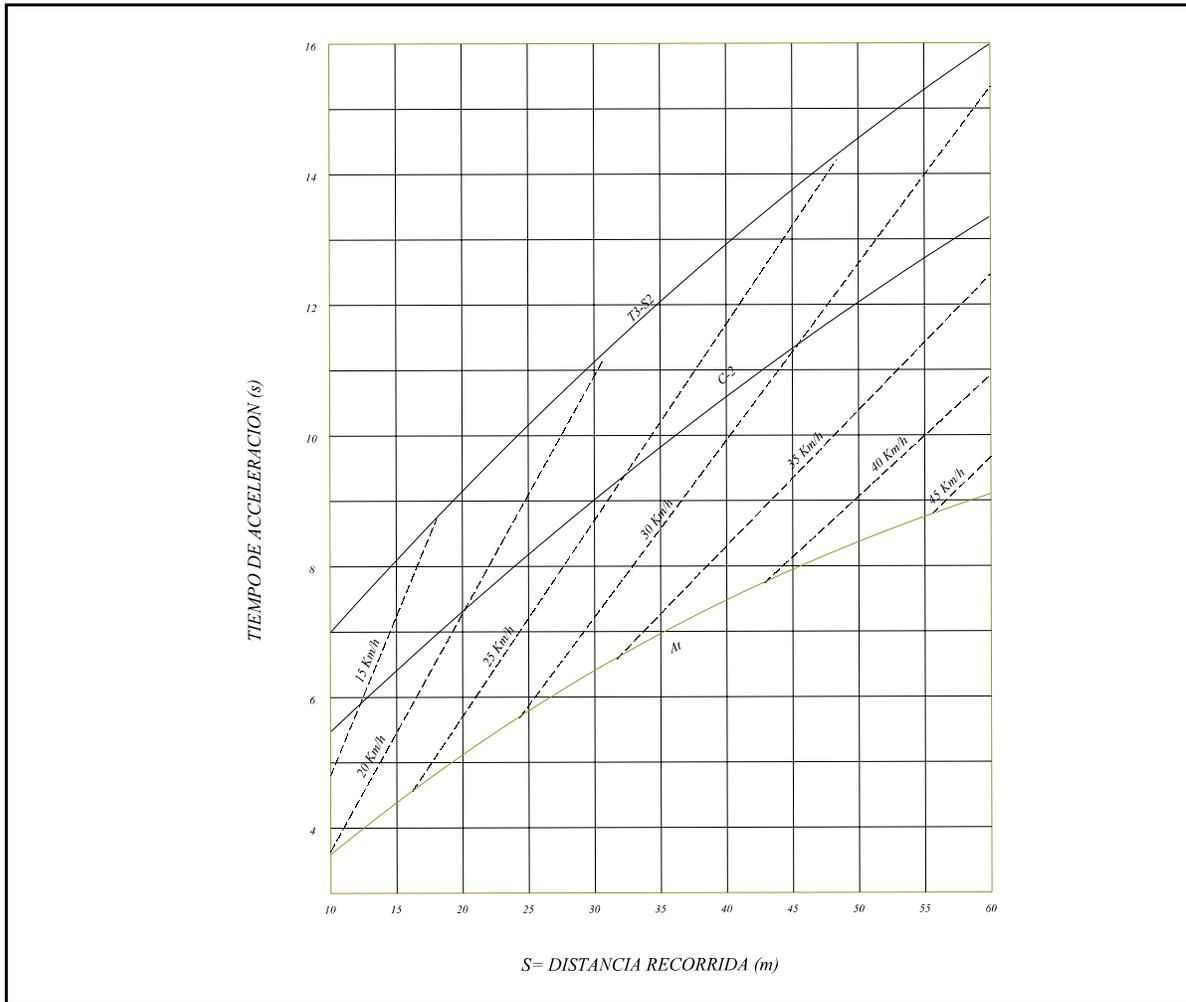


Gráfico 3-I-51 - Distancia visual en intersecciones - desde vehículo detenido

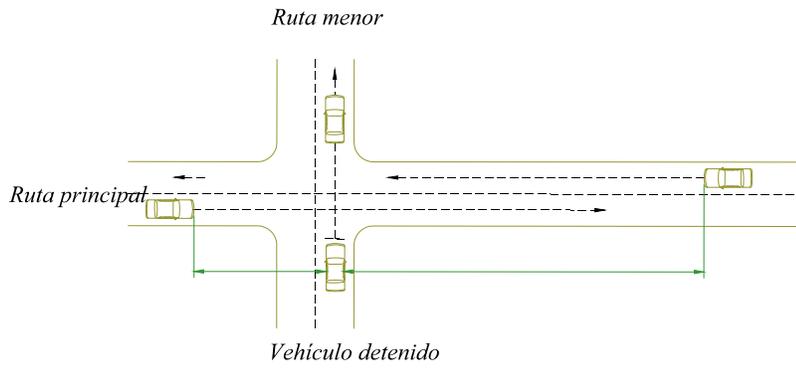


Gráfico 3-I-52: Caso III -A. Vehículo detenido cruzando la ruta principal

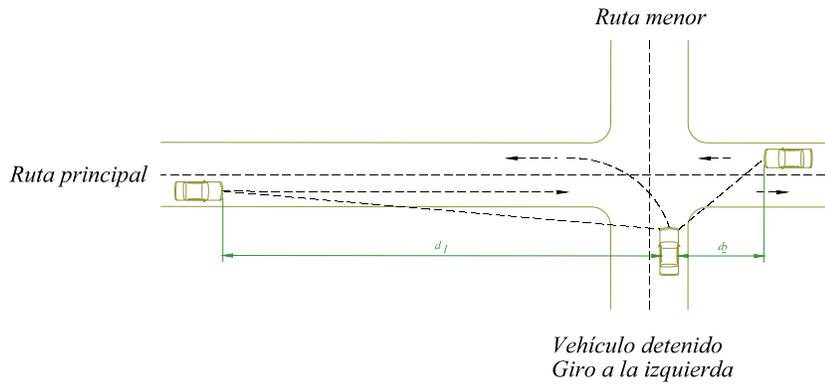
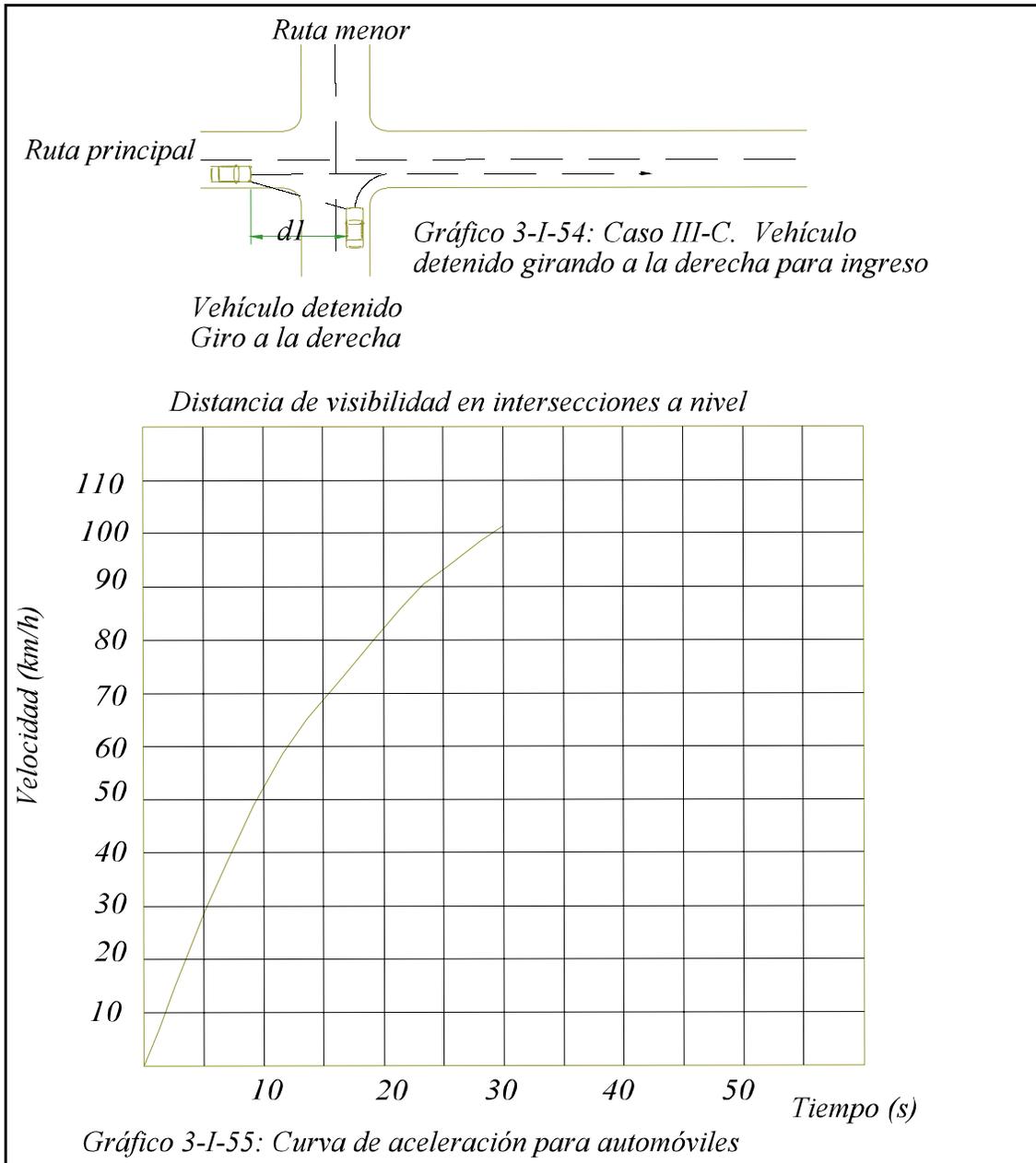


Gráfico 3-I-53: Caso III -B. Vehículo detenido girando a la izquierda para ingreso



**Efecto de la oblicuidad**

Cuando dos vías se cruzan con un ángulo menor de 60 grados, y cuando no se justifica realinear el eje de cruce para aumentar el

ángulo de la intersección, los valores adoptados para las distancias de visibilidad pueden necesitar ciertas correcciones.

Como se puede observar en el gráfico 3-I-56,

las distancias A-B y B-C son menores o mayores con respecto a un cruce en ángulo

recto, así como las otras dimensiones que intervienen en el cálculo. Las mismas deben tomar paralelas a la dirección de las calzadas.

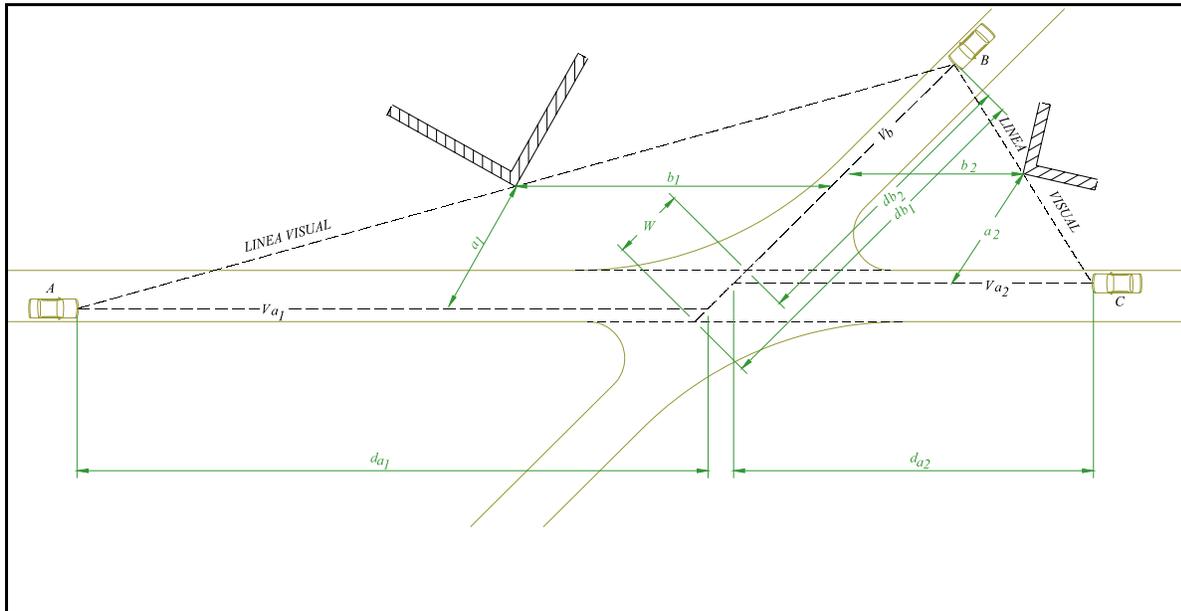


Gráfico 3-I-56 Distancia de visibilidad en intersecciones, efecto de la oblicuidad.

### Efecto de las pendientes

Las distancias indicadas al tratar el tema de la visibilidad en intersecciones, está basado en la consideración de calzadas horizontales. Las rutas que llegan a la intersección pueden no estar a nivel.

Una ruta que se aproxima en forma descendente necesitará más distancia de

visibilidad que una horizontal y una que se aproxime ascendiendo, necesitará menos. Hasta un tres por ciento de pendiente el efecto en las distancias de frenado será mínimo, y es conveniente mantener las pendientes en las inmediaciones de una intersección en esos niveles, a menos que se provean mayores distancias de visibilidad, pero nunca deberían superar el seis por ciento.

Factores de corrección de la aceleración según la pendiente, con respecto a la horizontal					
Vehículo de Diseño	Pendiente longitudinal de la calzada que se aproxima al cruce (%)				
At	-4	-2	0	+2	+4
C-2	7	9	1	11	13
T2-S2	8	9	1	11	13
T3-S2	8	9	1	12	17

Tabla 3-I-35 - Efecto de las pendientes en el tiempo de aceleración en intersecciones.

Los valores de la tabla 3-I-35 modifican los tiempos de aceleración para aquellos vehículos que recorren la pendiente, ya sea de un signo u otro, pero el proyectista deberá tener en cuenta que el comportamiento del automovilista no siempre será igual en las proximidades de la intersección y cuando algunos deciden acelerar, otros necesitarán frenar, con lo que la influencia de las pendientes se invierte. El automovilista que quiere frenar en descenso necesitará más longitud, mientras que el que acelera se verá favorecido. Por lo tanto el diseño, que debe servir a todos, siempre debe aumentar las longitudes en caso de pendientes en las cercanías de una intersección. No incluye este comentario a las longitudes en caso de rampas de interconexión en intersecciones e intercambios, que se trata en otra sección.

### Distancia de frenado

Como se ha visto en la primera parte del capítulo, el tiempo de percepción y reacción, se adopta en 2.5 segundos.

$$d = (0.278) (t) (V) + \frac{V^2}{254 f}$$

donde:

t = tiempo de percepción y reacción, generalmente se adopta 2.5 segundos

V = velocidad inicial, (Km/h)

f = coeficiente de fricción entre los neumáticos y el camino.

<b>Velocidad de diseño</b>	15	20	30	40	50	60	70
<b>Distancia visual de frenado</b>	20	20	30	50	60-70	80-90	100-120

Tabla 3-I-36 Distancia visual de frenado para carriles de giro

### Visibilidad vertical

El largo de una curva vertical se considera desde el ojo del conductor ubicado a una altura de 1.07 metros sobre la calzada, hasta un objeto ubicado a 0.15 metros sobre la misma.

La condición de visibilidad en los tramos principales de una intersección, son los mismos que para una ruta abierta, por lo que se remite al capítulo de elementos de diseño.

Se deben tener en cuenta los siguientes criterios generales:

Se debe procurar una variación gradual de las pendientes, tratando de conformar un perfil longitudinal suave, de acuerdo con la categoría del camino y las características del terreno, evitando los numerosos quiebres y cambios de pendiente.

Se deben evitar las "pérdidas de trazado", entendiendo por tales las depresiones en el perfil longitudinal que generalmente ocurren en un perfil relativamente plano, donde la rasante sigue la conformación del terreno natural, situación que se observa habitualmente en rutas de cierta antigüedad creando una situación de peligro en el caso de maniobras de rebaso y de incertidumbre para el conductor, además de consideraciones

de tipo estético.

Cuando la intersección se desarrolla en zonas de pendientes moderadas a altas, es preferible reducir las pendientes en coincidencia con el cruce, o si esto no es posible, reubicar el cruce en la zona de menor pendiente, ya que tal cambio en el perfil longitudinal será beneficioso para los vehículos que deben girar, y reducirá sustancialmente los riesgos.

Un aspecto muy importante del diseño vertical de una intersección, es aquel relativo al drenaje. Es habitual que en una intersección las calzadas estén delimitadas por bordillos y que en coincidencia con los mismos se formen puntos bajos debido a los empalmes de alineamientos verticales de pendientes opuestas, o como consecuencia del desarrollo de los peraltes de los carriles de giro.

La ubicación definitiva de los tragantes necesarios deberá ser resuelta una vez que se conozca el acotamiento vertical definitivo que surgirá de la realización de los planos respectivos. Igualmente, para el caso de curvas verticales cóncavas o convexas de gran amplitud, en calzadas delimitadas por bordillos, en las cercanías de la cresta de las mismas el escurrimiento longitudinal puede ser insuficiente debido a las bajas pendientes y provocar un excesivo ancho anegado, por

lo que puede ser necesario un estudio particular de drenaje y colocar tragantes más frecuentes o aberturas en los bordillos que aseguren un drenaje transversal (en zonas de muchas lluvias las aberturas transversales se deben revestir para controlar la maleza y asegurar un funcionamiento permanente).

Se deben evitar curvas verticales cóncavas que formen puntos bajos en coincidencia con desmontes o cortes, que no permitan la salida de los excedentes pluviales.

En los carriles de giro la condición de visibilidad horizontal es más estrecha que la vertical, por lo que el diseño está regido por los criterios de visibilidad planimétrica.

Del mismo modo, las exigencias de distancia de visibilidad vertical en curvas cóncavas es aproximadamente la mitad que las distancias necesarias debidas a la iluminación de los faros del vehículo para circulación nocturna, por lo que éstas gobernarían el diseño.

No obstante la mayoría de los carriles de giro tienen una curvatura horizontal acentuada y el haz de luz de los faros del vehículo deja de ser un elemento de control del diseño. Por lo tanto en carriles de giro, las longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas se

pueden considerar iguales a las necesarias para curvas convexas, de acuerdo con el gráfico 3-I-57.

De ser posible se deben usar longitudes mayores a las indicadas.

### **Visibilidad horizontal en carriles de giro**

La distancia visual horizontal aplicada al diseño en intersecciones, tiene tanta o más importancia en el diseño de carriles de giro que la visibilidad vertical. Al ser en general más críticas las condiciones de diseño horizontal para una velocidad dada que las limitaciones impuestas por la visibilidad vertical, las primeras pasan a gobernar el diseño.

La línea visual a lo largo de la parte interior de la curva, libre de obstáculos, debe ser tal que la distancia visual medida sobre el arco de la trayectoria del vehículo sea igual o mayor que la distancia visual de frenado para carriles de giro, indicada en la tabla correspondiente.

Las obstrucciones habituales en los carriles de giro, pueden ser un estribo de un puente, una línea de columnas, un muro, un corte en desmonte o un lado o esquina de un edificio, (Gráfico 3-I-57).

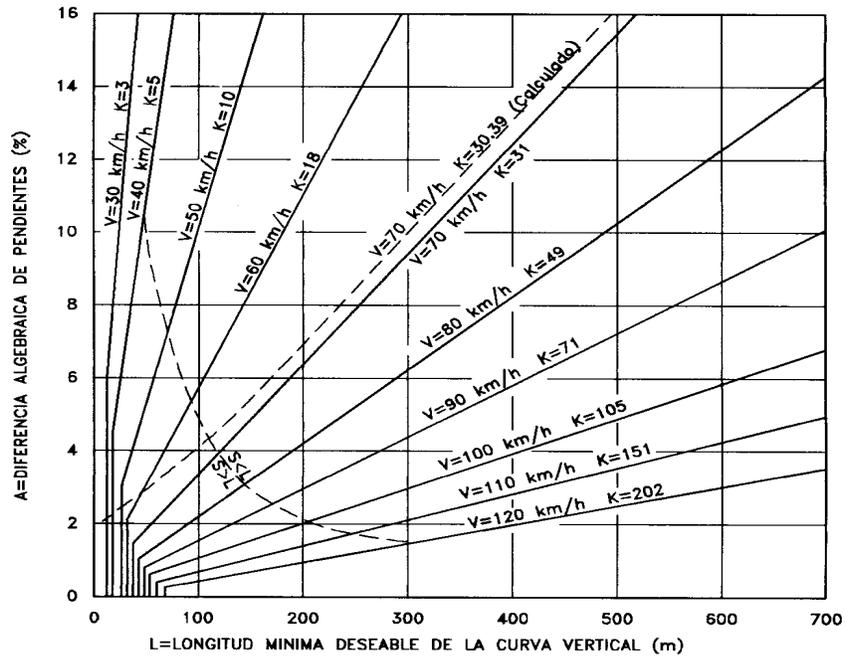


GRAFICO 3-1-57(a)

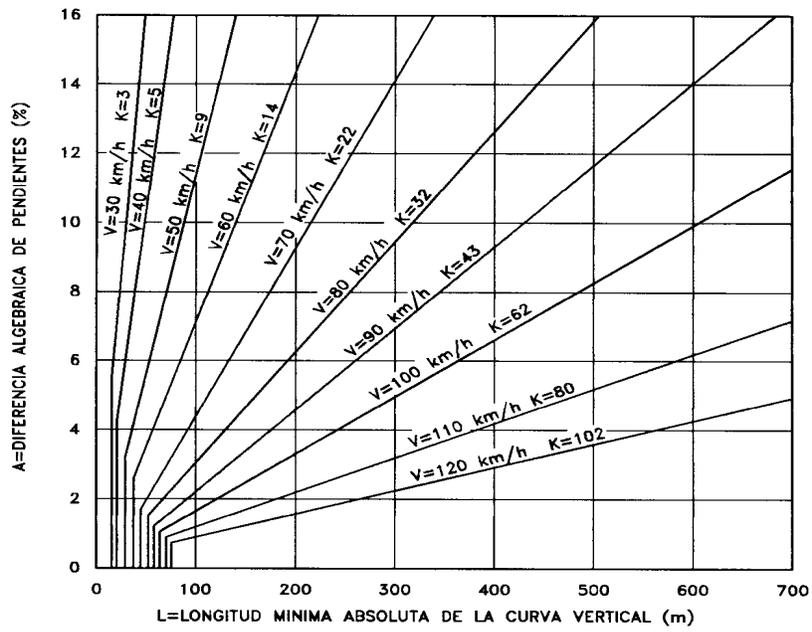


GRAFICO 3-1-57(b)

PARAMETROS DE CURVAS VERTICALES CONVEXAS EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ Y LA DIFERENCIA ALGEBRAICA DE PENDIENTES.

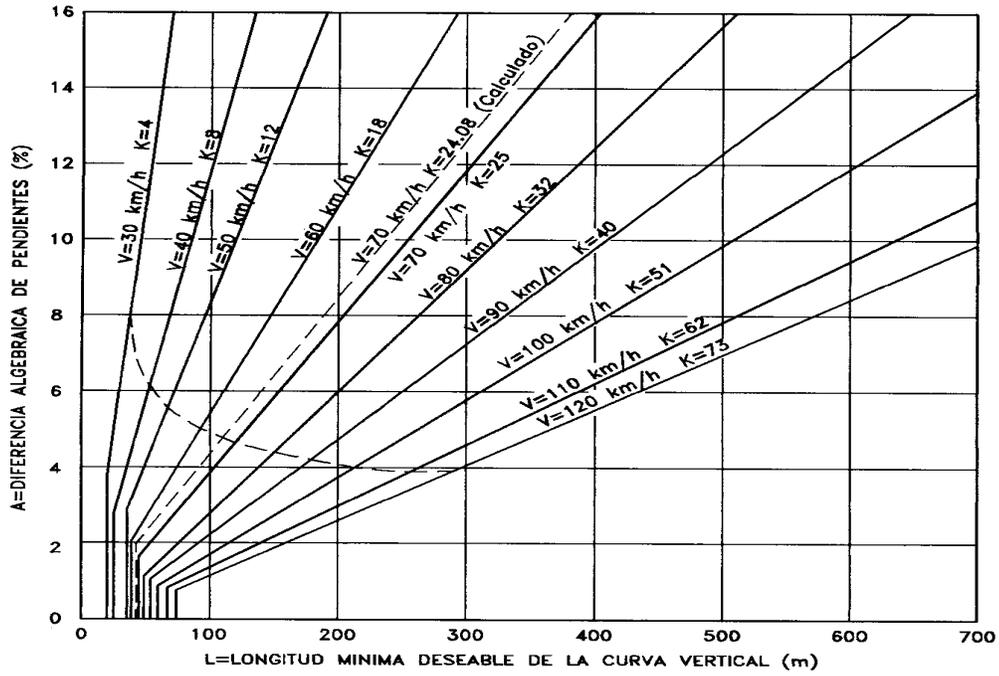


GRAFICO 3-1-57(c)

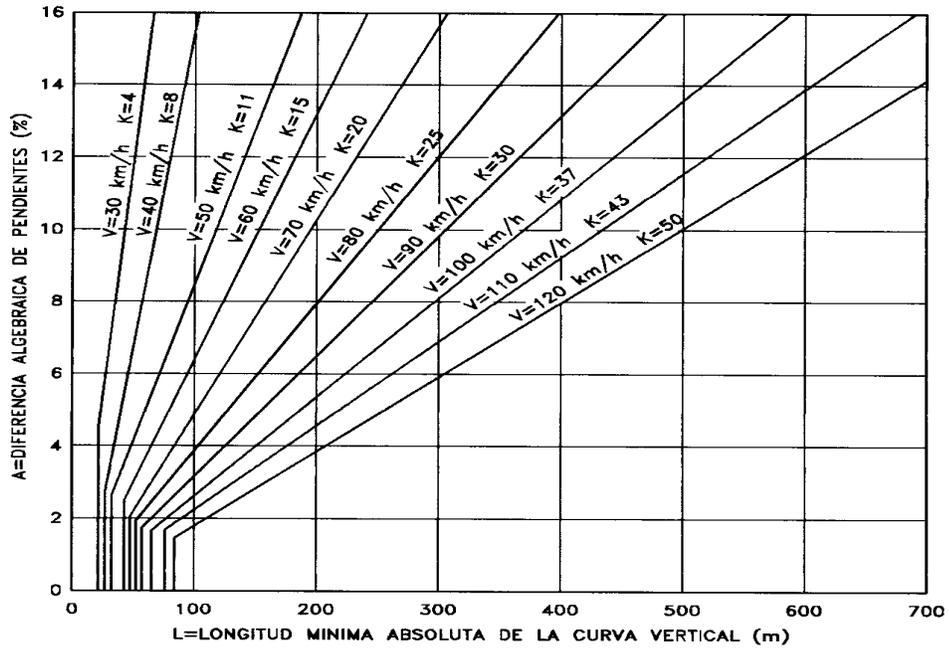


GRAFICO 3-1-57(d)

PARAMETROS DE CURVAS VERTICALES CONCAVAS EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ Y LA DIFERENCIA ALGEBRAICA DE PENDIENTES

Gráfico 3-I-57 Parámetros de curvas verticales en función de la velocidad directriz y la diferencia algebraica de pendientes.

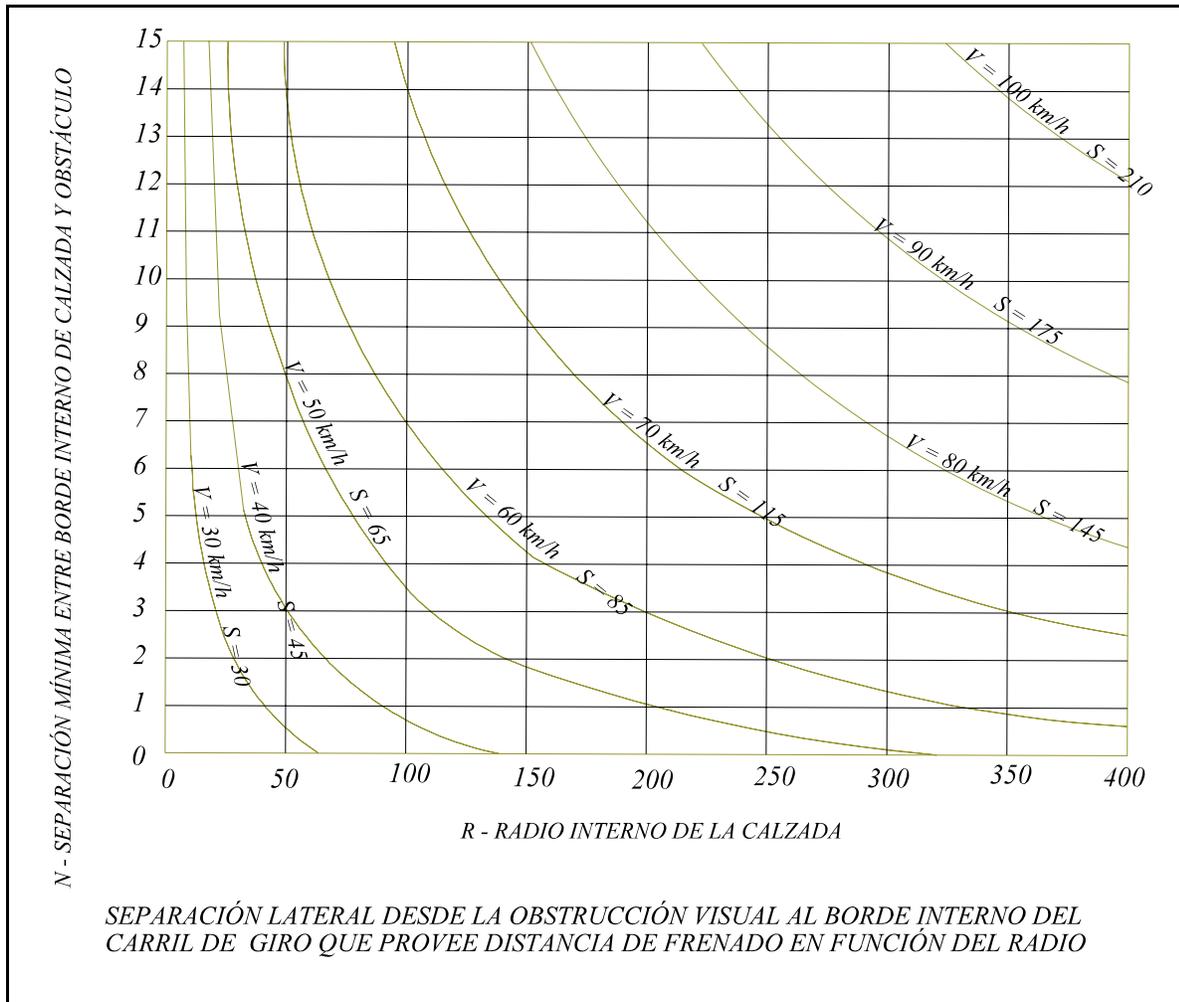


Gráfico 3-I-58

### Peraltes de curvas en intersecciones

Los peraltes máximos en intersecciones no deben superar el 10%, y el 6% en regiones que pueden sufrir nevadas, congelamiento de la calzada o grandes lluvias.

Igualmente no se recomiendan peraltes mayores al 8% en carriles donde se puedan acumular vehículos detenidos, especialmente camiones, por ejemplo si son rampas donde esta controlado el tránsito por semáforos.

En intersecciones, generalmente los radios y

las longitudes de las rampas son limitados. Los conductores prevén las curvas y aceptan una circulación con una mayor fricción lateral que la que aceptarían en un tramo de ruta en curva con el mismo radio. Es deseable dar a una curva el mayor peralta posible que permita el rango de diseño que figura en la tabla 3-I-37 particularmente cuando el radio es pequeño y en pendiente descendente.

Radio (m)	Rangos admisibles de peraltes (%) para curvas en intersecciones con velocidades de diseño					
	20	30	40	50	60	70
15	2-10	-	-	-	-	-
25	2-7	2-10	-	-	-	-
50	2-5	2-8	4-10	-	-	-
70	2-4	2-6	3-8	6-10	-	-
100	2-3	2-4	3-6	5-9	8-10	-
150	2-3	2-3	3-5	4-7	6-9	9-10
200	2	2-3	2-4	3-5	5-7	7-9
300	2	2-3	2-3	3-4	4-5	5-6
500	2	2	2	2-3	3-4	4-5
700	2	2	2	2	2-3	3-4
1000	2	2	2	2	2	2-3

Tabla 3-I-37 Rangos admisibles de peraltes en curvas de intersecciones

Muchas veces los carriles de giro son cortos y no permiten desarrollar el peralte de diseño.

En estos casos el peralte debe ser el máximo que permita un armonioso desarrollo del mismo, efectuando una variación de la pendiente transversal que no distorsione el borde peraltado exageradamente.

Esta gradualidad en el desarrollo del peralte frecuentemente hace que nos encontremos dentro de la curva con peraltes menores a los de diseño, y ese es el sentido de mostrar los peraltes comprendidos dentro de un rango de variación, como se indica en la tabla de peraltes.

De cualquier manera, los valores ubicados en la parte inferior del rango de la tabla, se deben evitar en lo posible y usar los valores ubicados de la mitad para arriba del mismo y preferiblemente en el tercio superior.

La correcta variación del peralte en función de la longitud depende del número de carriles y de la velocidad.

Para una calzada de un carril, cierta variación del peralte en una determinada longitud, dará lugar a una diferencia relativa en la pendiente longitudinal de los bordes.

Para una calzada de dos carriles esa diferencia será mayor.

En función de la velocidad de circulación se adopta la norma que aparece en la tabla 3-I-38

Velocidad de diseño (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Máxima diferencia de pendiente longitudinal entre bordes en (%)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45

Tabla 3-I-38 Variación lineal máxima del peralte en función de la velocidad.

Esta gradualidad en el desarrollo del peralte frecuentemente hace que nos encontremos dentro de la curva con peraltes menores a los de diseño, y ese es el sentido de mostrar los peraltes comprendidos dentro de un rango de variación, como se indica en la tabla 3-I-37. Como regla simple se aplica en rampas de un carril, que la variación máxima del peralte, no debe superar el 1.5% de pendiente transversal cada 10 metros de longitud y el 1% cada 10 metros en rampas de dos carriles.

En algunos casos, se combinan curvas de radios grandes, ubicadas entre otras de radios menores. La velocidad de diseño estará regida por las curvas de radio menor, por lo tanto se deberá tener en cuenta este aspecto al determinar el peralte de la curva de radio mayor, el cual no será el máximo para ese radio sino el que corresponda a la velocidad de circulación que permitan las curvas de los extremos.

Una vez acotado altimétricamente el borde de la calzada de un carril en curva de una intersección como consecuencia de la aplicación del peralte, se recomienda dibujar su altimetría en una escala exagerada verticalmente, a fin de estudiar en detalle el comportamiento geométrico del mismo y efectuar los pequeños ajustes que dicte la estética y las necesidades de drenaje.

Al aproximarse a un carril en curva, es

deseable la inclusión de carriles auxiliares cuyo ancho varíe gradualmente, en recta, curva o espiral, que permitan un desarrollo apropiado del peralte, para lograr la correcta pendiente transversal al entrar en la parte curva propiamente dicha.

Hay un límite para la diferencia entre la pendiente transversal de la calzada principal y la de la zona de transición mencionada.

La pendiente transversal de la calzada principal es predominante y se debe considerar fija y no deberá ser modificada ni antes ni después de la salida del carril de giro.

A medida que se avanza en el carril auxiliar, su borde exterior varía en altura desde el borde de la calzada principal. Un poco más allá del punto donde el carril auxiliar alcanza el ancho total de la rama de giro, una nariz separa las dos calzadas. Cuando el radio es pequeño y no hay un carril de incorporación, se llega a la nariz con una variación muy insuficiente en el peralte, por la poca distancia disponible. Luego casi la totalidad del peralte se debe desarrollar en la parte circular, dependiendo de la longitud de la curva.

En el caso de una transición apropiada, donde la curva se desvía gradualmente del camino principal, se puede efectuar un desarrollo deseable del peralte.

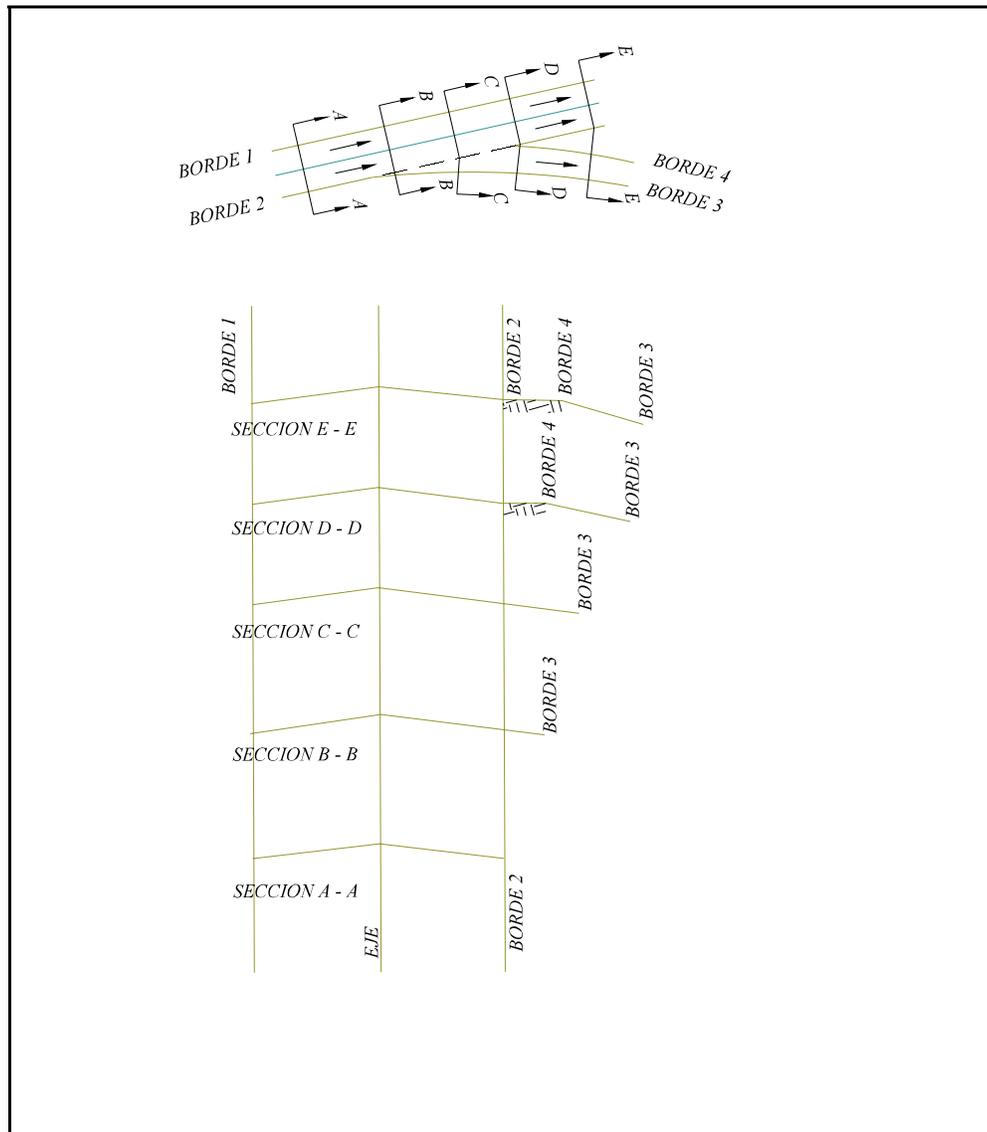


Gráfico 3-I-59 Desarrollo del peralte en terminales de carriles de giro

El gráfico 3-I-59 muestra el desarrollo que se le debe dar al peralte en la zona de transición que antecede a la salida de un carril de giro.

Desde la sección A hasta la sección B la misma pendiente transversal de la calzada

principal es extendida hasta el borde exterior del carril auxiliar, donde el ancho del carril auxiliar alcanza un ancho de 1 metro. A partir de esta sección B la pendiente del carril auxiliar puede empezar a variar en función del peralte, aumentando con relación a la

pendiente transversal de la calzada principal, hasta alcanzar el carril su ancho total (pasando por C hasta la sección D). Luego de este punto, se crea una zona intermedia entre ambas calzadas que puede servir de auxilio para aumentar el desnivel entre las calzadas, siendo lo más deseable que su pendiente sea el promedio de las pendientes de las calzadas adyacentes hasta alcanzar la nariz en la sección E. El tratamiento de las pendientes transversales en esta zona debe ser tal que la pendiente transversal exterior siempre sea mayor a lo sumo igual que la interna adyacente, nunca menor.

A partir de la sección en E, pasando la nariz del carril, las calzadas se independizan y el peralte se deberá desarrollar tan rápidamente como las condiciones lo permitan, hasta lograr el valor total deseado.

Cuando la calzada principal y la rama giran en el mismo sentido, el peralte en el carril de giro, que generalmente es mayor que el de la calzada principal, puede alcanzarse en una distancia relativamente corta. En B, la sección transversal de la calzada principal se extiende hasta el borde exterior del ensanche. En C y D ya se puede introducir algún aumento de la pendiente transversal, alcanzando el peralte total en las vecindades de E.

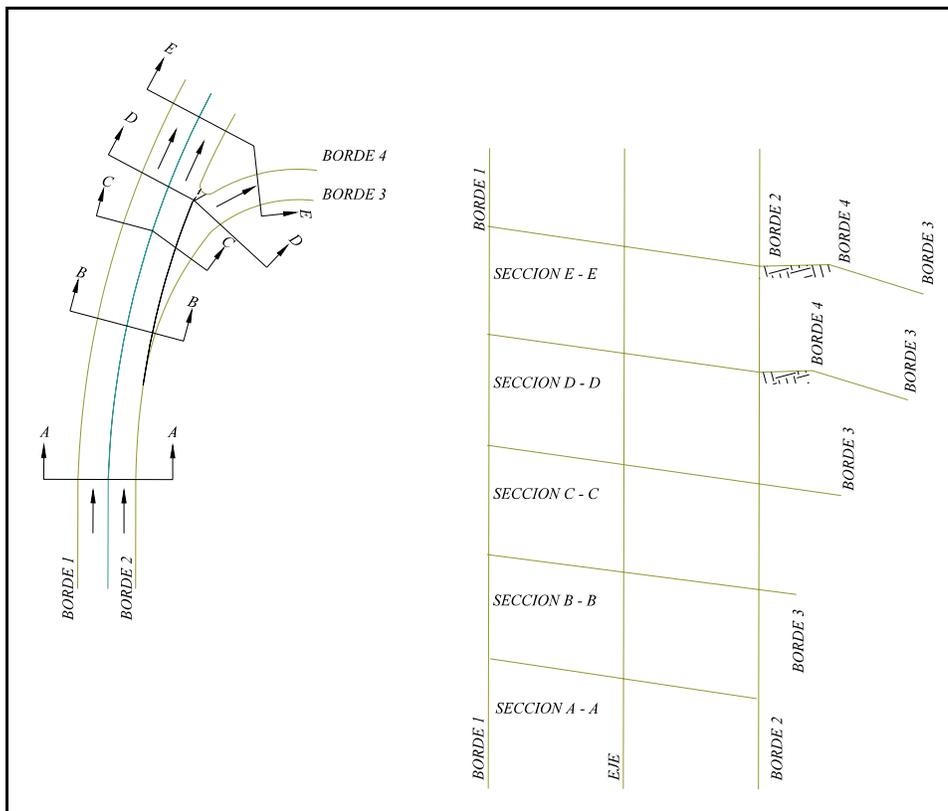


Gráfico 3-I-60 Desarrollo del peralte en terminales de carriles de giro a la derecha en ambas calzadas.

Una situación más desfavorable se presenta cuando el sentido de giro de las respectivas calzadas tiene sentido contrario aunque el tratamiento es muy similar. En la sección B, la pendiente transversal de la calzada principal se continúa en el ensanche del carril auxiliar. En C, ya puede comenzar a variar levemente. A partir de C, hasta la nariz de separación de calzadas, el peralte puede variar normalmente, aprovechando la zona intermedia entre calzadas para suavizar el efecto de cambio de pendiente transversal; en este sector intermedio, la pendiente t r a n s v e r s a l e s

deseable que sea el promedio de las pendientes de las calzadas adyacentes, lo que se calcula sumando las respectivas pendientes laterales con su signo, y dividiendo por dos. En general este sector resultará aproximadamente horizontal, teniendo esto cierta flexibilidad que puede aprovechar el proyectista para subir o bajar unos centímetros el borde exterior del carril de giro. No se deben admitir pendientes relativas que conformen líneas de bajos entre las calzadas.

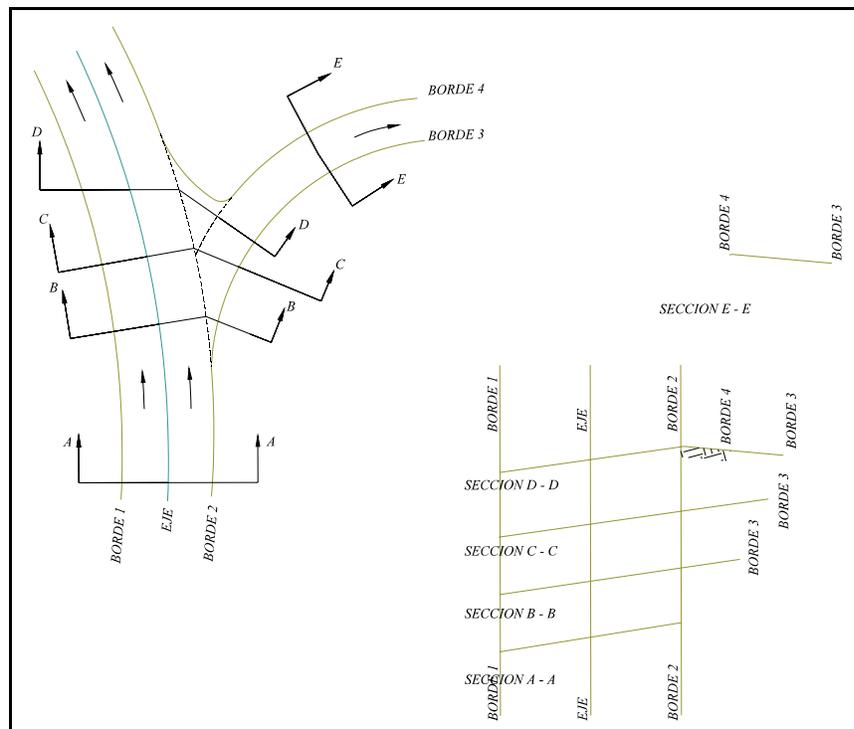


Gráfico 3-I-61 Desarrollo del peralte en terminales de carriles de giro de las calzadas de distinto sentido.

A partir de la nariz, se continúa el desarrollo del peralte hasta su valor máximo.

En diseños con un carril auxiliar paralelo para cambio de velocidad, se puede

desarrollar parte del peralte a lo largo del mismo, llegando aproximadamente a la mitad de la variación en coincidencia con el punto D en

que el carril se separa del borde de la calzada principal.

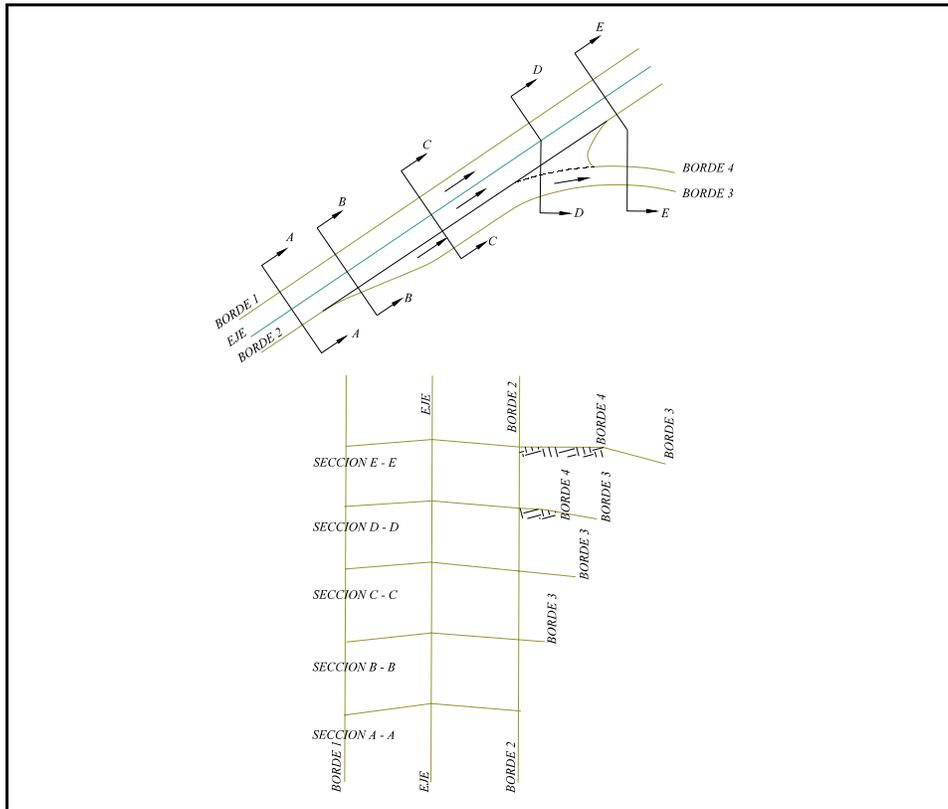


Gráfico 3-I-62 Desarrollo del peralte en terminales de carriles de giro con carril auxiliar paralelo.

Los criterios aquí fijados para carriles que salen de la calzada principal, es válido también para el tratamiento de un carril de entrada, diferenciándose en el tratamiento dado a la forma de la nariz de ingreso, que no tiene retiro del borde con respecto a la calzada principal.

En el caso en que la pendiente transversal de las calzadas descendientes a ambos lados de la

zona intermedia de aproximación a la nariz, es deseable que la diferencia algebraica de dichas pendientes no supere el 4 ó 5%, pero puede ser de hasta el 8% para bajas velocidades y donde hay pocos camiones. Las máximas diferencias sugeridas para el quiebre de pendientes transversales en las proximidades del carril de giro, se muestran en la tabla 3-I-39.

Velocidad de diseño de la curva de entrada o salida (Km/h)	Diferencia máxima de pendientes transversales en las proximidades de las narices de entrada o salida (Km/h)
30 ó menor	5.0 a 8.0
40 y 50	5.0 a 6.0
60 ó más	4.0 a 5.0

Tabla 3-I-39 Diferencia algebraica máxima de pendientes transversales en terminales de carriles de giro

### Canalizaciones

Canalización es la separación o encauzamiento de las diferentes corrientes de tránsito potencialmente conflictivas, en determinadas trayectorias, por medio de islas o demarcación del pavimento para aumentar la seguridad y facilitar los movimientos ordenados tanto de vehículos como de peatones.

### Elementos de diseño

Tipo de vehículo.

Sección transversal de ambas calzadas.

Volúmenes de tránsito proyectados para el año de diseño en relación con la capacidad.

Número de peatones.

Velocidad de los vehículos

Ubicación de parada de buses.

Tipo de ubicación de sistemas de control.

### Principios de diseño en intersecciones:

1. Los conductores deben encontrarse con más de una decisión a un tiempo.
2. Se deben evitar trayectorias forzadas con giros de más de 90°.
3. Las áreas de conflicto se deben reducir a un mínimo. Las zonas de convergencia y divergencia se deben alargar tanto como las condiciones lo permitan.
4. La corriente de tránsito que cruza una intersección, sin converger o entrecruzarse, debería hacerlo bajo un ángulo de 90°, con una variación aceptable entre 60 - 120 grados.
5. El ángulo de cruce de dos corrientes de tránsito, debe permitir una distancia de visión apropiada.
6. Los puntos de cruce o conflictos deben ser estudiados para determinar si conviene separarlos o unirlos para simplificar el diseño con adecuadas instalaciones de control para garantizar la seguridad.

7. Los carriles auxiliares para giro, deben estar al resguardo del tránsito pasante.
8. Las islas no deben interferir con el tránsito de bicicletas.
9. Deben bloquearse en lo posible las maniobras prohibidas.
10. El diseño de una intersección incluye la ubicación de los dispositivos de control.
11. Con señalización luminosa multifase, es deseable que cada movimiento quede claramente separado por la canalización.
12. Se debe reservar la zona para futuro desarrollo o construcción por etapas de una intersección.

### **Mediana**

El ancho de la mediana, el largo de la abertura y el diseño de sus terminales en intersecciones serán consecuencia de las características de los tránsitos pasantes y de giro. Este requisito hace necesario conocer el volumen y composición de todos los movimientos que ocurren simultáneamente durante la hora de diseño. El diseño de la mediana, requiere primeramente decidir cual de las corrientes de tránsito va a ser favorecida, elegir el vehículo de diseño para definir anchos y radios y finalmente verificar la capacidad de la intersección. Si la capacidad es excedida por el tránsito, la intersección deberá ampliarse ajustando el número de carriles para ciertos movimientos. Se deberá prever la ubicación de las señales necesarias para mejorar la eficiencia de las operaciones, como señales de pare, ceda el

paso, u otro tipo de señalización.

Las velocidades de giro a la izquierda para cada vehículo de diseño deberá ser como mínimo de 15 a 20 Km/h. Para velocidades mayores, se deberá diseñar la trayectoria del vehículo con el radio correspondiente para esa velocidad. Las diferencias entre los radios mínimos de giro a la izquierda y los de giro a la derecha son significantes, por lo tanto, se pueden usar las normas que determinan los radios mínimos indicados anteriormente en este capítulo. Se debe considerar que la rueda del vehículo debe describir una apartada del borde de la mediana un mínimo de 0,50 m. La transición recorrida por la rueda trasera de vehículos grandes, es más larga en la parte final, al completar la curva, es deseable que la verificación de estos recorridos se realice con curvas de tres centros, que se ajustan bastante bien a la trayectoria descrita por el vehículo, o con radios mayores al mínimo que se acerquen más a dicha trayectoria. Pero en un giro a la izquierda, el borde interior de la trayectoria, no está materializado en su totalidad, sino al principio por el borde de la mediana, o carril de giro y al final por la línea central de la calzada que cruza, o borde de mediana de la misma. La parte central de la trayectoria es más libre, por lo que se puede considerar suficiente verificar el trayecto con una curva de radio simple.

Cuanto más ancho sea el separador central o mediana, mejor se logrará el radio de giro necesario y menor será la longitud de la abertura de la mediana. Para automóviles las aberturas mínimas en la mediana en función del ancho de la misma, son los respectivos a la tabla 3-I-40.

Ancho de la mediana (m)	L = Largo mínimo de la abertura de la mediana (m)	
	Semicircular	Tres centros (punta de bala)
12	228	228
18	222	180
24	216	1459
30	210	141
36	204	129
42	198	12.0 Mín
48	192	12.0 Mín
60	180	12.0 Mín
72	168	12.0 Mín
84	156	12.0 Mín
96	144	12.0 Mín
108	132	12.0 Mín
120	12.0 Mín	12.0 Mín
150	12.0 Mín	12.0 Mín
180	12.0 Mín	12.0 Mín

Tabla 3-I-40 Longitudes de aberturas mínimas en medianas (vehículo Ap, radio de giro 12 m)

Un diseño que se ajuste a las características del vehículo Ap, puede ocasionalmente permitir el giro de algún vehículo tipo C-2, con alguna desviación de su trayectoria e invadiendo en alguna medida el carril vecino, tanto en el comienzo de la curva que describe, como al final.

La misma consideración cabe para la

categoría siguiente de vehículo, las tablas 3-I-41 y 3-I-42, indican las separaciones de extremos de mediana.

### **Influencia de la oblicuidad**

A medida que aumenta la oblicuidad en una intersección, a gobernar el diseño el radio ubicado en el ángulo agudo de la misma.

Ancho de la mediana (m)	Largo mínimo de la abertura de la mediana (m)	
	Semicircular	Tres centros (punta de bala)
12	288	288
18	282	228
24	276	204
30	270	186
36	264	174
42	258	159
48	252	150
60	240	132
72	228	12.0 Mín
84	216	12.0 Mín
96	204	12.0 Mín
108	192	12.0 Mín
120	180	12.0 Mín
150	150	12.0 Mín
180	12.0 Mín	12.0 Mín
210	12.0 Mín	12.0 Mín

Tabla 3-I-41 Longitudes de aberturas mínimas en medianas, (vehículos C-2, radio de giro 15m)

Ancho de la mediana (m)	Largo mínimo de la abertura de la mediana (m)	
	Semicircular	Tres centros (punta de bala)
12	438	288
18	432	228
24	426	204
30	430	186
36	414	174
42	408	159
48	402	150
60	390	132
72	378	12.0 Mín
84	366	12.0 Mín
96	354	12.0 Mín
108	342	12.0 Mín
120	300	12.0 Mín
180	270	12.0 Mín
240	210	12.0 Mín
300	150	12.0 Mín
330	12.0 Mín	12.0 Mín
360	12.0 Mín	12.0 Mín

Tabla 3-I-42 Longitud de aberturas mínimas en medianas (vehículo T-2, radio de giro 23 m)

Angulo Oblicuidad	Ancho Mediana	Semicircular	Largo abertura mediana		Radio diseño C (m)
			Simétrica B	Simétrica C	
0	3	27	19	-	-
	6	24	13	-	-
	9	21	12 Mín	-	-
	12	18	12 Mín	-	-
	15	15	12 Mín	-	-
	18	13	12 Mín	-	-
10	3	32	24	23	21
	6	28	17	16	20
	9	25	14	12 Mín	20
	12	21	12 Mín	12 Mín	19
	15	18	12 Mín	12 Mín	18
	18	14	12 Mín	12 Mín	18
20	3	36	29	27	29
	6	32	22	20	28
	9	28	18	14	26
	12	24	14	12 Mín	25
	15	20	12 Mín	12 Mín	23
	18	16	12 Mín	12 Mín	21
30	3	41	34	32	42
	6	36	27	23	39
	9	31	23	17	36
	12	27	19	13	33
	15	23	15	12 Mín	30
	18	18	12	12 Mín	27
40	3	44	38	35	63
	6	39	32	27	58
	9	35	27	20	53
	12	29	23	15	47
	15	24	19	12 Mín	42
	18	19	15	12 Mín	36

Tabla 3-I-43 Largo de aberturas en medianas - Efecto de la oblicuidad

Para el diseño de un extremo de la mediana con forma de "bala", debemos considerar tres radios  $R$ ,  $R_1$  y  $R_2$ .  $R$  es el radio de la trayectoria elegida;  $R_1$  define la curva en el borde de la mediana y  $R_2$  el radio del vértice. Cuando se aplica un radio  $R_1$  suficientemente amplio, se asegura una velocidad de giro aceptable y se crea una zona de transición

entre los bordes de la mediana que protege en cierta medida a los vehículos que giran de aquellos que continúan por la calzada principal. El radio  $R_1$  puede variar entre 25 y 120 metros o más. El radio  $R_2$  es habitualmente un quinto del ancho de la mediana.

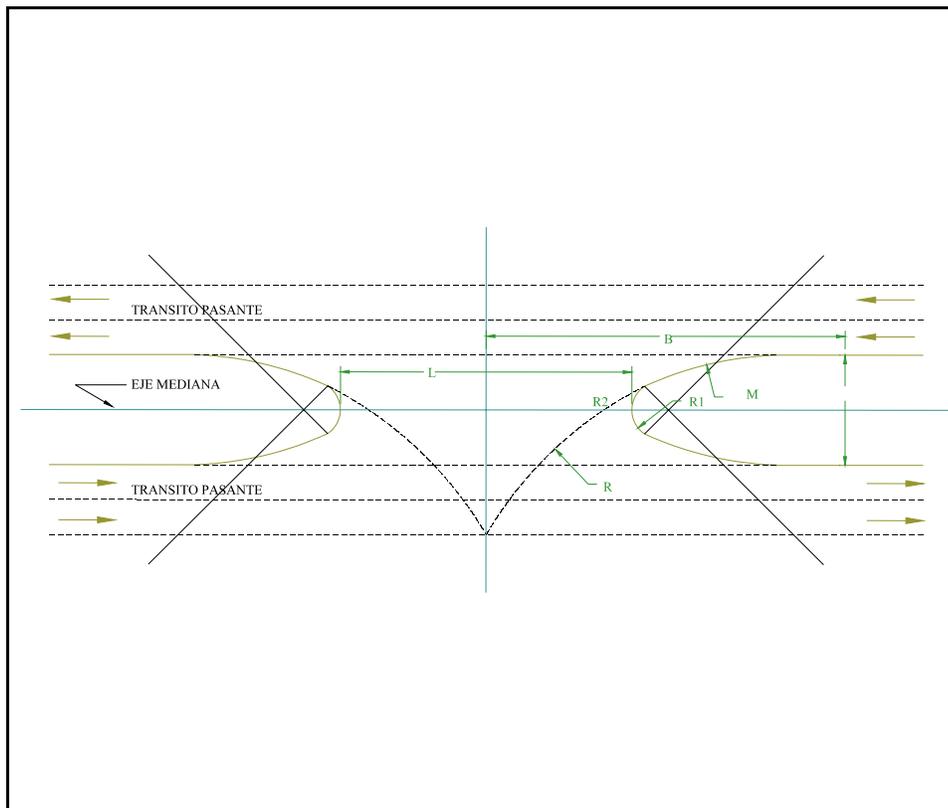


Gráfico 3-I-63 - Abertura de la mediana para  $R_1 = 15 \text{ m}$  y  $R_2 = M / 5$

Ancho M de la mediana (metros)	Dimensiones en metros cuando					
	R1 = 30 m		R2 = 50 m		R1 = 70 m	
	L	B	L	B	L	B
6	174	195	198	234	213	27
9	144	204	171	255	189	303
12	12	213	15	27	171	327
15	-	-	132	285	153	395
18	-	-	-	-	138	366
21	-	-	-	-	123	384

Cuadro 3-I44 Aberturas mínimas de medianas para narices "BALA"

**Carriles de giro a la izquierda en medianas**

Son carriles auxiliares para permitir el cambio de velocidad de un vehículo dispuesto a girar a la izquierda, su detención acumulación y espera de la oportunidad para realizar la maniobra de giro mientras provee protección ante posibles colisiones traseras. Son especialmente recomendables en aquellos casos en que los volúmenes pasantes son altos, grandes volúmenes de giro y altas velocidades.

El ancho de la mediana debe ser tal que permita ubicar el carril de giro, y además dejar un ancho disponible para un separador lateral o "espina" de 1.00 m mínimo. En casos extremos se puede reducir este separador hasta 0.60 m de ancho con bordillos o demarcado con botones reflectantes o debidamente pintado o ambos, cuando las velocidades de los vehículos pasantes no son altas y el movimiento en la intersección está controlado por señales luminosas u otras. El ancho del carril puede variar entre 2.50 m (Mínimo absoluto) y 3.60 m.

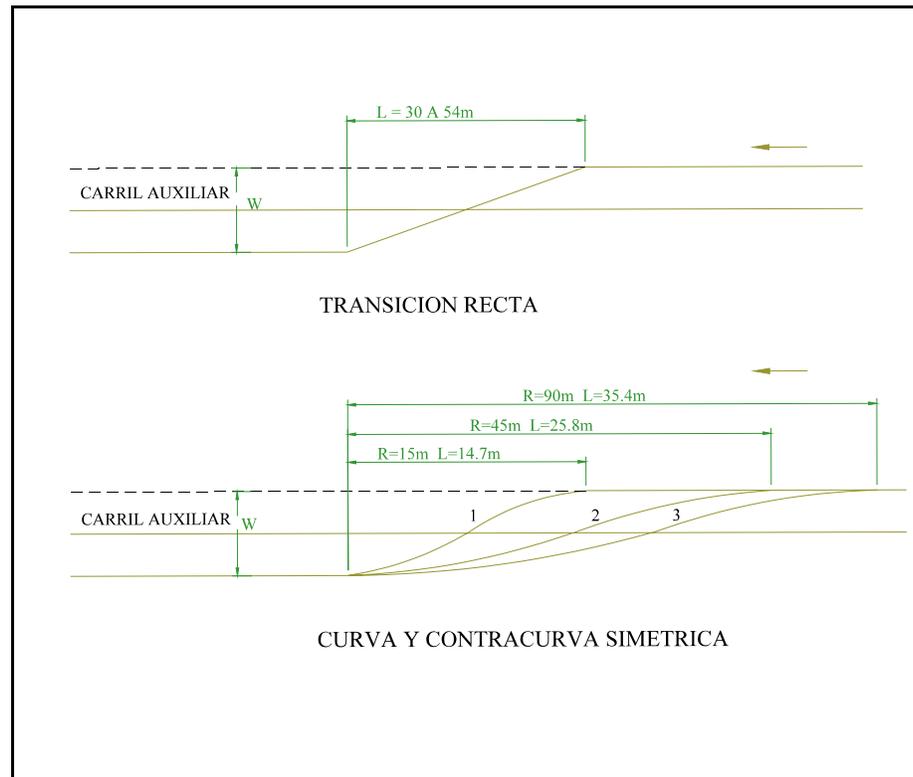


Gráfico 3-I-64 Transiciones del carril auxiliar en medianas

Cuando el ancho de la mediana es suficiente, el carril auxiliar se puede diseñar con más libertad, especialmente en su tramo final, donde es recomendable comenzar a orientarlo para el cruce, de manera que el vehículo detenido en espera del giro, pueda observar mejor al tránsito de la dirección opuesta y estar lo más cerca posible del borde de dicha calzada para realizar la maniobra. Esto disminuye además los conflictos en la intersección con los giros a la izquierda opuestos y aumenta la capacidad de giro, particularmente en el caso de la intersección señalizada. En estos casos de medianas anchas se producen áreas sobrantes que

pueden contribuir a la canalización de los movimientos y deben ser totalmente pavimentadas y pintadas convenientemente, preferiblemente con pavimento de superficie contrastante.

Las narices resultantes en los separadores o "espinas" de más de 1.20 m de ancho, pueden conformarse con un retiro de borde de 0.50 m de ancho y que se reducirá gradualmente hasta cero, para protección y encauzamiento del tránsito pasante del sentido opuesto que pudiera haberse desviado de su trayectoria por influencia del carril auxiliar. Se incluye un gráfico que muestra dicho detalle.

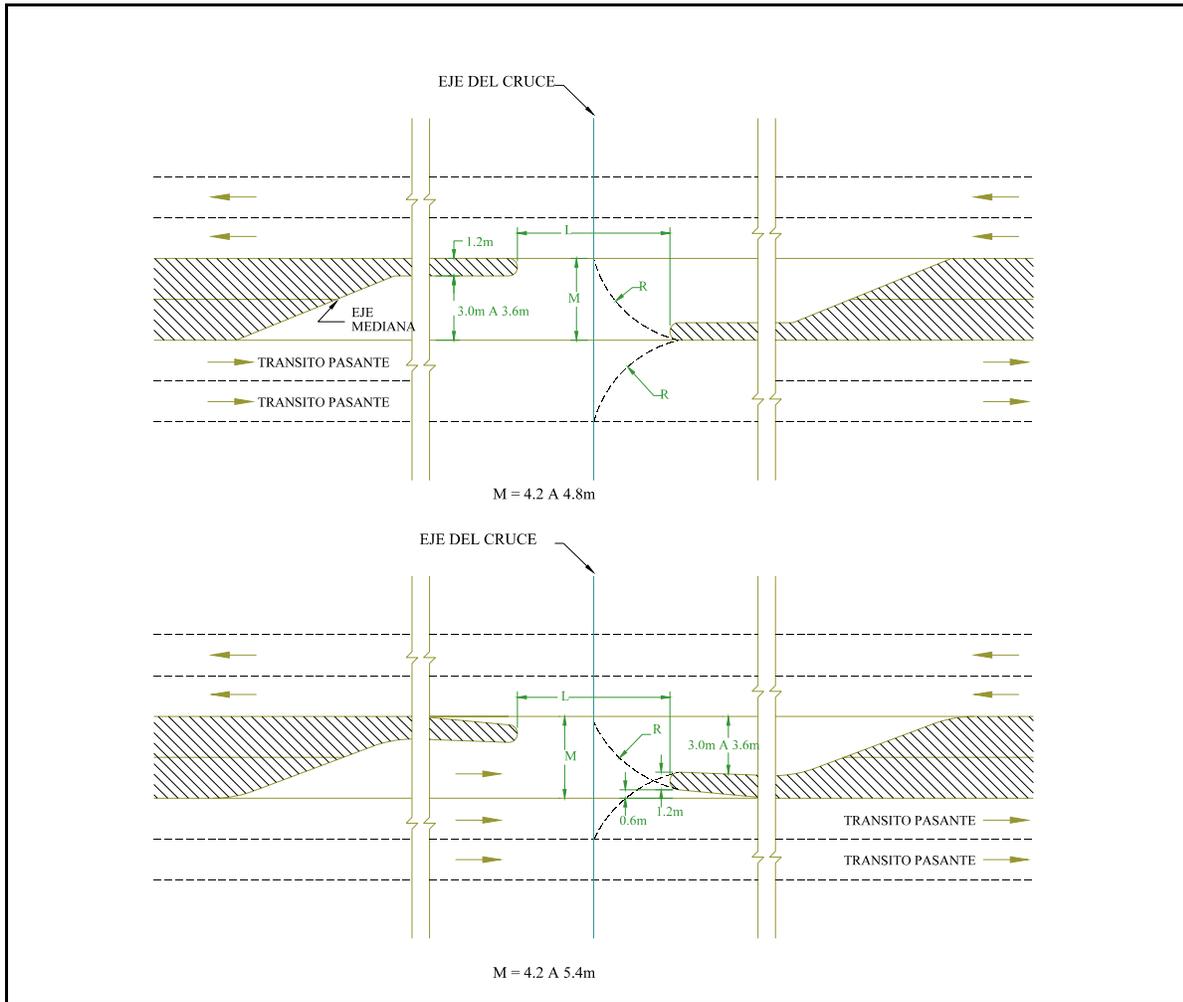


Gráfico 3-I-65 Carril de giro en medianas de 4.2 m a 5.4 m de ancho.

## DISEÑO DE INTERCAMBIOS A DISTINTO NIVEL

### TIPOS PRINCIPALES

#### Trébol

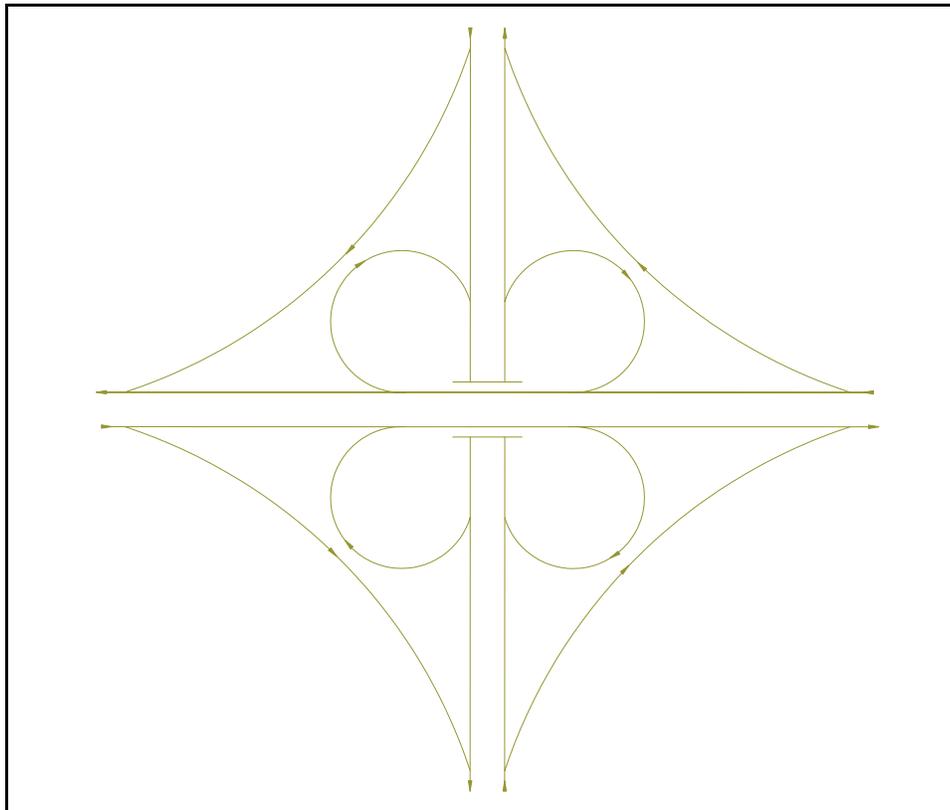


Gráfico 3-I-66

#### **Trébol de cuatro hojas:**

Tiene cuatro rulos para giros a la izquierda y ramas exteriores para giros a la derecha. En cada cuadrante se resuelven dos movimientos (Ver gráfico 3-I-66).

Ventajas:

\* Una sola estructura resuelve los

movimientos de vinculación entre las dos rutas.

\* No hay detenciones, pues los conflictos de cruce no se presentan y permiten una circulación fluida.

\* Bajo nivel de riesgo, excepto en los tramos de entrecruzamiento.

**Desventajas:**

- \* Ocupa una gran superficie.
- \* Incomunica a los cuatro sectores en el caso de dos autopistas.
- \* Las zonas de entrecruzamiento presentan riesgos por fricción lateral (Diferencias de velocidad).
- \* La velocidad de vinculación a través de los rulos es baja, por ser pequeños los radios.
- \* Dos salidas sucesivas a la derecha, alternadas con dos entradas sucesivas, lo que quita uniformidad al diseño.

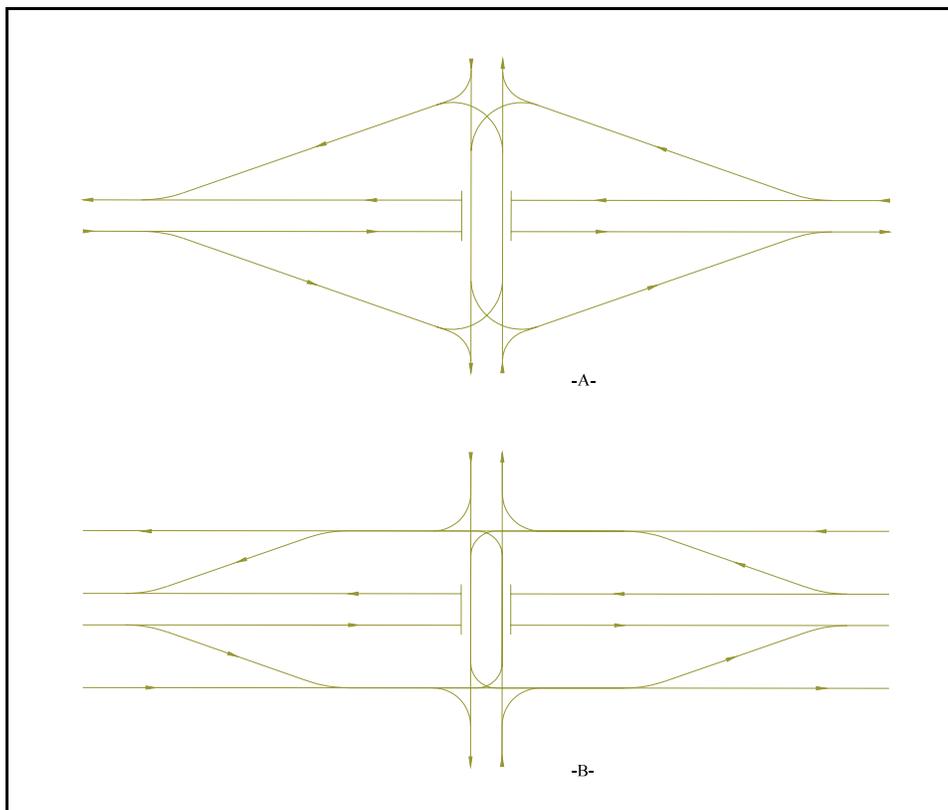
**Diamante:**

Gráfico 3-I-67

Se proyecta cuando una de las rutas o avenidas, es de menor importancia y se permite cruces a nivel, para efectuar los giros a la izquierda.

En cada cuadrante una rampa, de sentido único, todos los giros a la izquierda se efectúan desde o hacia la avenida de menor importancia.

**Ventajas:**

- \* Una sola estructura resuelve todos los movimientos de vinculación.
- \* Ocupa menos superficie.
- \* Reduce los riesgos sobre la autopista principal.
- \* Mantiene la vinculación entre las zonas vecinas locales, a ambos lados

de la autopista.

**Desventajas:**

- \* Hay detenciones en la calzada de menor importancia.
- \* Hay numerosos conflictos provocados por los cruces a nivel de los giros a la izquierda.

**Direccional:**

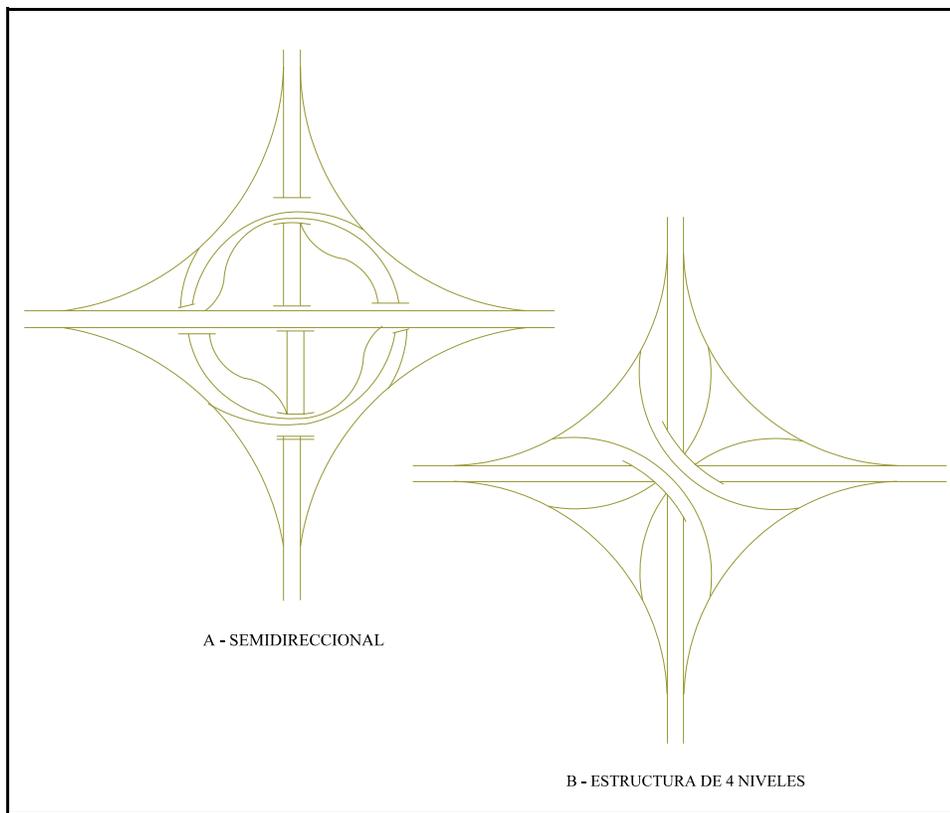


Gráfico 3-I-68

**Ventajas:**

- \* Alta velocidad
- \* Alta seguridad
- \* Movimiento fluido y continuo

**Desventajas:**

- \* Alto costo
- \* Numerosas estructuras

**Otros Tipos:**

Hay muchos otros tipos de intercambiadores, T, Y, rotatorios y múltiples.

Son parte esencial de una autopista, pero también pueden ser parte necesaria en avenidas rápidas y de alto tránsito.

Pueden variar desde simples ramas de conexión entre calles locales, a complicadas soluciones entre dos o más autopistas.

Por eso, la mayoría de los principios que se tratarán son aplicables tanto a autopistas,

como a otra clase de caminos de cierta importancia.

### **Rotondas:**

Las maniobras de entrecruzamiento, limitan el uso de rotondas a un régimen de baja velocidad, baja capacidad, aunque fluido y continuo.

Pueden ser a nivel, o a distinto nivel, según el siguiente esquema.

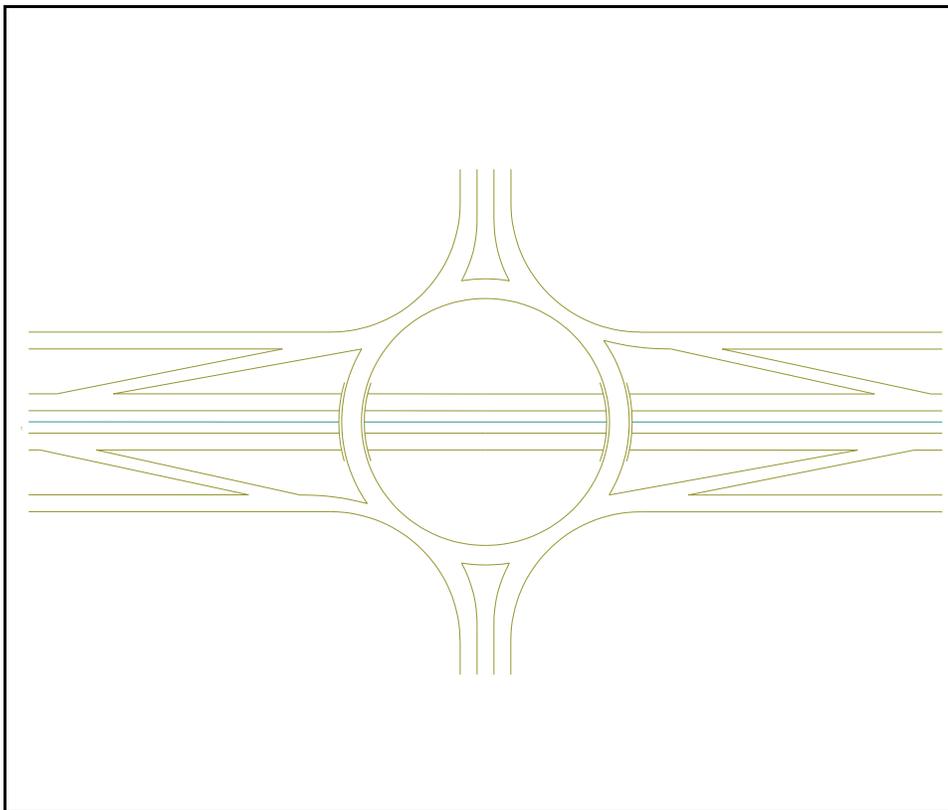


Gráfico 3-I-69: Rotonda a distinto nivel

#### Ventajas:

- \* Fácil comprensión
- \* Permite todos los movimientos
- \* Movimiento continuo

#### Desventajas:

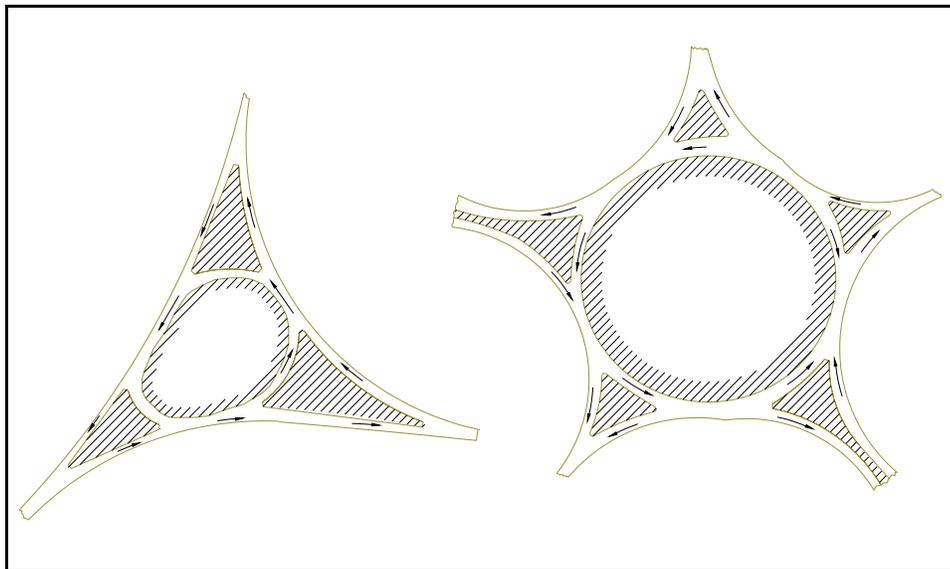
- \* Baja capacidad

- \* Baja velocidad
- \* Considerable superficie
- \* Zonas de entrecruzamiento cortas, lo que dificulta su señalización orientativa, a menos que los radios sean suficientemente grandes como

para proveer las longitudes de entrecruzamiento adecuadas.

Este diseño de intercambiador no se recomienda, porque con un costo similar, se pueden lograr resultados mejores en cuanto a eficiencia, velocidad y capacidad, aplicando

otro tipo de soluciones. Cuando el nivel de servicio de la rotonda está cercano a su capacidad, puede suceder que los distintos giros a la izquierda en la rotonda forman una fila de espera, y llega un punto en que se bloquean mutuamente, creando una situación de congestión total. La solución de controlar el tránsito en la rotonda por medio de señalización luminosa, hace que ésta pierda su motivo de ser y se comporte como una intersección simple semaforizada.



3 Ramales

5 Ramales

Gráfico 3-I-70

### Principales consideraciones de diseño:

Factores a tener en cuenta

- a. Tránsito
- b. Costo inicial
- c. Seguridad
- d. Ubicación en función de la topografía
- e. Beneficio para el usuario

**Tránsito:**

Es quizás el factor más determinante de la necesidad de construir un intercambiador.

Cuando la capacidad de un cruce a nivel se ve colmada, aunque sea sólo en uno de sus sentidos de circulación, y no hay posibilidades de ensanche sino a un costo muy grande (expropiaciones u otro tipo de restricción geométrica), se impone la construcción de un cruce a distinto nivel.

Un intercambiador es el tipo más caro de intersección, incluyendo los costos de estructuras, ramas, calzadas principales, conformación del terreno, aspectos paisajísticos y parquización de grandes áreas, la modificación de los caminos existentes e instalaciones de servicios y dentro de los intercambiadores existen una amplia gama de variedades de distinto costo de construcción y de mantenimiento. Los más caros son los direccionales, por la gran cantidad de estructuras que requieren, (se debe tener en cuenta que la relación de costo de un camino en viaducto con respecto a uno en terraplén, puede ser aproximadamente de 10 a 1).

**Seguridad:**

La eliminación y minimización de cruces y conflictos de giro, es imprescindible para mejorar la seguridad. La estructura del puente es también un obstáculo, por lo que se debe tener especial cuidado en establecer los anchos adecuados para las calzadas inferiores y defensas apropiadas para los estribos y pilas.

**Ubicación en función de la topografía:**

En topografía ondulada, es habitual que los intercambiadores se puedan ajustar al terreno existente, aprovechando los desniveles,

mejorando las condiciones geométricas de la intersección a nivel preexistente. Los intercambiadores en terreno llano son más fáciles de diseñar, pero son más antiestéticos que aquellos que se adaptan al terreno en zonas onduladas. Se debe tener en cuenta especialmente en zonas urbanas o suburbanas, la comunicación vial local, que habitualmente y dependiendo del tipo de intercambiador adoptado, se ve fuertemente afectada. Generalmente la construcción de un intercambiador en el cruce de dos autopistas trae aparejada la necesidad de una red de calzadas frentistas comunicada entre sí a través del intercambiador o en sus adyacencias por medio de cruces a distinto nivel.

**Beneficios para el usuario:**

Para un análisis económico completo tendiente a decidir entre distintas alternativas de diseño, se deben calcular los costos de operación total de los vehículos para cada una de ellas, teniendo en cuenta las pendientes, mayor recorrido, fricción etc. Para un solo vehículo estos valores podrían parecer insignificantes, pero para la totalidad de los vehículos, pueden significar un beneficio considerable como para decidir el tipo de solución a construir. Un análisis detallado de este tema, pertenece a la especialidad de la economía del transporte.

**Ubicación de Intercambiadores:**

La ubicación y selección de cruces para ser interconectados, se realiza conjuntamente o inmediatamente después del trazado inicial. A veces la ubicación del cruce, puede determinar la ubicación de la ruta.

El objetivo de este trabajo será el diseño de un intercambiador una vez conocida su

ubicación, pero corresponde igualmente efectuar algunas recomendaciones para la determinación de la misma.

Se deben tener en cuenta ciertos aspectos fundamentales para la ubicación y elección del tipo de distribuidor, a saber:

- \* Correcta separación entre conexiones
- \* Uniformidad de diseño de los intercambiadores

- \* Continuidad de circulación del tránsito pasante.

#### **Separación:**

La correcta separación entre intercambiadores, debe garantizar el espacio suficiente para maniobras de entrecruzamiento, divergencia y convergencia sobre la autopista, así como las indicaciones de giros y señalización progresiva en calles y avenidas.

<b>Tipo de Camino</b>		<b>Espaciamiento Mínimo (m)</b>
Calzadas separadas	Autopistas	1500
	Avenidas rápidas (sin acceso a propiedad).	500
	Avenidas (con acceso a propiedad).	300
	Avenidas (calzadas no separadas)	120
	Colectoras ó frentistas	100

Tabla 3-I-45

#### **Uniformidad**

Un comportamiento eficiente y seguro durante el manejo de un vehículo, depende en gran parte del máximo conocimiento anticipado que tenga el conductor de las acciones necesarias que le permitan conducir suavemente.

Las maniobras inesperadas y reacciones peligrosas, tienen lugar mayormente cuando el conductor se encuentra con lo inesperado.

Un principio simple y muy importante es que el conductor debe saber con suficiente anticipación en que carril debe circular, especialmente en áreas urbanas, donde las autopistas tienen varios carriles y los puntos de decisión son frecuentemente cercanos.

Una correcta señalización es útil, pero es más útil un correcto diseño de la configuración de los carriles.

Por eso es deseable, que las salidas se sitúen siempre a la derecha, ayudando así al conductor quien encontrará una configuración previsible.

Del mismo modo, la uniformidad de salidas hace recomendable ubicar una sola salida por intercambiador, preferiblemente antes del cruce.

Cuatro tipos básicos de intercambiadores, con las salidas ubicadas convenientemente, indican un ejemplo de uniformidad en este sentido, ver gráfico 3-I-71.

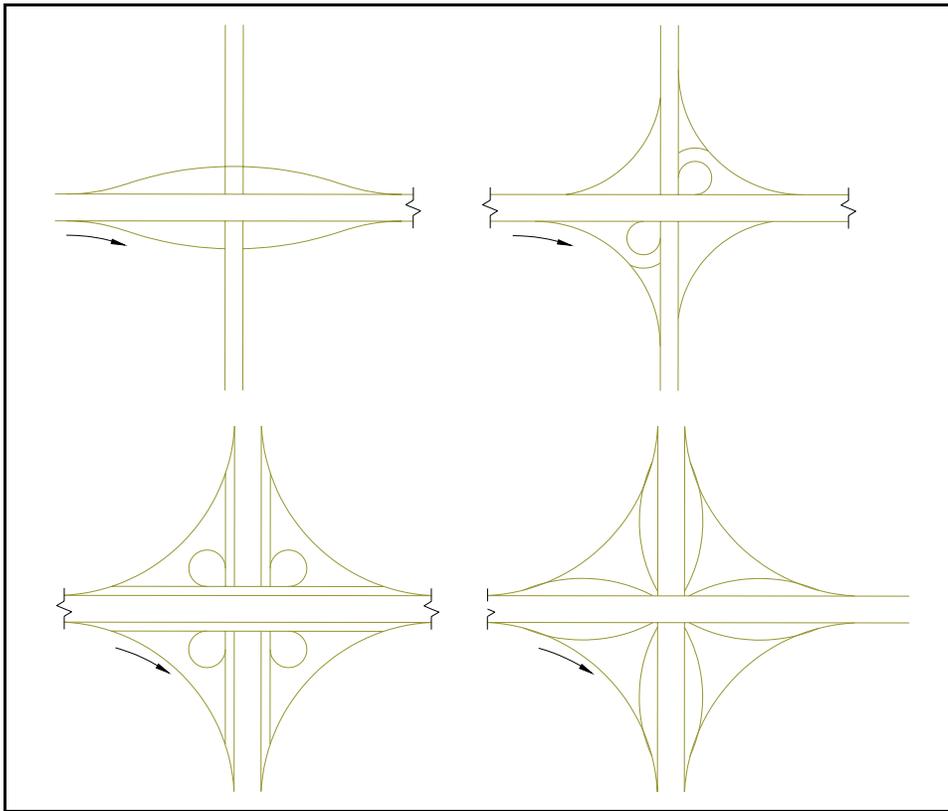


Gráfico 3-I-71

Posiblemente, circunstancias especiales obligarán a adoptar variantes de estos tipos de intercambiadores, pero debemos esforzarnos inicialmente para elegir diseños que incorporen uniformidad.

El trébol parcial, requiere cruces a nivel para algunos giros a la izquierda, por lo que no sirve en el caso de dos autopistas con control total de accesos, donde son más apropiados los dos últimos casos, o una combinación de ambos.

Nótese en el caso del trébol completo, que hay una calzada adicional desde la cual salen y a la cual entran todos los carriles de giro del lado derecho de las calzadas principales,

llamada calzada colectora distribuidora, cuya función es simplificar la comprensión de los movimientos para el conductor que circula por la autopista y alejar la zona de conflictos de entrecruzamiento de la zona de tránsito veloz.

Es deseable que en cada intersección se provean ramas de salida y entrada para todos los movimientos.

Por eso es deseable unificar en un solo punto los cruces que puedan llegar al intercambiador en dos lugares cercanos (en forma de "T") siempre que el ángulo sea aceptable y conformar un cruce típico, ver gráfico 3-I-72.

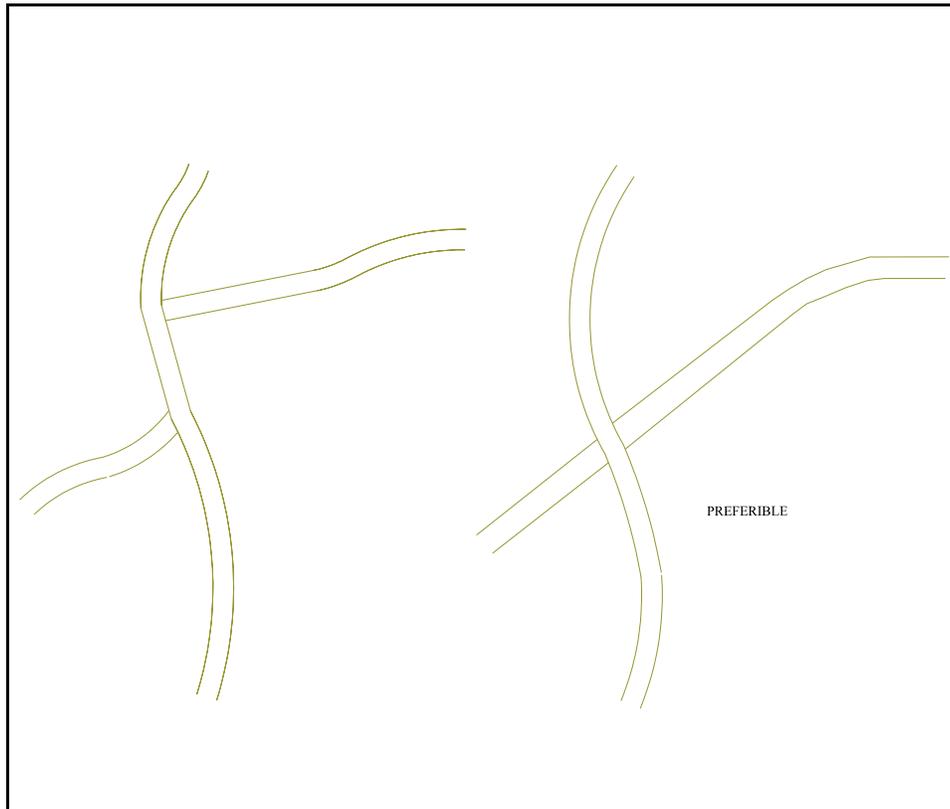


Gráfico 3-I-72

La necesidad de uniformidad es tan importante en autopistas como en avenidas. El conductor debe saber con anticipación a qué se va a enfrentar y en que carril se debe colocar, para evitar imprevistos y maniobras bruscas. Hay que simplificar las decisiones del conductor y espaciarlas convenientemente.

Los volúmenes de tránsito en los distintos cruces de una autopista variarán desde el tránsito mínimo hasta quizá volúmenes mayores al de la autopista.

En la mayoría de los cruces, el tránsito será mínimo por lo que será suficiente en ellos diseñar intersecciones estándar aunque su

capacidad no se vea colmada, reservando diseños especiales solamente para aquellos casos de volumen de tránsito extremadamente bajo o cruces de gran tránsito.

Por ejemplo, suprimir algunos giros a la izquierda en avenidas, espaciando dicha posibilidad, mejorará el funcionamiento y proveerá uniformidad.

#### **Continuidad:**

Hasta ahora hemos visto que la uniformidad de diseño en la ubicación de ramas provee seguridad y eficiencia para aquellos conductores que pretendan salir de la autopista y del mismo modo es necesaria la

seguridad y la eficiencia para el conductor que sigue su camino, con el tránsito pasante.

Idealmente, éste debe continuar su camino en su carril en forma natural y suave sin verse enfrentado a puntos de decisión.

Para la continuidad de una autopista o avenida, por lo menos dos carriles deben seguir a través de la ciudad, sin terminar

ninguno de ellos, ni salir. En caso de que el tránsito principal o pasante gire a la izquierda, en coincidencia con una salida a la derecha, es conveniente corregir la rama de la salida de tal manera que la salida sea bien evidente hacia la derecha y no aliente o atraiga el tránsito pasante hacia ella, ver gráfico 3-I-73.

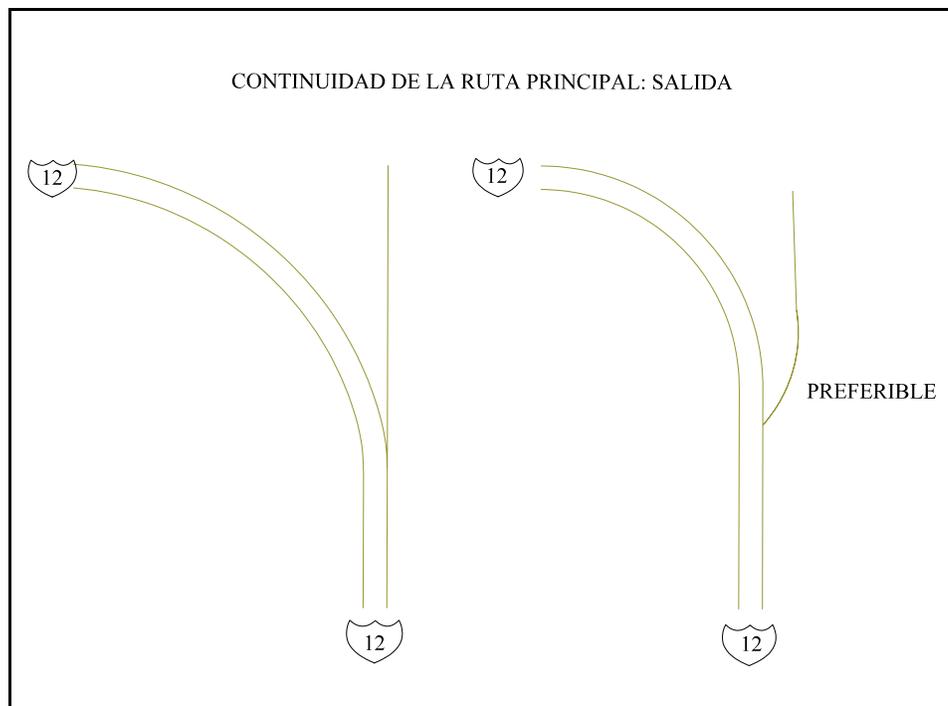


Gráfico 3-I-73: Continuidad de la ruta principal - salida

El movimiento natural del conductor debe ser el de continuar en la ruta principal.

De cualquier manera, si bien es deseable ajustarse a estos criterios de espaciamiento, uniformidad y continuidad, puede haber factores más poderosos, especialmente las limitaciones económicas, expropiaciones de

alto costo comercial, histórico o social, motivos topográficos etc, que pueden hacer elegir soluciones que no conformen rigurosamente estos principios.

**Criterios generales de diseño de intercambiadores, supuesto conocido el número de carriles:**

La estimación del número de vías se fijará de acuerdo a los estudios de capacidad, niveles de servicio y volúmenes previstos para los distintos tramos de la autopista o avenida, temas que escapan al alcance de este capítulo, por lo que se darán por conocidos, adoptando el número de vías o carriles como un dato.

**El medio ambiente:**

Una obra vial, por ser de una magnitud considerable, puede afectar el medio ambiente y la naturaleza de su entorno. La ubicación y desarrollo de una intersección urbana o suburbana, necesariamente interactúa con el sistema natural, la cantidad, calidad y la accesibilidad de los recursos naturales.

Algunas decisiones en la ubicación de una intersección puede favorecer el acceso y la calidad del entorno, convirtiendo zonas marginales en zonas aprovechables, parquizadas o ajustadas al desarrollo y uso urbano.

**Topografía:**

Es un factor fundamental en la elección del tipo de intercambiador a aplicar, pudiendo limitar severamente las posibilidades de solución.

Generalmente un buen diseño debe respetar al máximo la topografía existente y en consideración a la preservación del medio ambiente, el mantener los desmontes y rellenos al mínimo y seguir la conformación del terreno, mejor servirá a la cultura existente y al uso de la tierra y minimizará la erosión y los problemas de sedimentación.

Los cursos de agua y sus sistemas de vida se

deben alterar lo menos posible.

**Señalización y demarcación:**

La facilidad para transitar en los intercambiadores, esto es, claridad en la demarcación de los carriles a seguir, seguridad y eficiencia, dependen en grado sumo del espaciado, el diseño geométrico y una correcta señalización .

Las distancias mínimas entre ramas sucesivas, depende en gran parte de la posibilidad de proveer una correcta señalización para informar, prevenir y guiar a los conductores; estas señales y demarcaciones, deben cumplir con las normas respectivas.

**Desvíos de tránsito durante la construcción:**

El mantenimiento del tránsito durante la construcción es un tema que debe ser cuidadosamente planeado y ejecutado.

Es fundamental evitar congestiones de tránsito precisamente en el lugar en que el contratista necesita espacio para trabajar efectivamente.

Si de acuerdo a las características de la obra, es necesario cortar una determinada vía, se debe planear anticipadamente el desvío del tránsito, para hacerlo efectivo durante la ejecución de las obras.

No hay una norma que contemple todos los casos posibles, pero se pueden mostrar algunos ejemplos; el gráfico 3-I-74 ilustra un típico mantenimiento del tránsito durante la construcción.

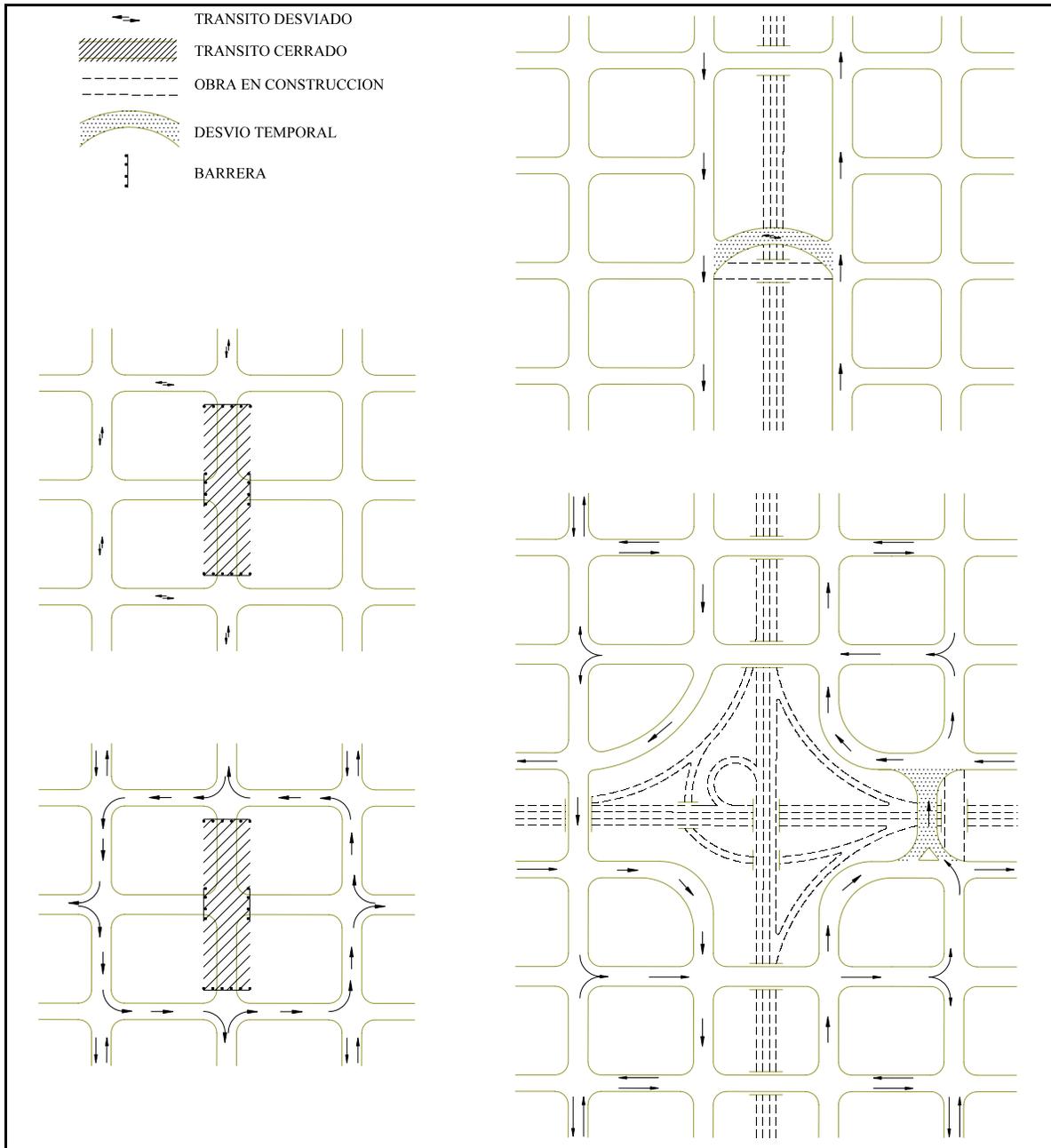


Gráfico 3-I-74 Mantenimiento del tránsito durante la construcción, alternativas de circulación.

**Construcción por etapas:**

En algunos casos, un intercambiador se construye por etapas, para ajustarse a los presupuestos disponibles, o para acomodarse a cambios futuros del área, o simplemente por acompañar al crecimiento del tránsito.

Esta posibilidad requiere una selección tal del diseño que permita construir las diferentes etapas con vistas a completar en el futuro el diseño final con un máximo aprovechamiento de las obras parciales ejecutadas, atendiendo a su factibilidad y dando debida consideración al mantenimiento del tránsito durante las etapas constructivas. Cuando fuera posible, la zona de camino necesaria para el futuro desarrollo, se debe adquirir o reservar en la etapa inicial.

**Número de vías o carriles. Equilibrio de vías**

Los estudios de tránsito y los análisis de capacidad, determinarán el número básico de vías que formarán las calzadas principales de la autopista y el mínimo número de vías en las ramas. El número de vías en la autopista se debe establecer para una considerable longitud de camino y no debe cambiarse entre intercambiadores aún en el caso en que el tránsito disminuya debido a que importantes volúmenes se han derivado en dichos cruces. Debe haber continuidad en el número básico de vías. En el caso de que el tránsito lo demande se recurrirá a vías adicionales durante el trecho necesario.

Una vez determinado el número de vías para cada calzada, se debe verificar el cumplimiento de ciertas reglas generales, que se indican a continuación:

1. El número de vías después de un punto de convergencia, no debe ser menor que la suma de las vías convergentes menos uno.
2. Cuando una rama de dos vías ingresa a una autopista, el número de vías de la autopista debe ser aumentado por lo menos en una vía (máx. dos).
3. Cuando una rama de dos vías egresa de una autopista, el número de vías de la autopista debe ser reducido en una vía a continuación de la salida.
4. El número de carriles de una autopista no debe ser reducido en más de un carril por vez.

Ilustraciones de convergencias y divergencias se muestran en el gráfico 3-I-75

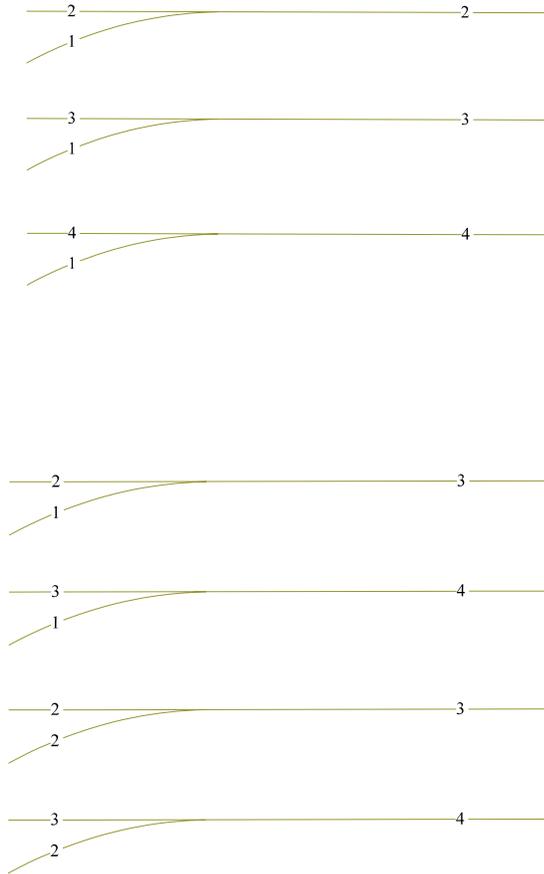
**Elementos de diseño de intercambiadores****Rampas:****Tipos de rampas:**

Hay tres tipos básicos de rampas:

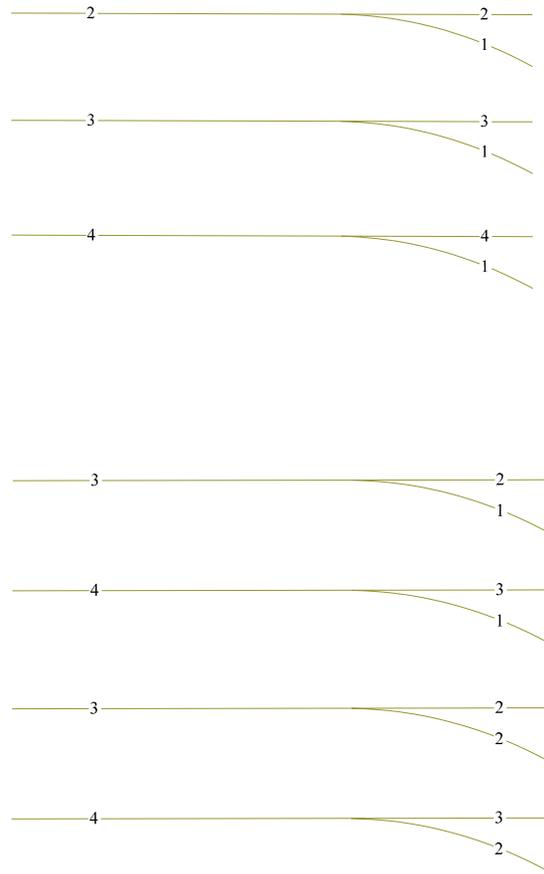
1. Rampas de giro a la derecha
2. Rulos
3. Rampas de giro a la izquierda

## EJEMPLOS

## CONVERGENCIA



## DIVERGENCIA



1. Las rampas de giro a la derecha, pueden variar algo en su configuración y ubicación ya sea en forma diagonal o paralela a la autopista, pero siempre conectan directamente con la otra autopista o avenida interceptada, siendo en general las que menos problemas o conflictos presentan.
2. Los rulos, son ramas para giro a la izquierda, que tienen su salida a la derecha de la autopista, girando a la derecha alrededor de  $270^\circ$ .
3. Las rampas de giro a la izquierda, son ramas que necesitan estructuras para salvar una o más calzadas, y que tienen una desviación parcial de la trayectoria deseada.

### Velocidad directriz en rampas

Generalmente las normas de diseño de una rampa, tanto desde el punto de vista

altimétrico como planimétrico, corresponden a una velocidad directriz menor que aquellas de la autopista o avenida que cruza, aunque en algunos casos puede ser igual.

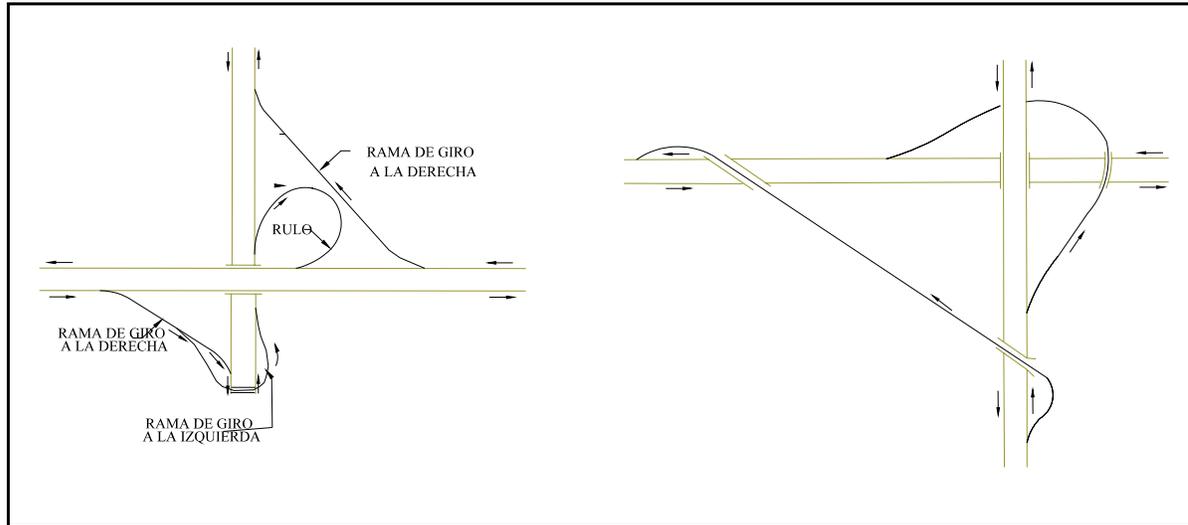


Gráfico 3-I-76 Tipos de rampas

En el caso de un trébol, en la intersección entre una autopista y una avenida de menor importancia, o que permite cruces a nivel, cuando la rama o el rulo llegan a esta última, se pueden permitir giros a la izquierda para

ambos, representando esto una alternativa que permite suprimir en casos excepcionales, algunos rulos o ramas para los movimientos correspondientes.

Velocidad de diseño de la autopista Km/h	50	65	50	100
<b>Velocidad de diseño de la rama (Km/h)</b>				
Deseable				
Mínima	4025	5530	7540	8050
<b>Radio Mínimo (m)</b>				
Deseable				
Mínimo	5020	10030	18050	23075

Tabla 3-I-46 Velocidades de diseño de rampas en función de la velocidad directriz de la autopista

1. La velocidad de diseño de la tabla 3-I-46, es aplicable a la rampa propiamente dicha y no a la zona de comienzo o terminación de la misma, que responden a normas específicas y el radio mínimo debe aplicarse a la curva de radio menor de la rampa.
2. Rampas para giros a la derecha; generalmente no presentan problemas y se puede ubicar fácilmente la velocidad de diseño entre la deseable y la mínima.
3. En los rulos generalmente no se pueden obtener valores deseables de velocidad de diseño. Velocidades de diseño por encima de los 50 km/h, requieren grandes áreas que habitualmente no están disponibles en zonas urbanas y la longitud de giro a la izquierda a través del rulo, resulta considerablemente aumentada.
4. En las conexiones que no son directas son aplicables velocidades de diseño comprendidas entre el valor deseable y el mínimo. No se deberían usar velocidades de diseño menores a los 50 Km/h.
5. Se deben usar las velocidades de diseño deseables. El mínimo preferible, debería ser 65 km/h y nunca menores de 40.
6. Para vincular autopistas de distinta velocidad, la velocidad de diseño puede variar a medida que se acerca a la segunda avenida acorde con las velocidades respectivas.
7. Al llegar una rampa a una intersección a nivel, las velocidades de diseño de la tabla 3-I-46, no son aplicables y se deben utilizar las normas para giros a nivel, que no corresponden a esta sección.

### **Curvatura de las rampas**

Es deseable que una rama tenga el mínimo de radios distintos, para hacer la marcha del conductor más uniforme, sin aceleraciones ni frenados ni modificaciones de la fuerza centrífuga a medida que se recorre.

En el caso de una rampa con curvas y contracurvas, es sumamente conveniente que entre dos curvas sucesivas haya un tramo recto y que su longitud sea del mismo orden que la longitud de cada curva, para permitir el desarrollo de los cambios de peralte y brindar uniformidad de diseño.

En el caso de los rulos es conveniente que estén formados por un único radio para el trayecto general del mismo, con transiciones espirales o curvas de dos centros al comienzo y al final del recorrido del vehículo, y su consiguiente variación de velocidad.

Las longitudes mínimas de las espirales variarán desde 20 metros para una rampa cuya V.D. sea 30 km/h, hasta 65 metros para una V.D. de 75 km/h dependiendo del peralte utilizado.

### **Longitud del arco circular para curvas compuestas de rampas**

(Cuando están seguidas por una curva de radio igual a la mitad, o precedidas por una curva de radio igual al doble)

Radio (m)	30	50	65	80	100	130	165 ó más
<b>Longitud de arco (m)</b>							
Mínima	13	15	20	25	35	40	45
Deseable	20	25	30	40	45	60	65

Tabla 3-I-47 Distancia de frenado o distancia visual

El alcance visual del conductor en una rampa debe ser por lo menos igual a la distancia de frenado, de acuerdo a la tabla 3-I-41, que fue calculada en función del tiempo de percepción y reacción, coeficiente de fricción y distancia de frenado, es aplicable al nivel del ojo del conductor ubicado a 1.07 metros sobre el nivel de la calzada y para un objeto ubicado a 0.15 metros sobre la misma. Es deseable en la zona de salida de rampas, tener una visual completa de la zona terminal, incluyendo la nariz de la rampa.

### Pendientes en las rampas y perfil longitudinal

Las pendientes en rampas, deben ser tan bajas como sea posible, pero pueden ser más altas que las de las respectivas calzadas principales que interconectan.

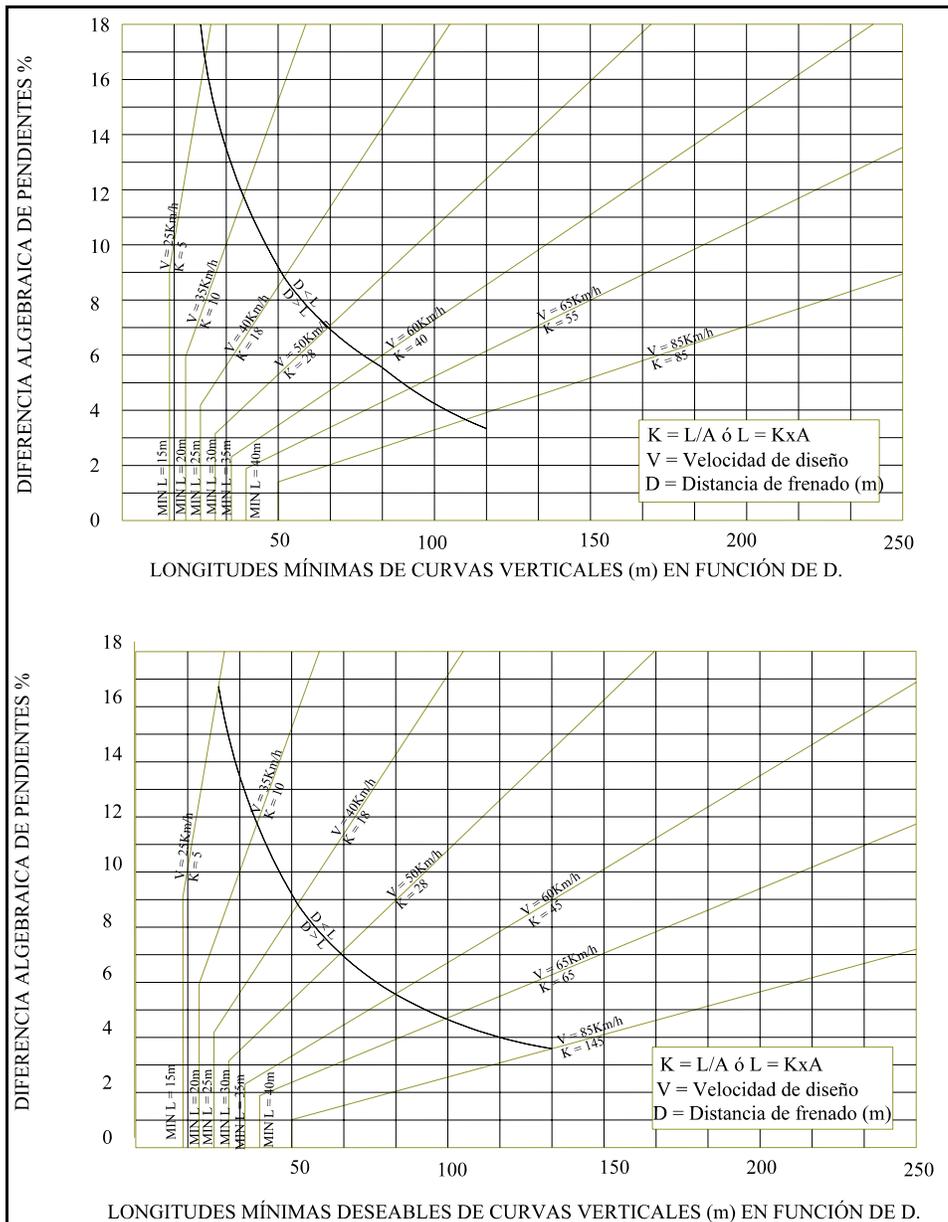
1. Las pendientes en rampas no deben superar el 6% y preferiblemente no deberían superar el 5% en zonas nevadas, congelamiento o calzada resbaladiza con lluvia.
2. Cuando el número de camiones pesados es mayor que el 10% del tránsito total, no deberían superar el 4%.
3. En casos excepcionales, la pendiente en una rampa puede alcanzar el 10%. Su uso debe ser limitado a rampas cortas, con volúmenes de tránsito bajos. Una pendiente alta no es

objetable si ayuda a la aceleración o desaceleración cuando es necesaria.

4. Las rampas de alta velocidad deben tener generalmente pendientes más bajas que las rampas de baja velocidad y bajo volumen de tránsito.
5. Las rampas descendentes con radios pequeños no deben ser más empinadas que aquellas ascendentes, por la dificultad del conductor en transitarlas y el fuerte efecto centrífugo a que se ve sometido el vehículo.

El perfil longitudinal de una rampa, generalmente está formado por dos curvas verticales de distinto sentido unidas por un tramo en tangente. Sobre esta última, se determina la pendiente máxima; la distancia de frenado se debe verificar tanto sobre el alineamiento vertical como sobre la planimetría. Se debe evitar que una curva horizontal aparezca de repente, al final de una curva vertical y es preferible que se desarrollen conjuntamente, haciendo más previsible su desarrollo.

Se adjuntan los gráficos 3-I-77 y 3-I-78 que permiten seleccionar los parámetros para curvas verticales, mínimos deseables y mínimos absolutos, que respetan la distancia de frenado en función de la diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes extremas de las curvas verticales y para varias velocidades directrices en rampas.



**Peralte y pendientes transversales**

Se adjunta la tabla 3-I-48 que indica el rango, o entre que extremos debe variar la pendiente transversal de una rampa, en función del radio y la velocidad de diseño.

En zonas de nieve o heladas, no es recomendable superar el 6% u 8% de peralte.

En tramos de recta, la pendiente transversal normalmente es del 2% o 3% descendente hacia el lado derecho de la rama.

Radio	Valores entre los que debe variar el peralte (%) para ramas con velocidad de diseño, (km/h) de:					
	20	30	40	50	60	70
15	2 - 10					
30	2 - 7	2 - 10				
50	2 - 5	2 - 8	4 - 10			
75	2 - 4	2 - 6	3 - 8	6 - 10		
100	2 - 3	2 - 4	3 - 6	5 - 9	8 - 10	
150	2 - 3	2 - 3	3 - 5	4 - 7	6 - 9	9 - 10
200	2	2 - 3	2 - 4	3 - 5	5 - 7	7 - 9
330	2	2 - 3	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
500	2	2	2	2 - 3	3 - 4	4 - 5
650	2	2	2	2 - 3	2 - 3	3 - 4
1000	2	2	2	2	2	2 - 3

Tabla 3-I-48 Peraltes para curvas en rampas en función de R y V.D.

(Es preferible usar la mitad o el tercio más alto del rango indicado).

La correcta variación del peralte en función

de la longitud depende del número de carriles y de la velocidad. En función de la velocidad de circulación se adopta la norma indicada en la tabla 3-I-49.

Velocidad de diseño (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Máxima diferencia de pendiente longitudinal entre bordes en (%)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45

Tabla 3-I-49

Estas normas de variación del peralte en rampas, han sido tratadas en detalle en el capítulo correspondiente a Intersecciones a Nivel, donde se remite para más detalle.

### Ancho de rampas

Los anchos de rampas son función del radio, tipo de operación y tipo de vehículo.

Las rampas o carriles de vinculación, pueden diseñarse para operar en uno o dos sentidos, dependiendo de las características

geométricas de la intersección.

Los anchos de pavimento se clasifican de acuerdo al tipo de operación que utilizarán en:

Tipo I: Un carril, un sentido de marcha sin sobrepaso de vehículo detenido.

Tipo II: Un carril, un sentido de marcha, con sobrepaso de vehículo detenido.

Tipo III: Dos carriles, para operar en uno o

dos sentidos de circulación.

El caso I se utiliza para giros de poca importancia y en rampas cortas, donde no se

supone la detención de un vehículo, no obstante se recomienda en el caso de tener bordillos, que sean de tipo montable.

Radio en el borde interior del pavimento (m)	Ancho del pavimento (m)								
	Caso I			Caso II			Caso III		
	Condiciones Tránsito			Condiciones Tránsito			Condiciones Tránsito		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5.50	5.50	7.00	7.00	7.75	9.00	9.50	10.75	13.00
25	4.50	5.00	5.50	6.25	6.75	7.75	8.50	9.50	11.50
35	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.50	8.50	9.25	10.50
45	4.25	4.75	5.25	6.00	6.50	7.25	8.25	9.00	10.00
60	4.25	4.75	5.00	5.75	6.50	7.25	8.25	9.00	9.75
80	4.00	4.75	5.00	5.75	6.25	7.00	8.00	8.75	9.50
100	4.00	4.75	5.00	5.50	6.25	6.75	8.00	8.75	9.25
125	4.00	4.50	4.75	5.25	6.00	6.75	8.00	8.50	9.00
150	3.75	4.50	4.75	5.00	6.00	6.50	7.75	8.50	8.75
Tangente	3.75	4.50	4.50	4.75	5.75	6.50	7.50	8.25	8.25

Tabla 3-I-50 Ancho del pavimento

	A	B	C
<b>Espaldón estabilizado</b>	Ninguna	Ninguna	Ninguna
<b>Bordillo 1 lado</b>	Aumentar 0.25	Ninguna	Aumentar 0.25
<b>Bordillo 2 lados</b>	Aumentar 0.50	Aumentar 0.25	Aumentar 0.50
<b>Espaldón estabilizado en uno o ambos lados</b>	Ninguna	Deducir el ancho del mismo sin bajar de los anchos del caso I	Deducir 0.50 para espaldón ~ de 1 m

Tabla 3-I-51 Modificación del ancho según el tratamiento lateral usado

Condición A. Volumen de camiones pequeños; ocasionalmente algún camión grande.

Condición B. Volumen de camiones moderados, 5 al 10% del tránsito total.

Condición C. Volumen de camiones grandes > 10%

### Carriles de aceleración y desaceleración

Un conductor que sale de la autopista debe desacelerar hasta alcanzar la velocidad de circulación de la rampa.

Un conductor que entra en una autopista desde una rampa, debe acelerar hasta alcanzar la velocidad de circulación de la autopista. A tal efecto, se debe proveer un carril auxiliar para minimizar la interferencia

con el tránsito que continúa su recorrido, reduciendo las probabilidades de accidentes. Estos carriles auxiliares se denominan carriles de aceleración y desaceleración y existen dos clases, según tengan forma oblicua o sean paralelos a la calzada principal.

Las variaciones de velocidad para pasar de una rampa a la autopista son similares a las variaciones de velocidad necesarias para pasar de la misma autopista a la rampa, pero de signo contrario.

Sin embargo, un vehículo necesita menos distancia para desacelerar que para acelerar una cierta cantidad de Km/h.

#### **Entradas.**

En el caso de la entrada oblicua, la convergencia varía entre 50:1 y 75:1, entre el borde exterior de la rampa y el borde derecho de la autopista. Este grado de convergencia, provee una adecuada entrada de los vehículos provenientes de la rampa en la corriente principal.

La geometría de la rampa, debe ser tal que permita al conductor, alcanzar una velocidad igual a la de la autopista, teóricamente, menos 10 Km/h, en el momento en que alcanza el

punto donde el borde izquierdo de la rampa toca el borde derecho de la calzada principal.

La distancia requerida está determinada en función de las velocidades de diseño entre la rampa y la autopista.

#### **Salidas:**

Las rampas de salidas pueden ser de tipo oblicuo o paralelo.

La longitud de los carriles de desaceleración están en función de las velocidades directrices de la autopista y la rampa

La desaceleración se debe efectuar después que el vehículo ha salido de la autopista y antes de alcanzar el punto que limita la velocidad de diseño de la rampa.

Los gráficos 3-I-24 y 3-I-25, ilustran las configuraciones de los carriles de aceleración y desaceleración. Para determinar las longitudes de estos carriles, hay que referirse a las tablas 3-I-21, 3-I-22, 3-I-23, 3-I-24, 3-I-25 y 3-I-26, de acuerdo al tipo de salida o entrada y las pendientes de las rasantes de la carretera y rampa.

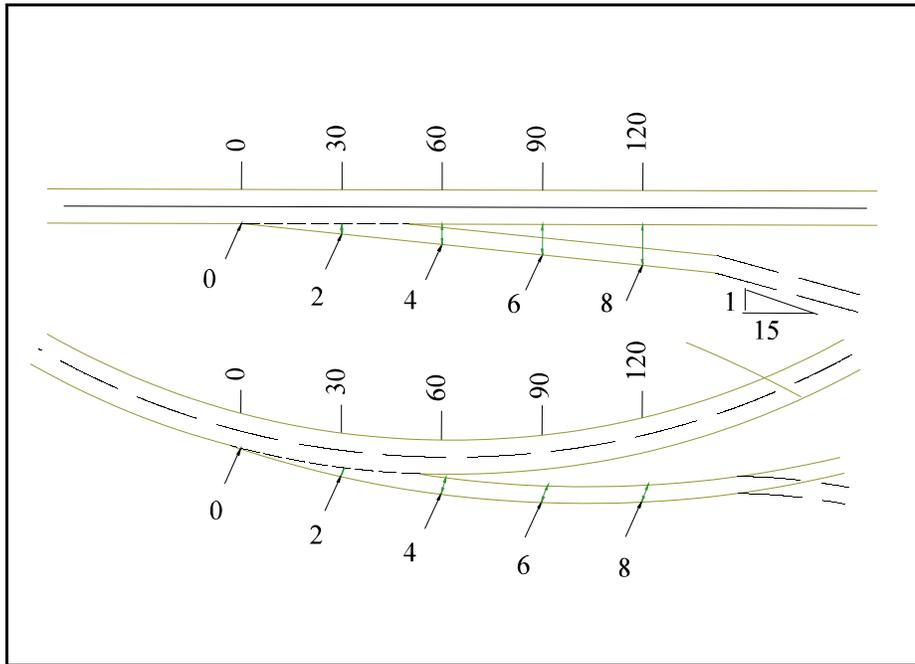


Gráfico 3-I-79 Carril de salida con curva de la autopista a la izquierda.

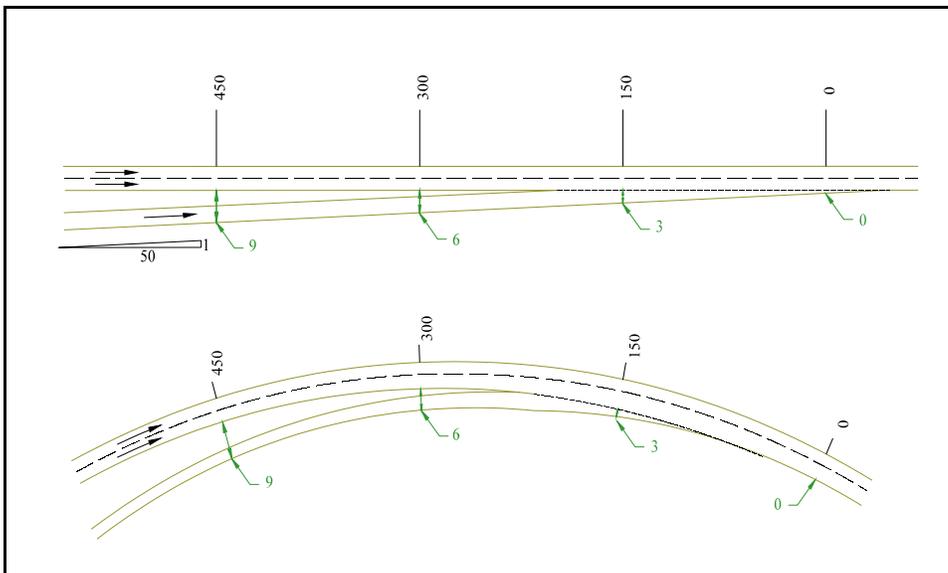


Gráfico 3-I-80 Carril de entrada con curva de la autopista a la derecha

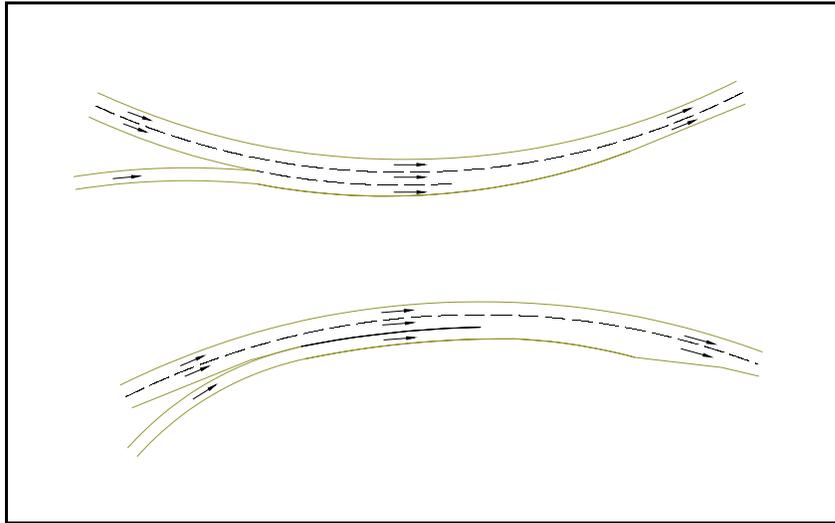


Gráfico 3-I-81 Carriles auxiliares tipo paralelo en curva

**Bifurcaciones**

Cuando una autopista se divide en dos importantes rutas, aproximadamente de la misma importancia, el área o zona de divergencia se denomina bifurcación u

"horqueta".

El número total de carriles o vías después de la bifurcación debe exceder el número de vías que llegan a la misma por lo menos en una. (Es deseable que se incremente en sólo una).

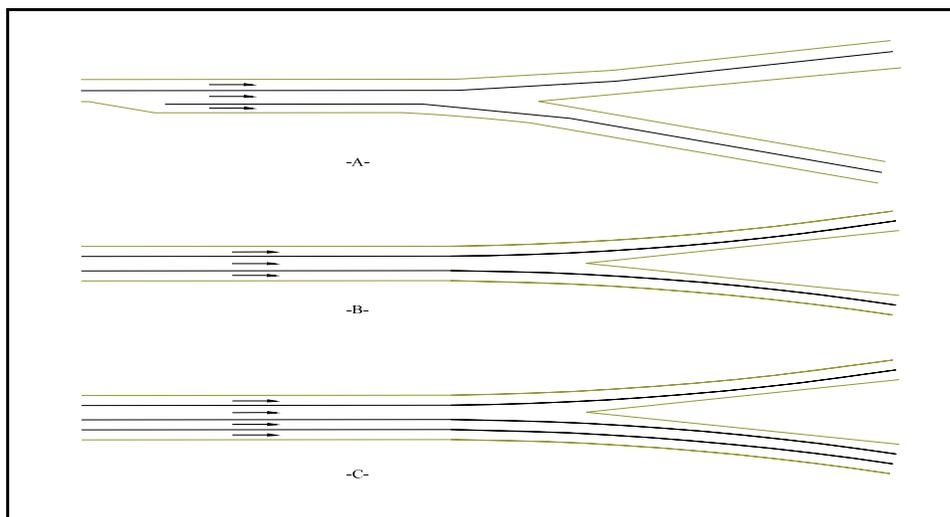


Gráfico 3-I-82 Ejemplo de bifurcaciones

### Reducción de carriles

Es aconsejable mantener el número de carriles hasta que la reducción de tránsito se considere como un hecho permanente, por ejemplo cuando un número sucesivo de salidas ha disminuído el tránsito en una autopista que sale de una ciudad en la cantidad suficiente como para justificarlo.

La reducción de carriles se debe llevar a cabo luego de un intercambiador y fuera de su zona de influencia, para permitir adecuada señalización. No debe efectuarse tan lejos que el conductor se acostumbre al número de vías y sea sorprendido por el cambio. Es deseable

que la reducción se ubique en una zona de gran visibilidad, como por ejemplo el comienzo de una curva vertical cóncava. Al disminuir un carril conviene que sea el que está a la derecha, puesto que es un carril supuestamente más lento y la maniobra para incorporarse a la izquierda, es más familiar para la mayoría de los conductores.

La transición debe estar en la proporción 50:1 a 70:1 similar a la de una rampa de entrada. En zonas urbanas, donde no hay quizá lugar suficiente entre intercambiadores debido a la escasez de espacio, se suele reducir el ancho de la calzada después de una salida.

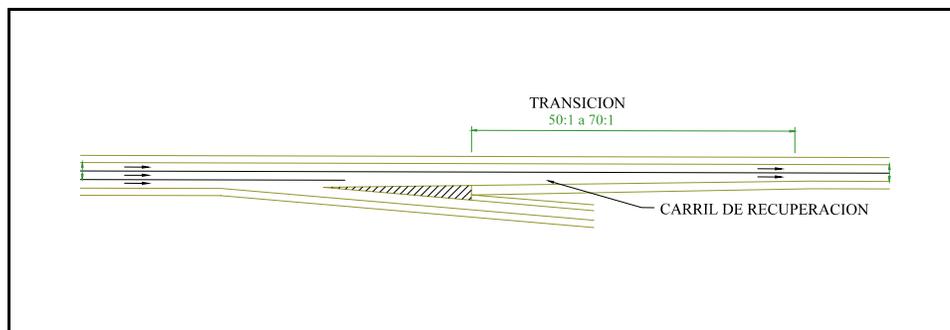


Gráfico 3-I-83 Salida de un carril con reducción de calzada

### Zonas de entrecruzamiento

Las 3 zonas de entrecruzamiento consisten en una longitud de calzada, en uno de cuyos extremos el tránsito converge y en el otro diverge y son características de algunos tipos de intercambiadores o en algunos tramos de calzada entre intercambiadores sucesivos. Se les debe proveer de la longitud y el ancho necesarios para un correcto funcionamiento. Son generalmente apropiados para intersecciones menores (ej. rotondas), pero para grandes volúmenes de entrecruzamiento es a menudo difícil proveer las dimensiones

necesarias para una buena operación.

Por consiguiente, en intercambiadores importantes, se debe tratar de evitar cuando sea posible el entrecruzamiento. Los diseños necesarios para eliminar el entrecruzamiento requieren más longitud o estructuras más complejas. Los principales tipos de entrecruzamiento se pueden observar en los esquemas del gráfico 3-I-84, pero el análisis de la capacidad y la determinación de las longitudes y el número de carriles, exceden el alcance de este capítulo.

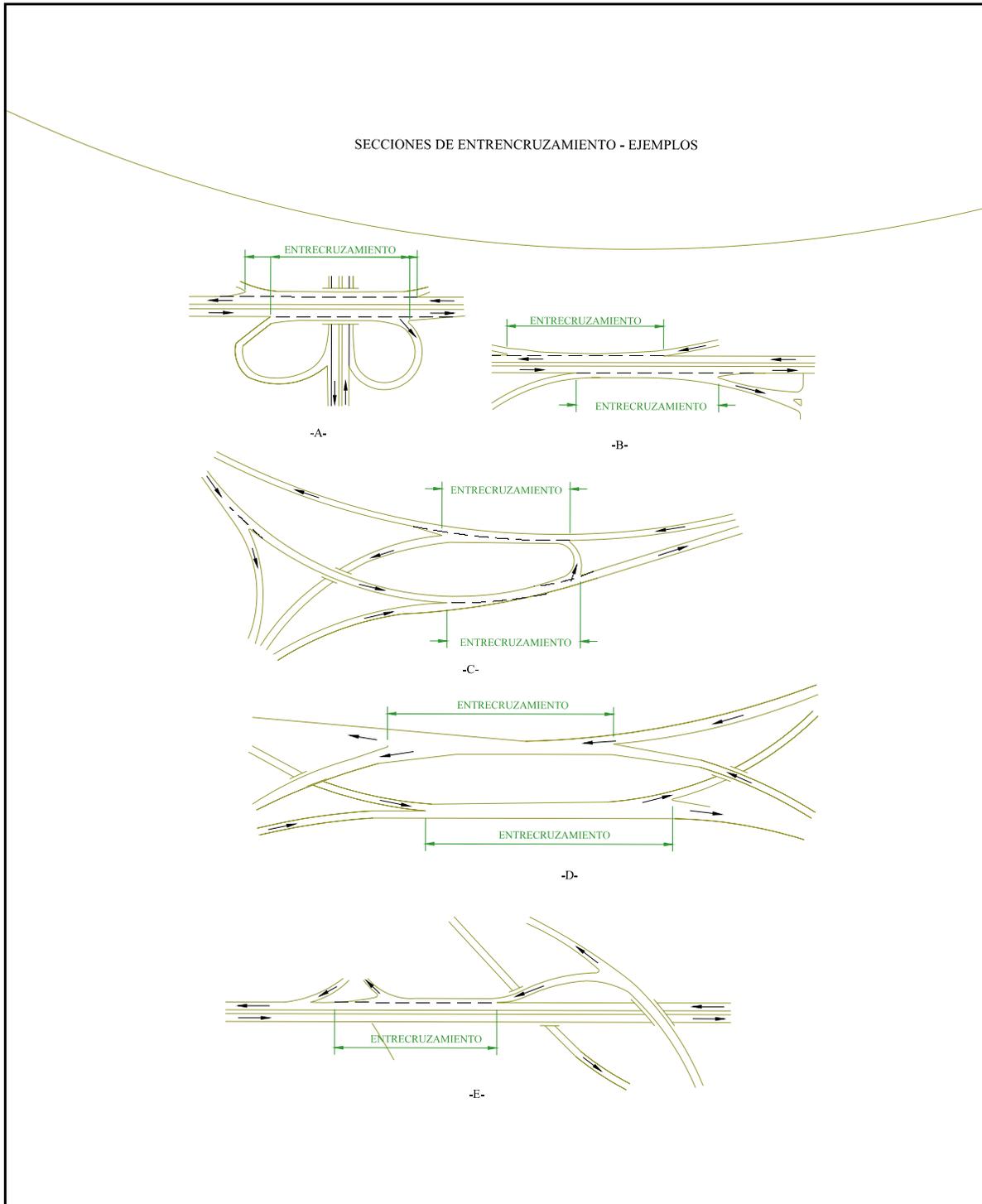


Gráfico 3-I-84

### **Tipos y variantes de intercambiadores de tres ramales**

No es necesaria una clara diferenciación entre los intercambiadores de tres ramales "T" e "Y" ya que sus diferencias se basan en pequeñas variaciones angulares. Se pueden separar en intercambiadores de una estructura o intercambiadores de estructuras múltiples. Dentro de los primeros, los más usados son los del tipo trompeta, como los que se muestran en el gráfico 3-I-85.

Donde la figura "a" indica un tipo de trompeta que es deseable evitar, especialmente cuando la ruta que termina es de cierta importancia y velocidad y que ha tenido una longitud considerable, ya que el final abrupto en un rulo que requiere una reducción sustancial de la velocidad, representa una situación de alto riesgo con probabilidades de accidentes. Por consiguiente es preferible proveer al giro más importante con la rama direccional y al giro menos importante con el rulo. La figura "c" indica un esquema que es apropiado para construir como primera etapa de un futuro

trébol, con posibilidades de continuación de la calzada interrumpida.

El esquema "e" no ofrece ventajas sobre el "b" sino por el contrario, tiene el inconveniente de una salida a la izquierda y una entrada a la izquierda sobre el movimiento principal.

El esquema e muestra, un ejemplo de intersección en "Y" con una sola estructura.

El movimiento de B a C no está previsto y se puede ubicar en la zona indicada, teniendo en cuenta el radio de giro, su velocidad de diseño y la necesaria distancia de frenado para los vehículos que hagan dicho movimiento, así como también prever la necesidad de un carril de frenado y un carril de incorporación auxiliar.

En cuanto a los diseños de intersecciones en "Y" o "T" con múltiples estructuras, se muestran algunos ejemplos en el gráfico 3-I-86.

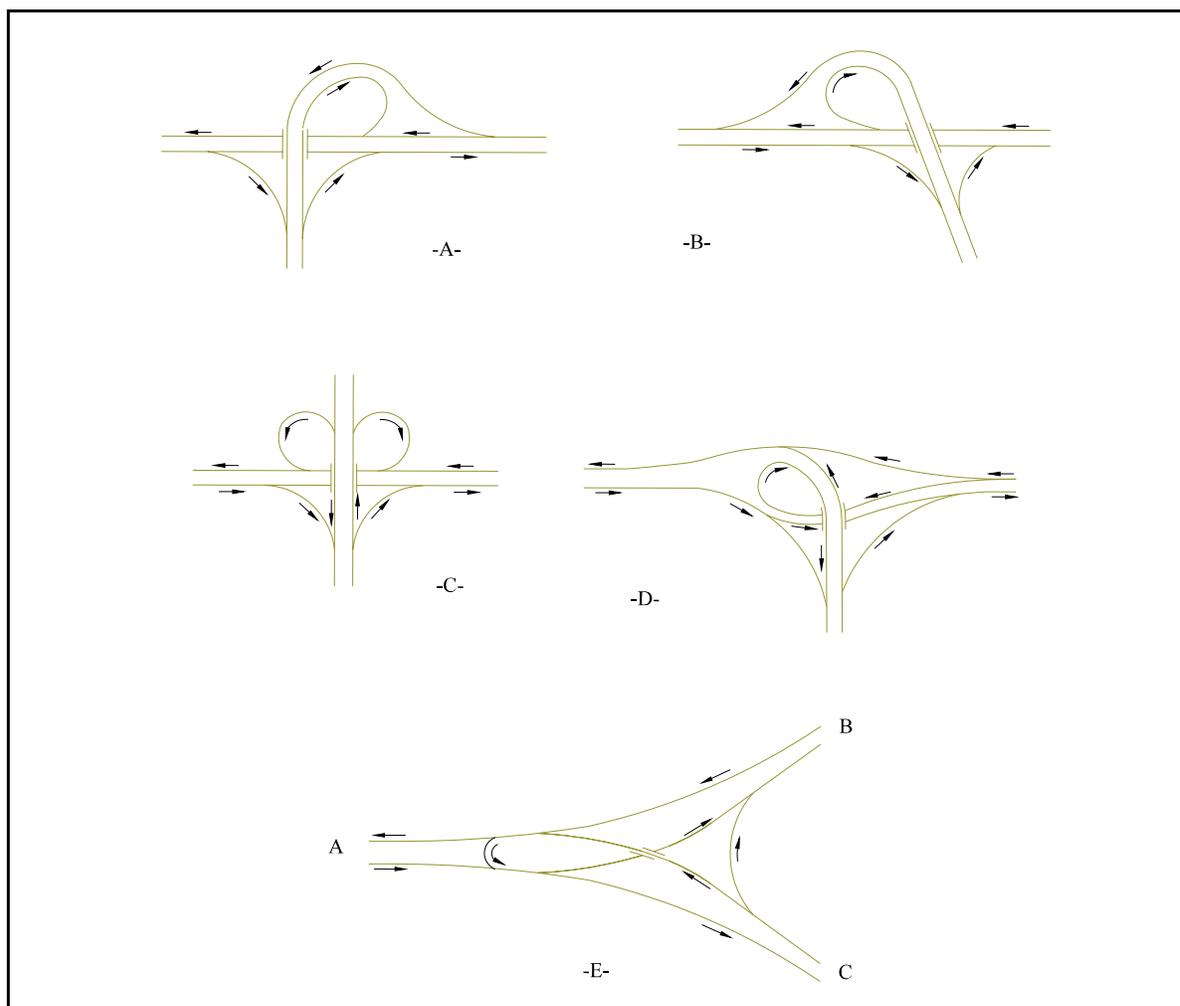


Gráfico 3-I-85 Intercambiadores de tres ramales

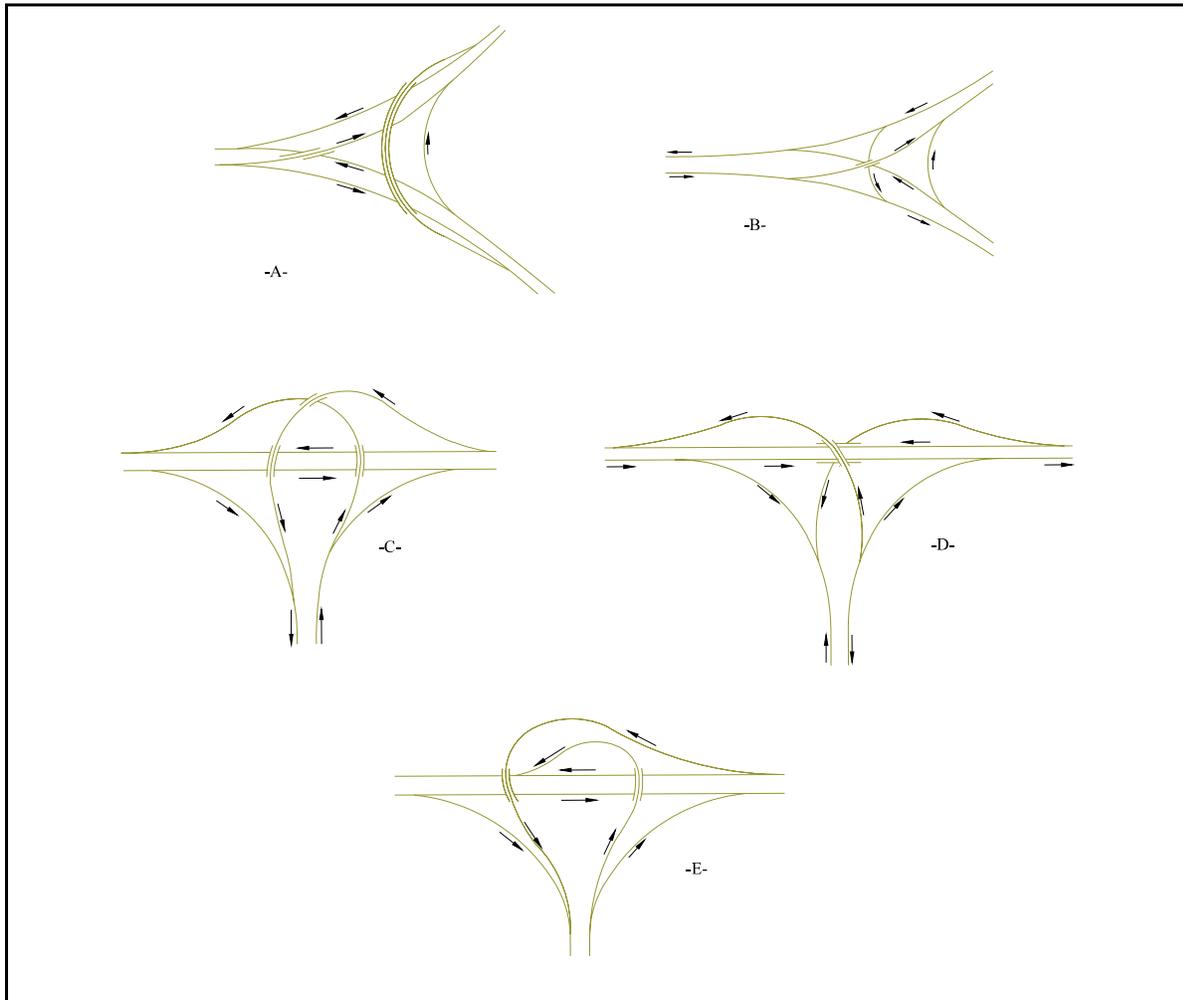


Gráfico 3-I-86 Intercambiadores de tres ramales con estructuras multiples

**Cruce Diamante:**

Como información adicional a la ya presentada al ver los distintos tipos de intercambiadores al comienzo de estos

apuntes, se incluyen esquemas de los tipos más frecuentes de intercambiadores tipo diamante, ya sea en zona rural o en zona urbana ver gráfico 3-I-87.

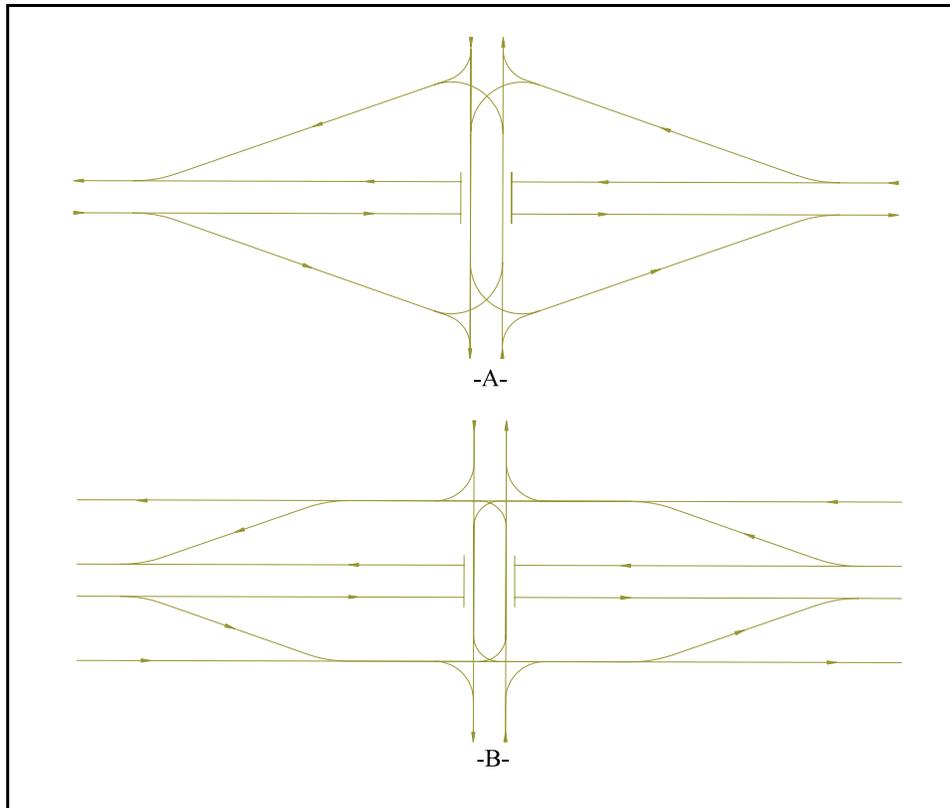


Gráfico 3-I-87 Intercambiadores tipo diamante - diseños típicos

El mayor impedimento que presenta un cruce tipo diamante, lo representan los giros a la izquierda en el cruce a nivel en la ruta de menor importancia; para disminuir estos conflictos es recomendable en primer lugar separar las conexiones de las ramas con las calzadas frontistas unos treinta y cinco metros del cruce como mínimo, para permitir un mejor ordenamiento de los vehículos

previo a los movimientos de giro. En algunos cruces es posible separar las calzadas de la ruta que cruza, de tal manera que se separen también los giros a la izquierda, reduciéndolos de dos a uno en cada intersección, de acuerdo al esquema que se muestra en el gráfico 3-I-88.

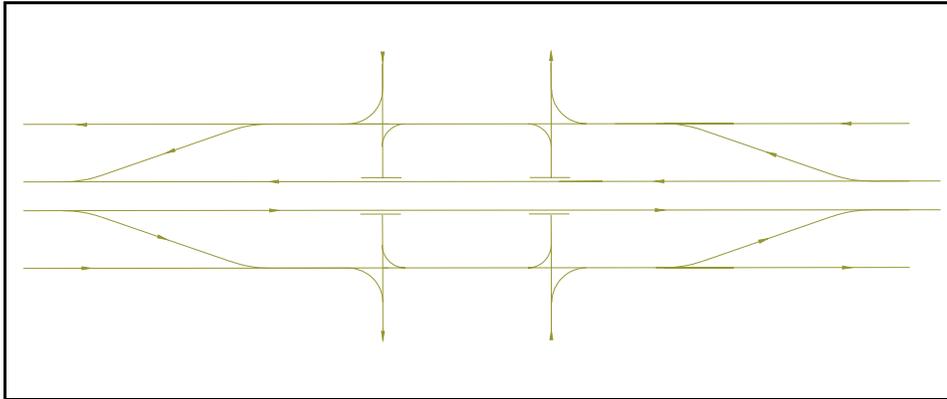


Gráfico 3-I-88 Diamante: diseño para reducir conflictos

### Barrera de seguridad tipo New Jersey en intercambiadores

La barrera de seguridad tipo New Jersey se utiliza fundamentalmente como separador central entre dos calzadas de distinto sentido de circulación, aunque también se la utiliza como baranda protectora en bordes de terraplenes de más de tres metros de altura. Entra dentro de la clasificación de barreras rígidas.

La necesidad de las barreras debe determinarse fundamentalmente por el ancho del separador central y por la intensidad del tránsito, así como su tipo.

La barrera de seguridad New Jersey cumple con los siguientes requisitos:

- a) Evita daños a personas fuera del vehículo
- b) Impide que los vehículos especialmente los livianos ingresen en áreas peligrosas.

- c) Desvía al vehículo que choca la barrera, obligándolo a adoptar una trayectoria sensiblemente paralela a la dirección de la barrera de seguridad.
- d) Hace que las fuerzas que inciden sobre los ocupantes del vehículo se mantengan dentro de límites tolerables.
- e) Minimiza el costo resultante de los daños.
- f) Resiste el impacto de un vehículo que choque con la barrera sin que el vehículo y la propia barrera se conviertan en una amenaza para el resto del tránsito. El mismo dispositivo actúa como barrera de protección contra un peligro potencial, por ejemplo un poste de señalamiento, pilares de puentes, etc.
- g) Otros requisitos como reducir el encandilamiento y reducir el nivel sonoro del tránsito, especialmente en

zonas urbanas.

h) Bajo costo de mantenimiento

El punto f) resulta uno de los más importantes, puesto que una barrera dañada es una amenaza y además de la economía que representa el no tener que repararla, ya que dicho costo es pequeño o nulo, presenta la gran ventaja de continuar permanentemente en servicio. La forma de actuar de la barrera New Jersey, cuya sección se muestra en el gráfico 3-I-89, sobre un vehículo es la siguiente:

**Cordón AB:** Es vertical, con altura comprendida entre 5 y 8 cm y es el primer elemento de reencauzamiento del vehículo. Este elemento es apenas suficiente para reconducir al vehículo a la calzada, para pequeños valores de la componente lateral de la velocidad, para un ángulo de impacto reducido. Además el rozamiento de las ruedas con este cordón desacelera el vehículo.

**Rama BC:** Esta rama tiene una inclinación de  $55^\circ$  y la altura varía entre 18 y 33 cm y tiene por misión absorber la energía cinética del vehículo por efecto de la deformación de su sistema de suspensión y de la elevación de su centro de gravedad.

**Murete CD:** Esta pared casi vertical ( $85^\circ$ ) actúa lateralmente sobre la rueda del vehículo, prácticamente sin posibilidades de ser sobrepasada. La inclinación máxima del vehículo se alcanza en ese momento, pero es contraria a la tendencia al vuelco debida a la acción de reencauzamiento del vehículo a la calzada.

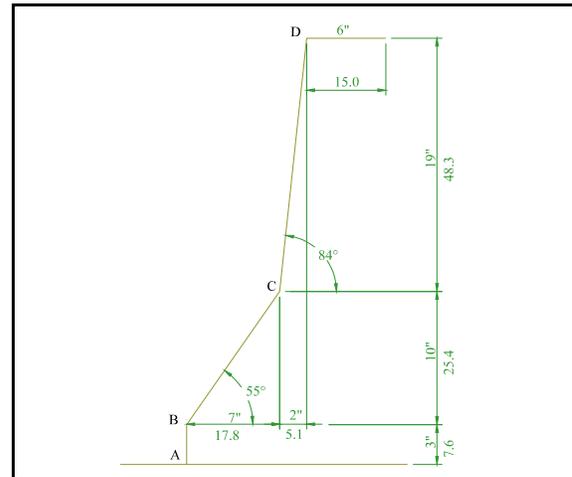


Gráfico 3-I-89

Esta inclinación evita, o por lo menos reduce los daños a la carrocería del vehículo, pues ésta sólo es afectada en casos en que el ángulo de impacto es superior a los  $10^\circ$ <sup>1</sup>. Esta es la diferencia fundamental entre este tipo de barrera y las que actúan lateralmente, pues la segunda actúa sobre los lados del vehículo, mientras que en el choque con barreras rígidas el daño es muy pequeño, al contrario de lo que ocurre con las barreras deformables.

Hay estudios que demuestran que las barreras de hormigón no actúan sobre la distribución del tránsito en el sentido de reducir el ancho efectivo de la calzada en el caso de haberse previsto banquetas internas de un ancho mínimo de 1 metro. La tendencia actual como consecuencia de la observación del comportamiento de las barreras de hormigón, es la construcción progresiva de este tipo de dispositivo de defensa.

<sup>1</sup> E.R. Nordlin, R.N. Field & R.P. Hachett, "Dynamic Tests of the California type 20 bridges barrier rail" HRR 343.

No hay prácticamente limitaciones para su uso, aún para velocidades algo superiores a 100 Km/h en el momento del impacto y ángulos de choque de hasta 30°. Como aproximadamente el 80% de las colisiones se produce con ángulos no superiores a los 15%, el uso de este tipo de barreras puede ser recomendado sin restricciones. Trabajos presentados por Edwin C. Lokken en el Workshop on Concrete Pavement (PCA Cembureau) en Lincolnwood en febrero de 1977, llevan a la conclusión de que el diseño más recomendable es el New Jersey, principalmente considerando el gran número de vehículos livianos que componen el tránsito.

Cabe hacer la observación que este modelo de barrera de defensa puede tener problemas de mantenimiento de la limpieza por acumulación de arena o polvo en zonas de mucho viento, o erosión eólica, así como problemas para evacuar los excedentes pluviales en zona de peraltes y anchas calzadas, por lo que se debe estudiar el desagüe y particularmente los

anchos anegados, para proveer los tragantes necesarios al pie de la barrera, o en algunos casos aberturas inferiores que permita el paso del agua para atravesar superficialmente la otra calzada.

También se recomienda la adopción del diseño sin ninguna modificación en sus dimensiones o ángulos, pues una pequeña modificación puede producir alteraciones imprevisibles en el comportamiento de la barrera. Estas deben ser continuas. Los extremos deben dotarse de transiciones y aberturas en ángulos que eliminen la posibilidad de choque frontal de vehículos con las partes expuestas al tránsito.

La necesidad de las barreras debe determinarse fundamentalmente por el ancho del separador central y por la intensidad del tránsito.

En el diseño de intercambiadores, se recomienda especialmente su uso como separador de calzadas en curva con distinto sentido de circulación.

## Apariencia de las Carreteras

### Generalidades

Los proyectos de carreteras están completamente ligados a aspectos técnicos, como el diseño geométrico, puentes, alcantarillas, costos y muchos otros elementos que finalmente definen la presencia de las carreteras. Aunque todos estos elementos de diseño son muy importantes para que una carretera cumpla eficazmente su función, también es importante considerar a la carretera dentro de un cuadro general que forma parte del paisaje global del lugar.

El diseño geométrico de una carretera es tridimensional, representada por la planimetría, altimetría y secciones transversales que ya se han mencionado en temas anteriores; para lograr una buena apariencia de la carretera es necesario considerar el diseño en su totalidad. Los criterios para un enfoque integral del proyecto son, el funcional cuyo objetivo es lograr una máxima utilidad y seguridad, el económico para obtener un costo mínimo y el estético para lograr un paisaje que sea lo más atractivo posible. Estos objetivos no siempre son compatibles, de tal manera que hay que buscar las combinaciones más convenientes para lograr el mejor escenario. La mayor dificultad es que los objetivos no son cuantificables, no hay método racional o función de valor que relacione estos objetivos de manera que pueda obtenerse una ecuación.

### Guiado Visual

Otra función importante de la apariencia del

camino es asegurar el guiado visual, hay que proporcionar imágenes que den a los conductores, tanto en el día como en la noche, una clara y correcta idea de las trayectorias a medida que circula por la carretera, permitiéndoles conducciones previsibles.

La orientación visual depende del alineamiento horizontal, vertical, transversal y de todos los elementos que constituyen el escenario de fondo, cuando este escenario queda oculto, deben recurrirse a otros elementos que permitan visualizar la trayectoria del camino tales como árboles, taludes, postes, etc.

Las reacciones que la apariencia visual causa en los conductores, son variables, cada conductor reflexiona de distinta manera, por lo tanto en este tipo de juicios, no hay verdades absolutas, sin embargo hay un consenso generalizado en la interpretación de lo que es la estética, la seguridad, la armonía, etc.

La imagen más importante que tiene el conductor frente a su vista, es la superficie del pavimento, que es la guía visual de la imagen en perspectiva, que tiene como punto de vista los ojos del conductor.

En el gráfico 3-I-90 se enseñan seis perspectivas que representan el panorama que tiene en su frente el conductor y que es la guía visual.

Estas perspectivas representan:

- (A) Carretera recta y perfil horizontal.
- (B) Carretera recta y perfil en ascenso.
- (C) Carretera recta y perfil en curva cóncava.
- (D) Carretera curva y perfil horizontal.
- (E) Carretera curva y perfil en curva convexa.
- (F) Carretera curva y perfil en curva cóncava.

La continuidad y forma escultural del alineamiento es de capital importancia,

porque la calzada es por lejos la más insistente imagen en la vista del conductor, y porque la trayectoria de un vehículo es en esencia una línea continua. La inercia de los vehículos impide cualquier cambio repentino o abrupto en la dirección horizontal o vertical.

Un alineamiento es visualmente continuo, cuando el ojo no puede notar los extremos de las curvas y rectas individuales. Un alineamiento ideal, sería una línea de curvatura continua, combinada con suaves y graduales cambios.

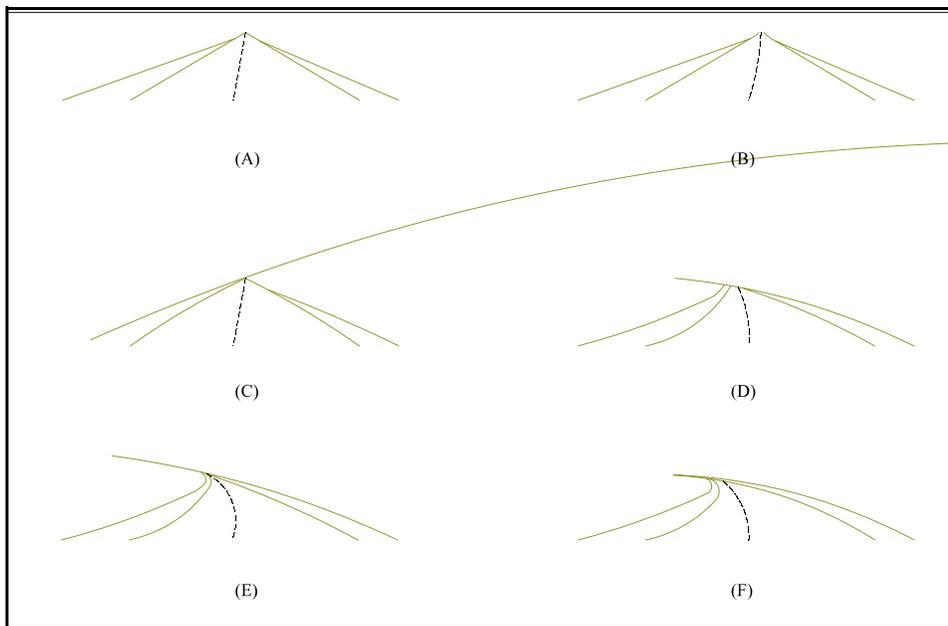


Gráfico 3-I-90

La tendencia en el diseño vial es adecuar el camino más estrechamente a los contornos naturales del terreno, sin embargo hay que hacer algunos ajustes geométricos para lograr una armonía de conjunto y que sea agradable a la vista de los usuarios de la carretera.

El gráfico 3-I-91 (a) muestra una carretera cuya geometría se adapta a la topografía del terreno; el gráfico 3-I-91 (b) es el mismo que el caso anterior, la diferencia es que en éste último la geometría ha sido ajustada para lograr una armonía y dar un buen aspecto.

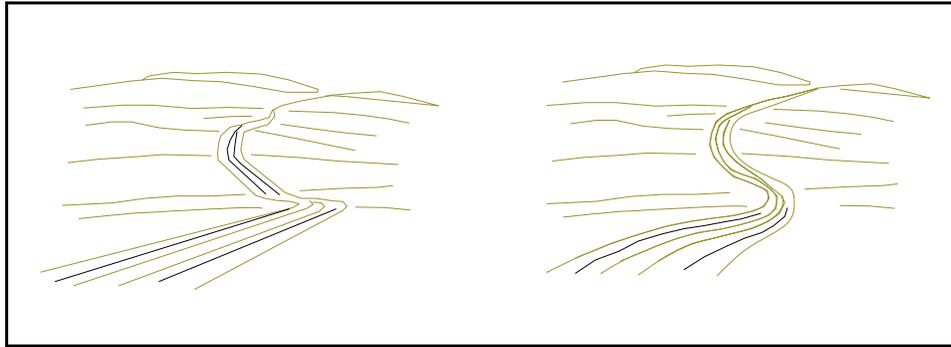


Gráfico 3-1-91 (a)

Gráfico 3-I-91 (b)

### Estética

Bajo un concepto estético, una carretera tiene que ser diseñada teniendo en consideración el paisaje regional. El diseño horizontal y vertical tiene que armonizar con el medio ambiente, siguiendo hasta donde sea posible, la ondulación natural del terreno. Sin embargo hay que tener en consideración que la visibilidad es un elemento importante que no puede pasar inadvertido.

La carretera debe ofrecer a los usuarios vistas agradables en las secciones laterales, hay muchos elementos que pueden ser usados como instrumentos decorativos para alegrar el paisaje; por ejemplo bosques, lagos, caídas de agua, vistas del mar, parques, puentes y otras.

La incorporación de esos elementos estéticos al diseño geométrico de la carretera, la convierten en vía útil y agradable de circular.

En las carreteras principales o autopistas que cuentan con mediana, ésta puede usarse como un elemento aportador de decoraciones, la incorporación de plantas, árboles, césped, flores y otros elementos, ayuda a que la

carretera sea atractiva y durante la noche, estos elementos sirven de antiencandilamiento, ya que los rayos luminosos de los faros de los vehículos que circulen en dirección opuesta, son detenidos por estos elementos.

Las carreteras, aún las de tránsito predominantemente comercial, no deben destruir ni mutilar la naturaleza, deben integrarse al paisaje, no puede diseñarse una carretera habiendo abstracción del paisaje de la región.

### Coordinación Planialtimétrica

El diseño horizontal y vertical no deben ser realizados independientemente, una buena coordinación ayuda en la apariencia de la carretera y además contribuye a la seguridad y la confortabilidad durante el viaje.

El procedimiento habitual de estudiar y proyectar independientemente la planimetría y la altimetría resulta en un alineamiento discontinuo.

La continuidad en planimetría y altimetría conducirán a la continuidad en las tres

dimensiones, solamente si los elementos horizontales y verticales están cuidadosamente coordinados; ellos se complementan y las combinaciones pobremente resueltas perjudicarán las bondades y agravarán las deficiencias de cada uno.

La falta de coordinación desmerece la calidad del proyecto a pesar de la consideración de altas normas de diseño para cada alineamiento.

Los alineamientos horizontal y vertical están entre los elementos del camino más importantes del proyecto por lo que se justifica un completo estudio. La excelencia en el proyecto de sus combinaciones aumenta la utilidad y seguridad, alienta la velocidad uniforme y mejora la apariencia, casi siempre sin mayor costo.

Es difícil tratar la coordinación planialtimétrica sin referencia al amplio tema del trazado; es poco menos que imposible la esmerada coordinación de los alineamientos en la etapa de proyecto si no se la ha tenido en cuenta durante el trazado. Los temas están mutuamente interrelacionados y lo que puede

ser dicho acerca de uno generalmente es aplicable al otro.

Se supone que la ubicación general ha sido fijada y que el problema restante, el específico proyecto y armonización de las líneas verticales y horizontales ha sido solucionado, de modo que el camino terminado sea una obra útil, segura, agradable y económica.

Las combinaciones más simples de elementos Horizontales y Verticales son las líneas bidimensionales representadas en perspectiva en los croquis del gráfico 3-1-92.

Dar a una recta una suave curvatura ya sea vertical u horizontal es una de las más fáciles formas de mejorar la apariencia.

Una curva horizontal sobrepuesta a una pendiente uniforme resulta en una curva tridimensional llamada hélice.

Cuando una curva horizontal se sobrepone a una curva vertical, el resultado puede ser una curva tridimensional distorsionada o una curva bidimensional en un plano inclinado, la elipse. Esta se obtiene cuando se superpone una curva vertical (parábola) sobre una curva horizontal circular de igual longitud.

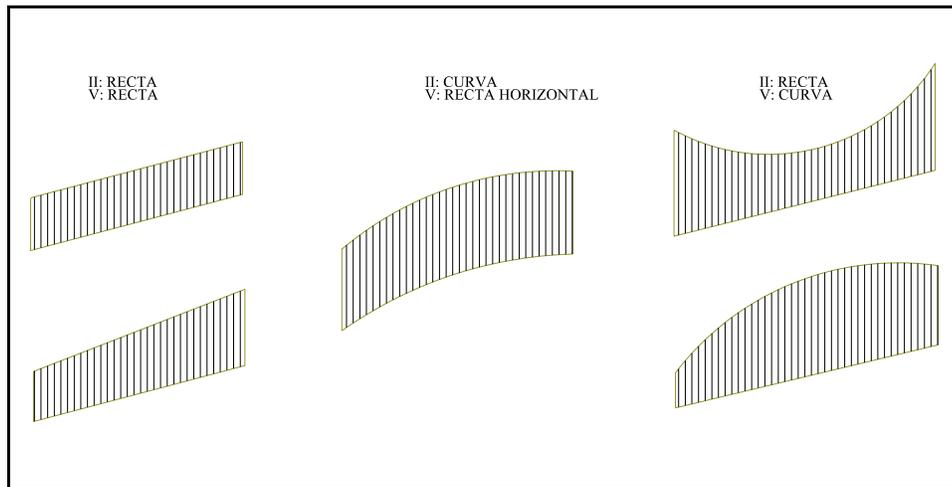


Gráfico 3-I-92

Matemáticamente la hélice es una línea con una pendiente uniforme envuelta alrededor de un cilindro, y la elipse es la intersección de un cilindro con un plano inclinado; en este caso la sección normal del cilindro puede ser sin error apreciable una curva circular con transiciones espirales.

Las imágenes esculturales de la hélice y de la elipse inclinada pueden ayudar a superar la dificultad en visualizar al camino en las tres dimensiones en la etapa de proyecto (Gráfico

3-I-93).

La hélice y la elipse inclinada pueden volverse los dos bloques básicos para proyectar un alineamiento continuo y escultural, como contraste con el tradicional proyecto donde los largos y cortos elementos verticales y horizontales se sobrepone al azar. Naturalmente, las curvas bidimensionales de las combinaciones más simples pueden ser agregadas a la hélice y a la elipse inclinada cuando las condiciones lo requieran.

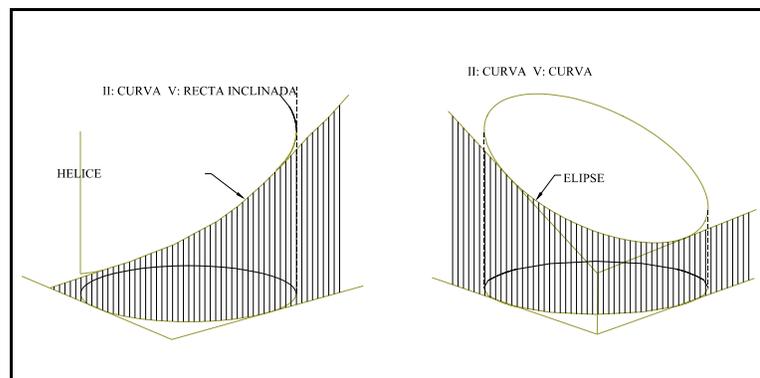


Gráfico 3-I-93

La forma en que el ojo del conductor percibe la imagen del camino puede originar aparentes deformaciones que se deben principalmente a que la visión no es instantánea y a que está formada por una sucesión de imágenes que no se crean en un plano de percepción único, sino en una serie de planos perpendiculares a los ejes momentáneos de la visión. En los cuatro croquis del gráfico 3-I-94, se muestran elocuentemente algunas deformaciones visuales.

Para el análisis de las deformaciones ópticas conviene avanzar desde las combinaciones

simples a las más complejas. El estudio de las perspectivas de un alineamiento horizontal recto combinado con un cambio de pendientes (Gráfico 3-I-95) permite enunciar la siguiente regla:

Un alineamiento horizontal recto combinado con un cambio de pendientes, aparece a los ojos del conductor como desviado hacia el lado opuesto o hacia el mismo lado de la prolongación rectilínea horizontal del punto de observación, según que el cambio de pendiente sea una concavidad o una convexidad.

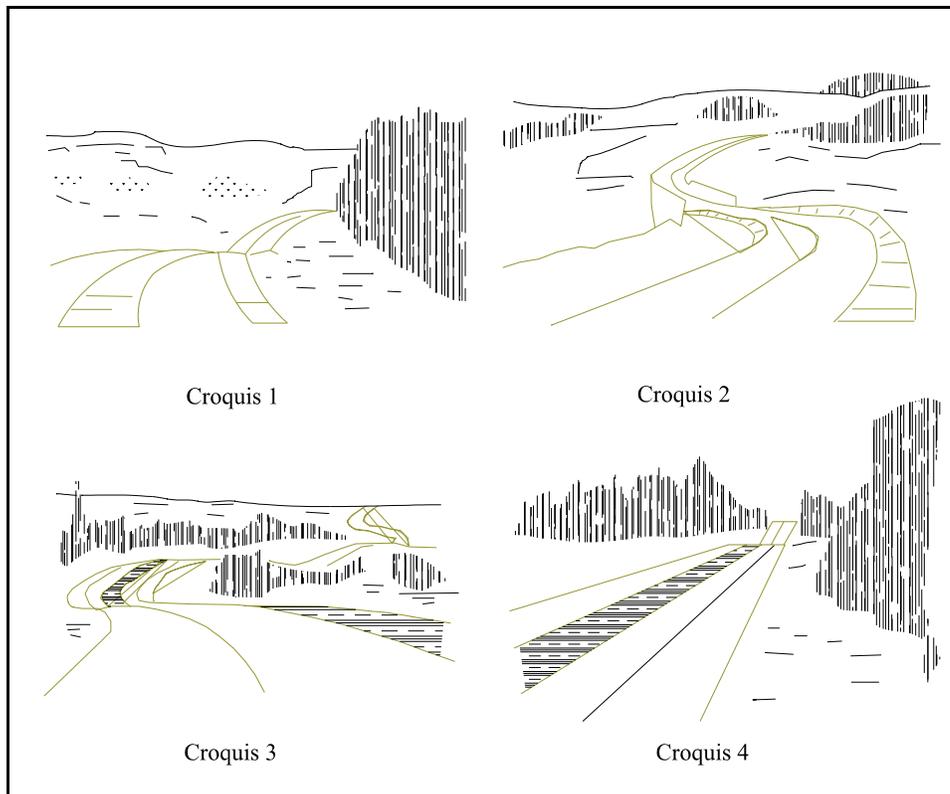


Gráfico 3-I-94

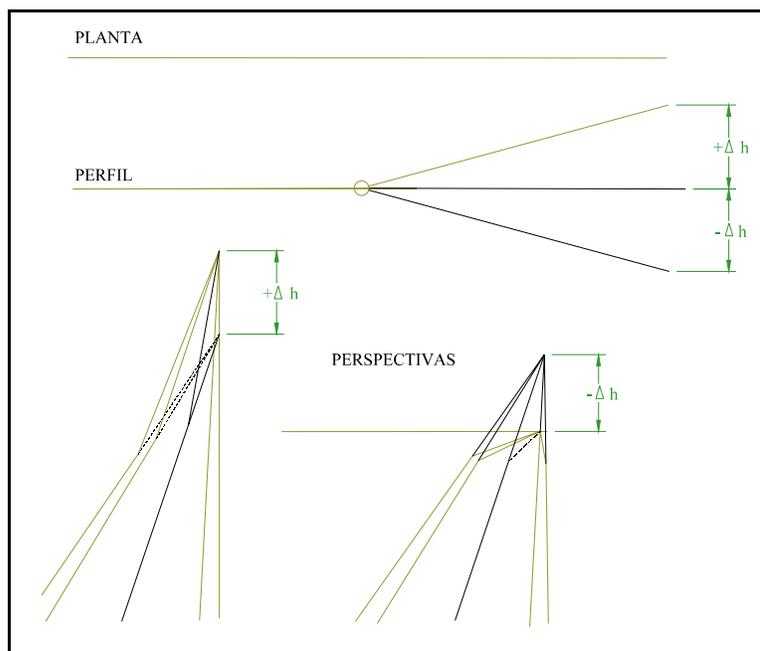


Gráfico 3-I-95

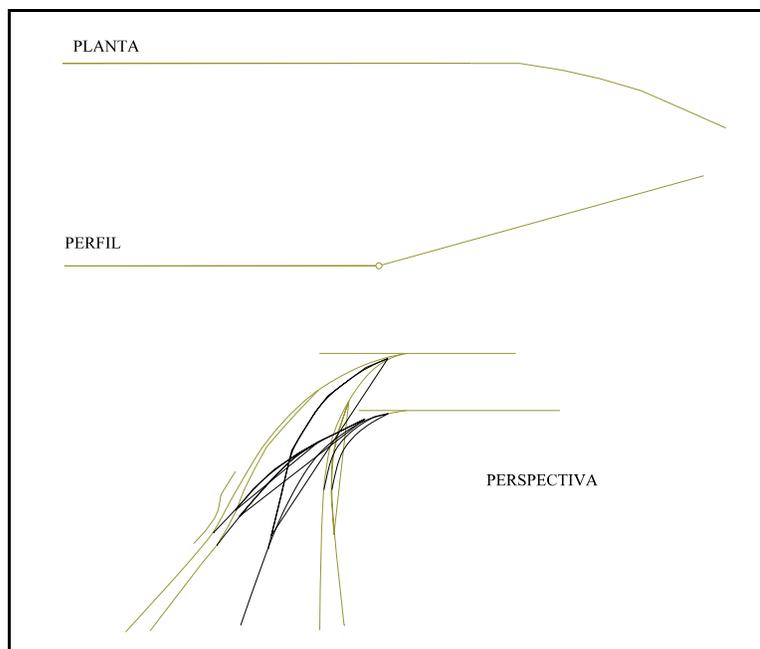


Gráfico 3-I-96

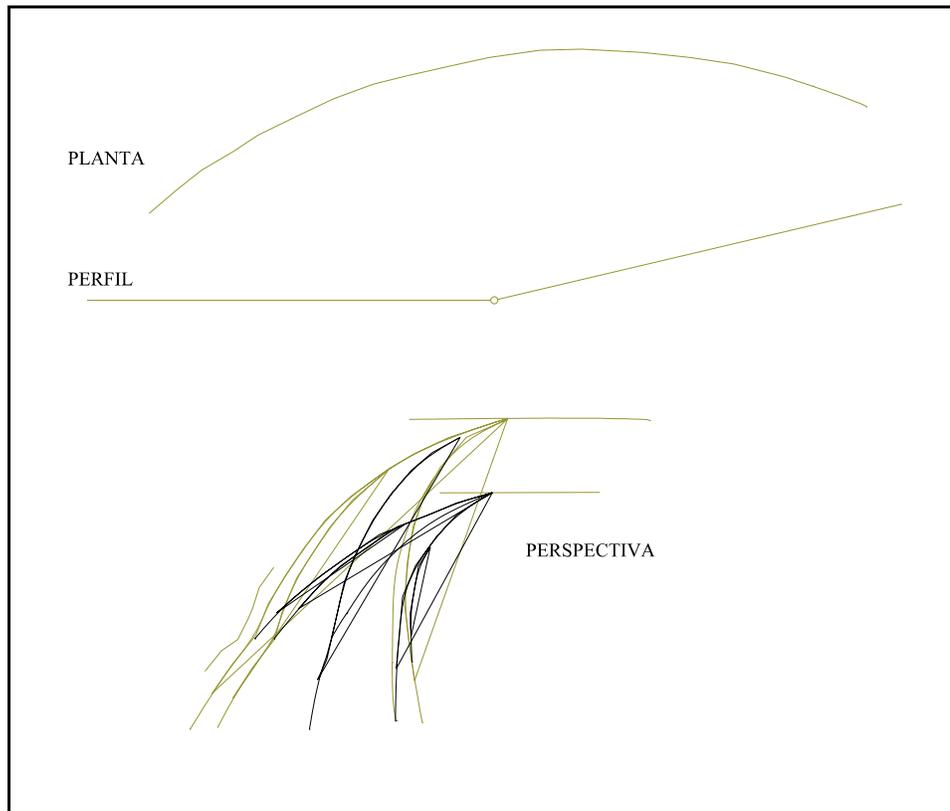


Gráfico 3-I-97

Suponiendo ahora una curva horizontal a la derecha y una concavidad (Gráfico 3-I-96). En perspectiva la concavidad desvía el borde izquierdo hacia la izquierda, mientras que la curva horizontal lo desvía hacia la derecha, resultando en definitiva una aparente curva reversa con un punto de inflexión que parece un hundimiento local de la calzada. Esta deformación es más pronunciada cuando la concavidad está dentro de la curva circular (Gráfico 3-I-97).

En estos dos casos, el borde lateral derecho aparenta ser una línea continua. Para los conductores que vengan en sentido contrario la curva en planta es una curva hacia la

izquierda. Para ellos el borde lateral que en el otro sentido ofrecía el aspecto de una línea de curvatura continua, también se les presenta con ese aspecto.

Las combinaciones que provocan distorsiones son entonces:

- ⊖ Curva a la derecha + concavidad
- ⊖ Curva a la izquierda + convexidad

En el gráfico 3-I-98 se muestra el caso de una rasante que oculta una parte del camino. Según la parte oculta, la planimetría sea recta o curvada hacia la izquierda o la derecha, las perspectivas serán como las mostradas.

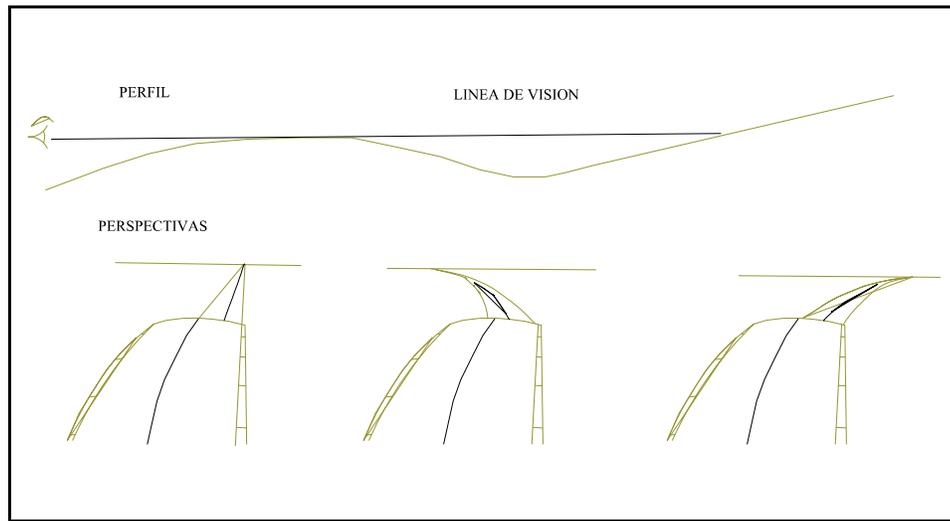


Gráfico 3-I-98

### Recomendaciones relativas a las condiciones planimétricas

- A)** Entre los puntos mas o menos obligados por los que debe pasar el trazado, el alineamiento deber ser el mas directo posible, dentro de las condiciones topográficas del terreno. No obstante, en general es preferible, desde el punto de vista estético y económico, un trazado que a grandes rasgos se adapte a los contornos naturales del terreno, que otro con largas rectas que lo corten de cualquier modo.
- B)** El uso de los valores mínimos absolutos de los diversos elementos del diseño geométrico, tales como radios de curva, distancias de visibilidad, etc., debe restringirse a los casos de estricta necesidad, debiendo en lo posible adoptarse sus valores deseables.
- C)** En lo posible deberá utilizarse curvas de gran desarrollo y amplios radios, con ángulos al centro tan pequeños como la topografía del terreno lo permita.
- D)** Las curvas circulares se enlazarán con los alineamientos rectos mediante transiciones de longitud suficiente como para que sean visualmente apreciables. Desde este punto de vista, y sin perjuicio de las consideraciones de orden dinámico, deberán tener como mínimo una longitud del orden de la décima parte del radio. No obstante para suavizar visualmente el enlace de un arco circular con un alineamiento recto de gran longitud, es aconsejable que la transición tenga una longitud mayor aún que la recomendada precedentemente.
- E)** En lo posible no deberán proyectarse rectas excesivamente largas, ya que

además de cansar la atención del conductor, producirle somnolencia, y hacer disminuir la rapidez de sus reflejos, son causa concurrente de noche, a su encandilamiento por la luz de los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario. Además si el camino se desarrollara en terreno ondulado, desde el punto de vista estético, la sucesión de curvas verticales a lo largo del alineamiento recto, ofrecería un pobre aspecto visual.

Si bien no pueden darse reglas de carácter general par fijar las longitudes máximas de dichos alineamientos, podrían ser del orden de 10 kilómetros en llanura, y substancialmente menores en zonas onduladas y montañosas.

- F)** En lo posible debe evitarse introducir una curva de radio mínimo a continuación de una alineación recta de gran longitud, o de otra curva de gran radio.
- G)** En correspondencia con un terraplén largo y alto, no deberá introducirse una curva de radio mínimo, ya que en general la ausencia de elementos de guiado visual natural, tales como árboles, taludes de desmontes, etc., constituirá un peligro para el tránsito, al impedir al conductor darse cuenta cabal de su curvatura y ajustar, consecuentemente sus maniobras. Para evitar esto, además de adoptar curvas de amplios radios, deberá preverse la colocación de barandas o barreras de seguridad, que, además

del factor de seguridad que introducen, constituyen una guía visual para el conductor.

- H)** La distancia entre el fin de curva y principio de contracurva, debe ser suficientemente larga como para acomodar las longitudes de transiciones. En el caso que la distancia entre transiciones es muy corta, es preferible extender la longitud de las transiciones para evitar pequeños segmentos rectos; desde el punto de vista dinámico, el conductor pasaría de una transición a otra sin cambiar el sentido de rotación del volante. Desde el punto de vista estético tampoco cabrían objeciones, ya que los bordes de ambas transiciones no presentarían quiebres en el punto de unión.
- I)** No deben introducirse alineamientos rectos de reducida longitud entre dos curvas horizontales de la misma dirección. Además del pobre aspecto estético que ofrece tal trazado, suele ser fuente de desorientación para los conductores, lo que origina un peligro para el tránsito, en estos casos es preferible el uso de curvas circulares compuestas.
- J)** Desde el punto de vista estético, deberá evitarse en lo posible cortar un bosque con un trazado recto, en cambio ofrece un aspecto agradable y natural entrar en él con una curva horizontal.

**Recomendaciones relativas a las condiciones altimétricas**

- A)** Es preferible una rasante con tramos de longitud apreciable de pendientes suaves y con diferencias poco pronunciadas, que otra que acuse numerosos quiebres de reducida longitud y grandes diferencias de pendiente.
- B)** Si bien se ha dicho que el alineamiento de una carretera debe conformarse a la topografía del terreno, una adaptación de la rasante excesivamente ceñida, traerá como consecuencia una sucesión de curvas verticales de parámetros mínimos, que impediría la visualización de longitudes apreciables de calzada delante del vehículo, que no es conveniente. Además de ser antiestéticas, en carreteras de doble sentido, constituyen un peligro para los vehículos que tratan de rebasar.
- C)** En lo posible, por razones de seguridad y estética, deberán utilizarse curvas verticales amplias, de grandes parámetros en lugar de circunscribirse a los valores mínimos absolutos, los que sólo deberán aplicarse en los casos insispensables.
- D)** En carreteras de doble sentido, la rasante, además de ofrecer en todos sus puntos las distancias de visibilidad de detención, deberá permitir el rebaso de los vehículos en la mayor parte posible de su longitud.
- muchas veces longitudes ininterrumpidas para rebasar, utilizando curvas verticales con parámetros de gran magnitud.
- E)** En general deberá evitarse introducir una curva vertical convexa del parámetro mínimo, a continuación de una rasante descendente de pendiente uniforme y longitud apreciable, especialmente si en planimetría el alineamiento es recto.
- F)** Desde el punto de vista estético, en lo posible deberá evitarse proyectar dos curvas verticales con curvaturas del mismo sentido (cóncavas o convexas), separadas por una sección dependiente uniforme de longitud reducida, especialmente para el caso de curvas cóncavas. En lo posible deberán reemplazarse por una sola o por una curva vertical compuesta de gran longitud.
- G)** Hay que evitar diseñar intersecciones a nivel en una rasante que tenga una pendiente muy pronunciada, por la visibilidad, y por lo tanto por la seguridad, es preferible que las intersecciones a nivel, esten ubicadas en sectores planos.
- H)** Desde el punto de vista estético y económico, en general es conveniente que en zonas onduladas o montañosas, las rasantes de dos calzadas separadas de una carretera de cuatro carriles, se diseñan independientemente y en distintos niveles.

En zonas llanas pueden lograrse

**Recomendaciones relativas a las condiciones planialtimétricas.**

- A) Es preferible evitar la obtención de largos alineamientos rectos o curvas muy amplias a expensas de pendientes de gran longitud con pronunciada pendiente.
- B) Debe evitarse, obtener pendientes muy suaves a expensas de introducir curvas horizontales muy cerradas de reducidos radios.
- C) En lo posible no deberá introducirse una curva horizontal de radio mínimo o cercano al mínimo, muy próxima al pie de una pendiente fuerte de longitud apreciable, especialmente cuando el tránsito esté compuesto por una alta proporción de camiones.
- D) En un alineamiento recto, la sucesión de curvas verticales cóncavas y convexas debe evitarse, ya que ofrece un pobre aspecto visual.
- E) Desde el punto de vista estético, en lo posible debe evitarse la superposición de una sola curva horizontal con más de una curva vertical.
- F) Desde el punto de vista estético ofrece una apariencia muy agradable la superposición de curvas horizontales con verticales convexas o cóncavas; en cambio, un gran defasamiento entre ambas proporciona al camino, un aspecto distorcionado y poco atractivo.

Además para carreteras con tránsito

en ambos sentidos, es muy importante lograr esa superposición, sobre todo para el caso de curvas horizontales y verticales que no ofrezcan la posibilidad de rebasar, ya que un alineamiento recto entre curvas sucesivas en horizontal, que permita dicha maniobra, coincidirá con una rasante de pendiente uniforme que no ofrecerá tampoco obstáculos visuales para efectuarla.

En cambio, si un trazado incluye un alineamiento recto de longitud suficiente como para permitir rebasar, dicha ventaja se pierde si en correspondencia con aquél, en altimetría, existe por ejemplo, una curva convexa que no permita realizar la citada maniobra.

Viceversa, una rasante de pendiente uniforme de longitud mayor que la distancia de para rebasar, pierde esta ventaja si correspondientemente en planimetría, una curva horizontal no ofrece la visibilidad necesaria para ejecutar aquella maniobra.

De lo precedentemente expuesto, surge la gran ventaja de lograr dicha superposición, ventaja que subsiste aún en el caso de que tanto las curvas horizontales como verticales, permitan el rebaso.

Cuando una curva horizontal de radio reducido se encuentre superpuesta con una curva vertical convexa de pequeño parámetro, es conveniente que la curva horizontal supere en algo a la longitud de la curva vertical, con

el objeto de que el conductor pueda apreciar el cambio de dirección desde una distancia razonable, sin que quede oculto por la curva vertical.

Esta precaución no es necesaria cuando la curva horizontal esté indicada por elementos de guiado visual, tales como taludes de desmote, grupos de árboles etc. o cuando el radio de la curva horizontal exceda apreciablemente el mínimo correspondiente a la velocidad del proyecto. En estos casos es conveniente que la curva vertical, comience y finalice aproximadamente en el punto medio de las transiciones.

- G)** También puede proyectarse una rasante de pendiente uniforme, en correspondencia con curva horizontal, ya que esta combinación, no ofrece ninguna proyección de carácter técnico y estético.

- H)** De no ser posible proyectar las intersecciones a nivel en alineamientos rectos de rasante horizontal, se tratará que correspondan a curvas horizontales de muy grandes radios y reducidas pendientes longitudinales.

- I)** En el caso de proyectarse un camino de calzadas divididas por una mediana, con rasantes de diferentes niveles, se tratará de que en lo posible, tanto los cambios de ancho de la mediana, como las variaciones relativas de nivel entre ambas calzadas, se produzcan en correspondencia con una curva horizontal coordinada con una vertical. En cambio, en los alineamientos rectos, es preferible que se mantenga constante el ancho de la mediana y la diferencia de niveles entre ambas calzadas.

### Bibliografía

- Manual para diseño geométrico basado en las especificaciones centroamericanas. Dirección General de Caminos, Honduras, Centro América. 1962.
- Highway Design Manual - California Department of Transportation. Fourth Edition (Manual actualizado en el año 1995.).
- Programa de entrenamiento a las Direcciones de Estudios y Planificación. Revisión de las normas de Diseño geométrico de carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. República de Ecuador, Consultores Consorcio Berger - Protecvia. 1990.
- Manual de Carreteras - Volumen 3. Instrucciones de diseño. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad de la República de Chile. 1981.
- Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales. Por el Ingeniero Federico G.O. Rühle. Dirección Nacional de Vialidad. República Argentina. 1967.
- Norma de Diseño Geométrico de Carreteras tomos I y II. Consultores Cadia, Coara, Leiderman. Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina. 1980.
- Instrucciones Generales para Estudios y Proyectos de Caminos. Dirección Nacional de Vialidad. República Argentina. 1991.
- Trazado y Diseño Geométrico de Caminos Rurales. Ingeniero Francisco J. Sierra. Escuela de graduados, Ingeniería de Caminos. Universidad Nacional de Buenos Aires - Facultad de Ingeniería. 1993.
- Estudio de Caminos Vecinales - Manual de Diseño. Consorcio Isratecvia. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones - República de Ecuador. 1979.
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation officials. 1994.
- Transition Curves for Highways. Federal Works Agency. Public Road Administration. Joseph Barnett.
- New Jersey Department of Transportation Design Manual. 1984.
- Route Location and Design. Thomas F. Hickerson. 1967.
- Improvement Standards. Department of Public Works, Clark County. Nevada. 1990.
- A Policy on Design Standards- Interstate System AASHTO - Task Force on Geometric Design. 1991.
- Design Guidelines - Volume 1 Design Supervision of Rural Roads Department of Highways - Kingdom of Thailand. Louis Berger International, Inc. 1980.
- Carreteras-Ferrocarriles-Canales Manual de Proyectos Instituto Peruano de Investigación y Desarrollo de Transportes y Comunicaciones.
- A Review of Highway. Design Practices in

Developing Countries - Frederick W. Crom.  
The World Bank. 1975.

- Manual de Caminos Vecinales  
René Etcharren Gutiérrez  
Asociación Mexicana de Caminos, AC.

- Normas Peruanas para el Diseño de  
Carreteras. Ministerio de Transportes y  
Comunicaciones. Dirección de  
Infraestructura Vial. 1970.

- Trazado y Diseño Geométrico de Vías -  
Costa Rica. Miguel Dobles Umaña.



## CAPÍTULO II

# TRÁNSITO

### Sección 1: Aspectos Generales

#### 1.1 Objetivos y alcances

El objetivo de este Manual es definir los aspectos de tránsito para ser considerados durante los estudios de mejoramiento de carreteras para varios tipos de caminos y niveles de estudio.

##### 1.1.1 Propósito del Manual

Este Manual, para estudios de tránsito, ha sido preparado para que pueda ser usado por ingenieros, economistas y otros profesionales de :

- Dirección General de Carreteras (DGC)
- Dirección General de Conservación de Carreteras y Aeropuertos (DGCCA)
- Consultores que presten sus servicios profesionales a la DGC y DGCCA.
- Contratistas o consultores que presten su servicios profesionales a la DGC y DGCCA y cuyas actividades están relacionadas con las siguientes disciplinas:

- Planificación general
- Reconocimiento
- Trazado
- Diseño
- Normas de señalización
- Normas de tránsito

#### 1.1.2 Alcance de los estudios de tránsito

Las instrucciones proporcionadas en este Manual tienen por intención proveer bases sistemáticas y consistentes para organizar y conducir estudios de tránsito en:

- Determinación de la demanda de tránsito, en los niveles existentes de las carreteras.
- Pronóstico de la futura demanda de tránsito.
- Apreciación de la capacidad y nivel de servicio del equipamiento existente en las carreteras para la demanda de tránsito existente.
- Determinación de tipos y dimensiones necesarias del equipamiento o servicio de la carretera para acomodar las mejoras planeadas.
- Apreciación de la capacidad y nivel de servicio esperado para el mejoramiento de las carreteras.

##### 1.1.3 Propósito de los estudios de tránsito

Los estudios de tránsito permiten conocer la demanda actual de los usuarios y pronosticar la futura. Los propósitos de los estudios de tránsito incluyen:

- Determinación del tránsito existente y proyectado en las carreteras, clasificado de acuerdo al tipo de vehículo, para utilizarlo en

la evaluación de los mejoramientos en el diseño y como dato de entrada para la determinación de los beneficios económicos del proyecto.

- Apreciación del rendimiento del servicio de tránsito existente y futuro para las carreteras presentes y propuestas.
- Evaluación del rendimiento operacional de tránsito en el concepto del diseño geométrico y standard propuesto para el mejoramiento de caminos.
- Proporcionar datos de tránsito como información para el diseño de ingeniería de la estructura de pavimentos.

#### **1.1.4 Usos de los resultados de estudios de tránsito**

La utilización de los volúmenes de tránsito estimados y proyectados incluye:

- (1) Diseño de carreteras, determinación de los requerimientos para el diseño de componentes de la carretera que incluyan el número y ancho de carriles y otros elementos geométricos de diseño.
- (2) Diseño de espesor de pavimentos.
- (3) Análisis de factibilidad económica.

#### **1.1.5 Alcance de los tipos de mejoramiento de carreteras**

Que todos los aspectos de tránsito estén cubiertos. Los principios enumerados y los métodos para la recolección de datos y análisis son los mismos si el estudio está relacionado con:

- La construcción de una carretera nueva en un área donde en el presente no hay ninguna

ó

- Una modernización o mejoramiento de una carretera existente.

#### **1.1.6 Clasificación de las carreteras**

De la misma manera, el Manual puede ser usado en cualquiera de las clasificaciones o categorías de carreteras que son:

- Carreteras especiales (autopistas)
- Carreteras principales
- Carreteras secundarias
- Caminos vecinales
- Caminos de acceso o penetración

El Manual puede ser también utilizado para otro tipo de carreteras, cuya administración y control dependan de otras organizaciones. De la misma manera, los principios y métodos son los mismos para:

- Planificación general,
- Reconocimiento,
- Trazado,
- Diseño.

La única diferencia se da en:

- Nivel de investigación,
- Cantidad y precisión de los datos recolectados,
- Nivel de estimación aceptable para evaluaciones en los standars de seguridad requeridos por los términos de referencia del estudio.

Donde es posible, la diferencia de niveles de investigación y análisis han sido indicados.

#### **1.1.7 Todos los aspectos de la recopilación de datos de tránsito y análisis necesarios**

**para completar una evaluación confiable, están cubiertos en este Manual en varios grados de detalle.**

Se ha considerado que no es necesario describir y definir los principios básicos de ingeniería, estadística, economía, etcétera.

Los usuarios del Manual ya están familiarizados con esos principios básicos.

Lo que este Manual detalla es cómo los principios básicos pueden ser usados y adaptados de la mejor manera en dirección del estudio de proyectos viales.

*Este manual no es un texto de estudio, ni tampoco pretende sustituir a la experiencia y al buen criterio profesional que debe ser parte del arte de la ingeniería. Sin embargo, se espera que sea un elemento básico catalizador de criterios y normalizador fundamental de la práctica de ingeniería vial.*

## 1.2 Definiciones

El tránsito es definido como el movimiento de vehículos, peatones y animales que circulen por una carretera.

Un vehículo es definido como un objeto que puede transportarse a lo largo de una carretera y que puede ser motorizado o no motorizado. Un vehículo motorizado es accionado por dispositivos mecánicos que operen dentro de los vehículos. Un vehículo no motorizado es accionado por humanos o por animales.

## 1.3 Composición del Manual

El Manual de tránsito está compuesto de

nueve secciones, a saber:

**Sección 1:** Introducción, define el alcance del Manual e incluye un sumario de cada sección para tener una fácil referencia.

**Sección 2:** Define el desarrollo del mejoramiento de una carretera para varios tipos de proyectos de mejoramiento realizados por etapas (niveles de estudio) a fin de proveer una base que establezca la información de los tipos de tránsito y pronósticos para ser desarrollados, nivel de estudio y la precisión requerida para cada tipo de proyecto.

**Sección 3:** Esta sección describe las diferentes mediciones del volumen de tránsito que se necesitan para los estudios, y usarlos en el diseño geométrico y de pavimento, y para una evaluación económica de los proyectos de carreteras.

**Sección 4:** Se explican los varios tipos de vehículos que son considerados para el diseño geométrico, pavimentos y evaluación del proyecto.

**Sección 5:** Aquí se presentan las bases para determinar y evaluar la capacidad vial.

**Sección 6:** Esta sección describe el diseño global, alcance y métodos para los estudios de pronóstico de tránsito que incluyen:

- Un método apropiado de análisis de los datos recolectados en el pasado y encuestas de tránsito presente en las carreteras.

- La proyección del crecimiento futuro del tránsito es muy variable en lo que respecta al crecimiento normal del número de pasajeros

y transporte de carga.

- Se detallarán métodos de apreciación del tránsito generado.

- Tránsito desviado que incluye desvíos de otros nodos.

- Se hacen referencias de técnicas usadas en el tránsito urbano y la red normal de carreteras.

**Sección 7:** Se incluyen instrucciones para el programa de la recopilación de datos de tránsito para cada tipo de proyecto y nivel de estudio, incluyendo una descripción de varios tipos de encuestas de tránsito.

**Sección 8:** Se incluyen instrucciones para tipos de encuestas de tránsito específicas.

#### 1.4 Futura actualización del Manual

Su presentación está hecha de forma tal que permitirá su fácil actualización o ampliación de materias cuando las circunstancias así lo ameriten.

#### Referencias

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>B/C</b>	Relación Beneficio Costo
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>BIRF</b>	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
<b>COV</b>	Costos de Operación de Vehículos
<b>DGC</b>	Dirección General de Carreteras

<b>DGCCA</b>	Dirección General de Conservación de Carreteras y Aeropuertos
<b>DGT</b>	Dirección General de Transporte
<b>FHWA</b>	Federal Highway Administration (EEUU)
<b>HDM</b>	World Bank's Highway Design Model
<b>IRI</b>	International Roughness Index
<b>O/D</b>	Origen/Destino
<b>SECOPT</b>	Secretaría de Comunicaciones, Obras Públicas y Transporte
<b>TIRE</b>	Tasa Interna de Retorno Económico
<b>TPD</b>	Tránsito Promedio Diario
<b>TPDA</b>	Tránsito Promedio Diario Anual
<b>U.E. BID</b>	Unidad Ejecutora BID de la SECOPT
<b>UPV</b>	Unidad de Planificación Vial de la SECOPT
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto
<b>VHD</b>	Volumen Horario de Diseño

#### 2. Clasificación de Carreteras

Fuente: Ley de Vías de Comunicación Terrestre, Decreto No. 173 del 20 de mayo de 1959.

Carreteras Especiales son aquellas que tienen acceso parcial o enteramente controlado, con importancia especial para el país y un tráfico que justifica su construcción con las características de amplitud que requieren ésta clase de rutas.

Carreteras Principales o Troncales (P) son las carreteras que forman la estructura vital de

las redes viales de los países Centroamericanos o de la República y además aquellas que sin ser esenciales para la articulación general de la red de carreteras, unen puntos de gran importancia o tienen un volumen de tránsito cuya intensidad lo justifique.

Carreteras Secundarias (S), las que comunican a los pueblos entre sí, sin tener importancia el tránsito muy intenso.

Caminos Vecinales (V) son aquellos que comunican pequeños pueblos o fincas entre sí, o con otros caminos de cualquier clase de tránsito reducido.

Vías de Acceso o de Penetración son las rutas transitables temporalmente por falta de Carreteras Principales, Secundarias o Caminos Vecinales que son utilizados debido a la necesidad de comunicación.

### 3. Características del Volumen de Tránsito

AADT (TPDA) Annual Average Daily Traffic (Tránsito, Promedio Diario Anual), el volumen total anual de tránsito, dividido entre el número de días del año.

MADT (TPDM) Monthly Average Daily Traffic (Tránsito Promedio Diario Mensual), el volumen total mensual de tránsito, dividido entre los números de días del mes.

WADT (TPDS) Weekly Average Daily Traffic (Tránsito Promedio Diario Semanal), el volumen total semanal de tránsito dividido entre los números de días de la semana.

ADT (TPD) Average Daily Traffic (Tránsito promedio Diario) el volumen total de tránsito

dentro de un período determinado (mayor que un día) dividido entre el número de días de ese período.

DHV Desig Hourly Volume, la proporción del volumen de tránsito de 24 horas, que ocurre durante la hora de diseño para un lugar o área determinada.

DDHV Directional Design Hour Volume, el volumen de tránsito para la hora de diseño pico en la dirección del flujo de tránsito.

K- Factor. Es el factor de distribución de tránsito en la hora crítica.

D- Factor. Es el factor de distribución direccional del tránsito direccional.

### 4. Vehículos de Tránsito

Transportation (Transporte): La acción de trasladar personas o mercancías de un lugar a otro haciendo uso de vehículos.

Traffic (Tránsito): El movimiento de vehículos, personas y animales a lo largo de una carretera. O, el movimiento de peatones, jinetes, animales sueltos, vehículos, tranvías y otros coches simples o acoplados que usan las carreteras con el propósito de viajar.

Traffic Element (Elemento de Tránsito): Los objetos o peatones son parte del tránsito.

Vehicle (Vehículo): Un coche que circula a lo largo de una carretera, que puede ser o no motorizado. O cualquier artefacto por medio del cual personas o mercaderías pueden ser trasladadas por las carreteras, excepto los artefactos accionados por la fuerza humana o aquellos usados en rieles o ferrocarriles.

Unmotorised (No motorizado): Elemento de tránsito no motorizado y con ruedas que son accionados por la fuerza humana o animales.

Fuente:

Reglamento General de Tránsito, acuerdo No. 33 del 23 de agosto de 1958.

Vía Pública: Se llama a todo camino, calle o avenida, destinados para el tránsito de personas y vehículos.

Vehículos: Determinase con este vocablo todo artificio que sirve para transportar personas, animales o cosas, movidos por cualquier fuerza; por consiguiente en este término se incluirán: toda clase de automóviles, camiones, motocicletas, coches, carretas, bicicletas, carretillas de mano, etcétera.

Fuente:

Unidad de Planificación Vial (UPV) de la DGCCA. Censo clasificado de tránsito de vehículos en la red vial de caminos principales y secundarios.

Turismo: Todos los vehículos usados principalmente para el transporte particular de pasajeros, automóviles, station wagons (carmelitas), pero sin excluir taxis si los hubiera.

Pickup y Utilitario: Todos los vehículos, principalmente de carga de cabina abierta o cerrada, canina simple o doble y furgones utilitarios cerrado de carga. Todo pickup usado para el transporte público de pasajeros se agrupará en la categoría de buses.

Bus y Baronesas: Se agruparán en una sola categoría todos los tipos de buses, para el

transporte público de pasajeros. Todo camión usado para el transporte de pasajeros (baronesas) se agrupará en la categoría de buses.

Camión Liviano de 2 ejes, tractor agrícola individual con o sin carro de arrastre.

Camión Unitario de 3 ejes o más.

Rastras: Camiones articulados, tipo remolques, con unidad tractora y rastras o furgones tipo contenedores.

Fuente:

Estudio de Caminos Vecinales.

Para el estudio de caminos vecinales, se deben contemplar también:

Vehículos de emergencia autorizados, tales como vehículos de bomberos, coches de policía, ambulancias que son de propiedad pública y también están los de propiedad privada destinada al uso público.

Motocicletas, tractores agrícolas, taxi urbano, taxi mixto, bus urbano, bus interurbano, bus suburbano, bus departamental, bicicletas, carretas de tiro, bestias de carga o jinetes, peatones.

## 5. Capacidad

Capacidad de Carreteras

Fuente:

Highway Capacity Manual, Special Report 209, Third Edition (Manual de capacidad de carreteras, informe especial 209, tercera edición); Transportation Research Board Washington, D.C., 1994.

Factor de ajuste: Es un valor multiplicador

que ajusta una capacidad o volumen de servicio de una condición ideal a una condición predominante.

**Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA):** Volumen total anual de tránsito que pasa por un punto determinado de la carretera en ambas direcciones, dividido entre el número de días del año.

**Velocidad Promedio de Marcha:** La velocidad promedio de marcha del flujo de tránsito que circule en un segmento determinado de la carretera, se la obtiene dividiendo la longitud de este segmento entre el promedio del tiempo empleado por los vehículos en recorrer el tramo designado, expresado en kilómetros por hora.

**Velocidad Promedio de Viaje:** La velocidad promedio de viaje del flujo de tránsito que circula en la carretera, se la obtiene dividiendo la longitud total entre el promedio del tiempo empleado por los vehículos en recorrerla, expresado en kilómetros por hora.

**Tiempo Promedio de Viaje:** Está definido como el tiempo promedio que emplean los vehículos en recorrer un segmento determinado de la carretera, incluyendo los tiempos de detención, expresados en segundos o minutos por vehículo.

**Capacidad:** Es el flujo máximo de vehículos que pueden recorrer un segmento de carretera durante un período específico de tiempo, bajo controles y regulaciones de tránsito.

**Controles:** Los controles y regulaciones más representativos usados en un segmento determinado de carretera, incluyen el tipo, fases y duración de tiempo de las señales

reglamentarias, controles para giros y otros similares.

**Velocidad de ascenso:** Es la velocidad máxima que se mantiene constante en un tipo de vehículos en particular para una rasante de subida y pendiente uniforme, expresado en kilómetros por hora.

**Volumen de Demanda:** Es el volumen de tránsito esperado para llegar al nivel de servicio que se desea, en un punto o segmento de la carretera, normalmente expresado en vehículos por hora.

**Densidad:** Se define como el número de vehículos que ocupan una longitud determinada en una carretera en un tiempo promedio, usualmente expresado como vehículos por kilómetro o vehículos por kilómetro y por carril.

**Análisis de Diseño:** Es la utilización de los procedimientos de análisis, para determinar el número de carriles que se requieren en un segmento determinado de la carretera, con el fin de lograr un nivel de servicio especificado.

**Factor Horario de Diseño:** Es el porcentaje o proporción del volumen de tránsito en 24 horas, que ocurre durante la hora de diseño en un área dada.

**Diseño Direccional del Volumen Horario:** Está definido como el volumen de tránsito usado para la hora de diseño en el período pico y en la dirección del flujo, generalmente se utiliza el pronóstico más relevante del volumen de tránsito en la hora pico, expresado en vehículos por hora.

**Relación de Flujo:** Es la relación de la tasa del flujo del tránsito actual a la tasa del flujo de saturación para determinado carril o grupo de carriles.

**Velocidad de Flujo Libre:** (1) La velocidad teórica del tránsito, cuando la densidad es cero, que ocurre cuando no hay vehículos (2) La velocidad promedio de los vehículos en un segmento de una carretera, que no esté cerca de intersecciones señalizadas y con un flujo vehicular bajo.

**Intervalo:** Es el tiempo transcurrido entre el pasaje de dos vehículos consecutivos que usan el mismo carril, medido entre los parachoques frontales.

**Vehículo Pesado:** Son los vehículos motorizados que tienen más de cuatro ruedas, se incluyen en esta categoría los buses, camiones de dos ejes, camiones de tres ejes y otras combinaciones entre camiones.

**Condiciones Ideales:** Son las características para un tipo dado de carretera del complejo vial, donde se supone que son las ideales bajo el punto de vista de la capacidad.

**Nivel de Servicio:** Es una medición cualitativa que describe las condiciones operacionales dentro del flujo de tránsito, generalmente descrito en términos de los factores, como velocidad, tiempo de viaje, facilidad para maniobrar, interrupciones de tránsito, confort y seguridad.

**Terreno Llano:** Es la combinación de alineamientos horizontales y verticales, que permite que los vehículos pesados mantengan aproximadamente la misma velocidad que los automóviles, las pendientes son reducidas y

no mayores al 2%.

**Vehículo Ligero:** Cualquier vehículo motorizado de cuatro ruedas.

**Tasa de Flujo de Máximo Servicio:** Es la tasa más alta, de 15 minutos de flujo de tránsito que puede acomodarse en el complejo vial dentro de las condiciones ideales, mientras se mantienen las características de operación para un nivel de servicio indicado, expresado en automóviles por hora y por carril.

**Medidas de Eficiencia:** Son los parámetros que describen la calidad del servicio prestado por un complejo vial a los pasajeros, conductores o peatones, que incluye velocidad, densidad, demoras y otros parámetros similares.

**Terreno Montañoso:** Es cualquier combinación de alineamientos horizontales y verticales que hacen que los vehículos pesados disminuyan considerablemente la velocidad debido a las pendientes de subida para distancias largas o por intervalos frecuentes.

**Zona de no rebasar:** Es la sección de una carretera de dos carriles donde no está permitido pasar, ya sea en una o en ambas direcciones.

**Análisis operacional:** Es una manera de usar los procedimientos del análisis de capacidad, para determinar el nivel de servicio de un complejo vial existente o proyectado, donde se conoce el tránsito proyectado o el actual.

**Vehículo equivalente:** El automóvil es el vehículo que se utiliza para medir el volumen de tránsito, un camión pesado es estimado en

función del número de automóviles que represente.

Unidad de vehículos: Es el factor de conversión para los distintos tipos de vehículos, en relación a su capacidad y comparado con el automóvil, que representa la unidad.

Distancia de visibilidad de sobrepaso: Es la distancia que se requiere para rebasar a un vehículo, sin peligro, en una carretera de dos carriles y dos sentidos de circulación.

Factor de hora pico: Es el volumen horario durante la hora de máximo volumen de tránsito del día, dividido entre la tasa 15 minutos pico del flujo de tránsito dentro de la hora pico; es una medida de la fluctuación de la demanda de tránsito dentro de la hora pico.

Análisis de planeamiento: Es la utilización de los procedimientos del análisis de capacidad, para estimar el número de carriles que se requieren en el complejo vial, a fin de obtener el nivel de servicio deseado. Está basado en datos de planeamiento aproximados y generales realizados durante el inicio del desarrollo de un proyecto.

Tasa de flujo: Es la razón horaria equivalente al número de vehículos que pasa por un punto determinado de la carretera, por un período de tiempo inferior a una hora. Computado como el de vehículos que pasa dividido entre intervalos de tiempo en horas y expresado como vehículos por hora.

Condiciones de la carretera: Son las características geométricas, que incluye el tipo de instalación vial, número y ancho de carriles en cada sentido, ancho de hombros,

espacios libres horizontales, gálibos, velocidad de diseño, alineamiento horizontal, vertical y otros elementos.

Terreno ondulado: Cualquier combinación de alineamientos horizontales y verticales, que hace que los vehículos pesados tengan que reducir considerablemente su velocidad muy por debajo de los automóviles, pero sin causar graves problemas en el tránsito debido a la pendiente de subida.

Tasa de flujo de servicio: La razón horaria máxima, donde se espera un razonable flujo de tránsito que pasa por un punto de una sección uniforme de la carretera, durante un período de tiempo dado, generalmente 15 minutos. La carretera dispone de controles de tránsito, mientras se mantiene el nivel de servicio, expresado en vehículos por hora y por carril.

Velocidad media espacial: El promedio de las velocidades de un flujo de tránsito, calculado como la longitud de un segmento de la carretera, dividido entre el promedio de tiempo empleado en recorrer dicho segmento; medido en kilómetros por hora.

Espaciamiento: La distancia entre dos vehículos sucesivos dentro de un carril, medido de parachoque a parachoque frontales.

Velocidad: Una relación de movimiento expresada como distancia para una unidad de tiempo, como km/h o m/seg.

Velocidad media de tiempo: El promedio aritmético de las velocidades de los vehículos que pasan por un punto de la carretera, medido en km/h.

Condiciones de tránsito: La distribución de los tipos de vehículos en la corriente de tránsito, distribución del tránsito direccional, distribución de los usos de los carriles y la población, del tipo de conductor, en un complejo vial determinado.

Relación volumen capacidad: La razón de la demanda de flujo para la capacidad en un complejo vial.

Volumen: El número de vehículos que pasan por un punto de un carril o una calzada, durante un intervalo de tiempo que es generalmente de una hora, expresado en vehículos.

## 6. Componentes del tránsito futuro

Tránsito existente: El tránsito que ya hace uso de la carretera y provee un servicio de transportación para las actividades diarias rutinarias, dentro del área de influencia.

Crecimiento normal de tránsito: El incremento de tránsito en una carretera, que ocurrirá aun cuando la misma no haya experimentado mejoramiento, debido a los cambios naturales y características socioeconómicas de la población.

Tránsito derivado: El tránsito existente que en la actualidad usa otras carreteras o modos de transporte pero que decide cambiar su viaje hacia el proyecto de la carretera, con el fin de reducir distancias, tiempo de viajes, costos u otros beneficios para los usuarios.

Tránsito generado: Nuevos pasajeros o aumento de carga en los viajes, como resultado de una normal actividad económica. Sin embargo esto ocurrirá

después de que el proyecto propuesto haya sido terminado, debido a los mejoramientos en el transporte y los servicios, como la reducción del tiempo de viaje, de costos, etc. Este tránsito generado incluye:

a-Un aumento en la frecuencia de los viajes existentes, y

b-El tránsito inducido, definido como los viajes de pasajeros o movimiento de carga que en el presente no se realizan pero se podrán realizar si los mejoramientos de la carretera se ejecutan.

Tránsito desarrollado: Un tránsito en exceso de lo normal, un tránsito derivado o generado, como resultado del incremento de la actividad económica de la región, debido a la presencia de la carretera y que puede ser atribuido a la creación de nuevos desarrollos.

El tránsito desarrollado puede incluir, (a) tránsito generado debido a los cambios con mayor aprovechamiento del uso del suelo en el área de influencia de la carretera, (b) Redistribución de los destinos de viaje, cambios en los destinos para ofrecer otras soluciones, porque el mejoramiento de la carretera, permite a los usuarios y transporte carga satisfacer los propósitos del viaje al usar la nuevas alternativas.

Tránsito especial: Inusual o un tránsito no recurrente, que no puede clasificarse bajo ninguno de los componentes internacionales de tránsito.

## Sección 2: Tipos de carretera, tipos de proyecto para el mejoramiento de la red vial y etapa de estudio de los proyectos

### 2.1 Clasificación de las Carreteras

La red nacional de carreteras en Honduras está clasificada de acuerdo al tipo de carretera definida por la Ley de Vías de Comunicación Terrestre, decreto No. 173 del 20 de mayo de 1959 definida anteriormente.

Las carreteras en Honduras están también clasificadas por su tipo, como: Rutas Internacionales (CA), Rutas Nacionales, etc. Otra clasificación es la asignación numérica de la Convención del Código SECOPT de Caminos. Los números de rutas indicados para los caminos en la cartografía y toda la documentación de apoyo para el censo de tránsito, obedecen a las siguientes convenciones:

- Rutas 01 al 50 para las Carreteras Principales.
- Rutas 51 al 199 para las Carreteras Secundarias.
- Rutas 200 al 999 para los Caminos Vecinales en cada Departamento.

### 2.2 Tipos de Proyectos Para el Mejoramiento de la Red Vial

La mayoría de los proyectos de mejoramiento de la red vial, pueden cubrir un rango bastante amplio de tipos, como ser:

- La construcción de una nueva carretera donde no existía antes ninguna.
- El realineamiento de una carretera existente para acortar distancias, o el

ajuste planialtimétrico para mejorar las condiciones de operación de los vehículos (velocidad de marcha y los costos operativos).

- La reconstrucción de una carretera existente; básicamente conservando su alineamiento, con el propósito de reforzar su estructura y sus actuales condiciones para reducir los costos de mantenimiento.
- El ensanchamiento de una carretera existente para proporcionar un aumento de su capacidad de modo de mejorar su nivel de servicio, los tiempos de viaje, reducir la congestión y los gastos de mantenimiento.
- Repavimentación de una carretera existente con el propósito de mejorar los costos de operación de los vehículos y reducir los de mantenimiento como por ejemplo, el bacheo.

Para los caminos vecinales y los de penetración, los proyectos pueden incluir:

- El mejoramiento de la superficie de calzada y/o los elementos de diseño geométrico.
- Ampliar la longitud de un camino existente dentro de una zona hasta ese momento sin un medio efectivo de transporte.
- La construcción de un nuevo camino con el propósito de proveer de acceso a un área no servida anteriormente con un medio efectivo de transporte,

como pueden ser áreas dedicadas a la agricultura, industriales, residenciales, u otro tipo de aprovechamiento del suelo.

### 2.3 Etapas de estudio de los proyectos

Los proyectos de mejoramiento de carreteras incluyen la planificación, estudios de factibilidad, diseño y la ejecución de un proceso progresivo:

- Establecer la necesidad y los conceptos básicos para el proyecto de mejoramiento de la carretera.
- Identificar y evaluar alternativas para satisfacer los requerimientos de los servicios de transporte.

- El análisis financiero, económico, social y factibilidad ecológica de las alternativas y seleccionar la que será finalmente adoptada.
- Completar todos los aspectos de diseño del proyecto de mejoramiento que será ejecutado
- Iniciar y completar la construcción del proyecto de mejoramiento.

Mientras el proyecto de mejoramiento progresa desde sus planificación hasta su ejecución, las estimaciones y pronósticos de los volúmenes de tránsito y sus características necesitan ser cada vez más precisos con mayores detalles y mayores niveles de precisión.

## Sección 3: Volúmenes de Tránsito y sus Características

Se describen en esta sección el uso de la información de los volúmenes de tránsito, en la planificación y diseño.

El volumen de tránsito se define como el número de vehículos que pasan un punto determinado de la carretera en la unidad de tiempo. De acuerdo al volumen de tránsito usado, la unidad de tiempo puede ser, un año, un día o una hora.

El volumen de tránsito en las carreteras está afectado por.

- Las necesidades del diseño geométrico.
- El diseño del pavimento, y
- Los beneficios del usuario

La información necesaria de los volúmenes de tránsito para satisfacer los propósitos descriptos con los que se indican a continuación.

El diseño geométrico está relacionado con la tasa de flujo y la composición del tránsito de acuerdo al tipo de vehículo para períodos cortos de tiempo. El volumen horario de diseño (V.H.D.) y el volumen horario de diseño direccional (V.H.D.D.), son mediciones de volúmenes de tránsito usados para el diseño geométrico de las carreteras.

Para el diseño del pavimento, la información proveniente de los estudios de tránsito y las proyecciones son un estimado del número acumulado de ejes equivalentes (8,200 kg) que pasan por un carril durante el período de

diseño del pavimento.

La determinación de los beneficios del usuario requieren estimaciones del total de tránsito por tipo de vehículo durante el transcurso de un año.

Las mediciones del volumen de tránsito y sus características incluyen:

- O Tránsito Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) por tipo de vehículo.
- O La variación estacional del volumen de tránsito, se mide por el volumen del tránsito promedio diario de cada mes dividido entre el T.P.D.A.
- O Las variaciones de los volúmenes de tránsito según día de la semana.
- O Las variaciones de los volúmenes de tránsito durante las 24 horas del día, y
- O Los volúmenes de tránsito pico en la mañana y en la tarde, medidos y expresados como el flujo del tránsito de los vehículos por hora en cada dirección.

### 3.1 Tránsito Promedio Diario (T.P.D.)

La unidad de medida de Tránsito promedio Diario (T.P.D.) se define como el volumen total de vehículos durante un período determinado en días enteros, que deberá ser mayor de un día y menor de un año, dividido entre el número de días que componen ese período.

El actual volumen T.P.D. de una carretera puede ser determinado cuando se dispone de un conteo de lecturas continuo.

Cuando solamente se dispone de conteos

periódicos el volumen T.P.D. puede también ser determinado ajustando los conteos periódicos de acuerdo con los factores estacionales, mensuales, diarios o semanales.

El conocimiento del volumen T.P.D. es importante para muchos propósitos, por ejemplo, cuando se necesita una rápida justificación para los elementos de diseño o estructural de una carretera, pero no es adecuado para un diseño final porque no indica la variación de tránsito durante los varios meses del año, días de la semana y horas del día. Es apreciable y variado el número de días en que el T.P.D. es superado. El promedio y el volumen en las áreas rurales en ciertos días puede llegar a ser el doble del T.P.D. por lo tanto, el diseño de una carretera para un promedio diario de tránsito, puede ser insuficiente durante gran parte del año donde se registra un mayor volumen de tránsito.

### 3.2 Variaciones en el Volumen de Tránsito

Los volúmenes de tránsito varían en el tiempo y espacio. Las variaciones de tránsito son factores críticos determinantes de los elementos que componen una carretera y controlan muchos de los requerimientos de la planificación y diseño para un adecuado servicio de la demanda vehicular.

Debido a que el volumen de tránsito no se distribuye en forma uniforme durante el día, los elementos de una carretera se diseñan con frecuencia para satisfacer las demandas que ocurren durante períodos picos cortos de 15 minutos o una hora. Del mismo modo, el tránsito no se distribuye uniformemente sobre los carriles o sentido de circulación proyectados.

### 3.2.1 Variaciones Temporales del flujo de Tránsito

La demanda del tránsito varía durante los meses del año, días de la semana, hora del día y dentro de la hora.

De manera más apropiada donde están los volúmenes de tránsito para intervalos de tiempo menores de un día, reflejan las condiciones de operación que deben ser usadas en el diseño para satisfacer el flujo vehicular.

Los períodos cortos pero muy frecuentes de hora pico son importantes para el diseño y operación de las carreteras. En casi todos los casos es práctico y adecuado el período de una hora.

Los modelos de tránsito muestran en cualquier carretera considerables variaciones en los volúmenes durante las diferentes horas del día y a través del año. Debe determinarse cual de estos volúmenes horarios se usará en el diseño.

Sería inapropiado en el diseño emplear la (máximo) hora pico del año, dado que el uso del tránsito promedio diario (durante el año) resultaría en un diseño inadecuado. El volumen horario del tránsito, usado en el diseño no deberá ser excedido en forma frecuente ni en cantidad.

Por otra parte el volumen de tránsito no deberá ser de tal magnitud como para satisfacer todos los usos de la carretera.

#### Variaciones Estacionales

Las variaciones estacionales (por mes) en la

demanda del tránsito reflejan las actividades sociales y económicas del área servida por la carretera. Por ejemplo:

- O Las variaciones mensuales son más importantes en las carreteras rurales que en las urbanas.
- O Las variaciones mensuales son más importantes en las carreteras rurales que sirven al tránsito en áreas dedicadas primariamente a la agricultura (o posibles áreas recreacionales) que aquellas que vinculan centros urbanos donde se desarrollen actividades relacionadas con la industria y negocios.
- O Los modelos de tránsito diario varían en cada mes del año más significativamente para las carreteras que sirven áreas recreacionales.
- O El usuario frecuente y los viajes de negocios se desarrollan dentro de patrones más uniformes, mientras que aquellos vinculados con tareas relacionadas con la agricultura, y recreacional son los que reflejan la mayor variación entre los propósitos de los viajes.

#### Variaciones diarias

Las variaciones diarias durante los días de la semana están relacionadas con el tipo de carretera.

Los fines de semana (sábados y domingos) los volúmenes de tránsito son menores que los días hábiles de lunes a viernes, para las carreteras que sirven predominantemente a

viajes de negocio como las que vinculan ciudades de importancia. En comparación, los picos de tránsito ocurren durante los fines de semana en la mayoría de las rutas en áreas rurales y acceso a zonas recreacionales además, la magnitud de la variación diaria es más elevada por las carreteras de acceso a zonas recreacionales y menor para carreteras urbanas.

El tránsito de camiones es el que presenta el porcentaje de reducción más importante durante los fines de semana.

### **Variaciones Horarias**

Los modelos de las variaciones horarias están relacionados con el tipo de la carretera y el día de la semana.

Las horas pico características de la mañana y tarde están evidentemente dentro de las zonas urbanas y en los días hábiles.

El pico de la mañana es generalmente mayor que el pico de tarde.

La distribución horaria de tránsito en los tramos alejados de las carreteras que vinculan grandes ciudades no presentan picos tan pronunciados como en los tramos próximos a las mismas.

Las carreteras recreacionales también tienen horas pico diario. Las horas pico de los sábados tienden a ocurrir en las últimas horas de la mañana o temprano en la tarde (cuando los viajeros se dirigen a los destinos de recreación). Mientras que los domingos la hora pico se registra entre la tarde y la noche (cuando los viajeros regresan a sus hogares).

## **3.2.1 Hora Pico y Hora de Diseño**

### **Hora Pico**

La capacidad y otros análisis del tránsito se relacionan con el volumen de la hora pico, porque ésta representa el período más crítico de la operación de los vehículos.

Las carreteras rurales y recreacionales (y de zonas agrícolas) a menudo muestran una amplia variación en los volúmenes de la hora pico.

Los volúmenes de mayor significación ocurren en pocos bien determinados fines de semana (o durante los días de cosecha) u otros períodos de pico, y el tránsito durante el resto del año tiene un volumen mucho menor aún durante la hora pico del día.

Las carreteras urbanas, de otra manera, muestran una pequeña variación en el tránsito de la hora pico. La mayoría de los usuarios son pasajeros frecuentes y ocasionalmente o en eventos especiales el tránsito puede ser mínimo. No obstante, algunas carreteras urbanas pueden llegar a su capacidad durante la hora pico y las variaciones son por lo tanto severamente limitadas.

### **Hora de Diseño y Factor K**

La elección de una apropiada hora con propósito de planificación, diseño y operación es un compromiso entre: (a) Proveer de un adecuado nivel de servicio para cada (o casi cada) hora del año, y (b) eficiencia económica.

La práctica en los EEUU es basar el diseño de una carretera entre la hora trigésima y

centésima de mayor volumen horario anual o sea, que el volumen horario es solamente excedido por 29 u 99 volúmenes horarios, respectivamente, durante el año.

- O Para las carreteras rurales, la hora trigésima de mayor volumen horario anual es en general empleada como base de estimación para el volumen Horario de Diseño (V.H.D).
- O Para las carreteras urbanas, la hora de diseño comunmente empleada corresponde a aquello que más se repite en las horas de pico de la semana. (excluyendo sábados y domingos)
- O En semaforización es frecuente el empleo de condiciones típicas de tránsito para un cierto período del día o la semana.

La elección de la hora de diseño debe considerar el impacto sobre el tránsito de aquellos volúmenes horarios que no podrá satisfacer. El empleo de un criterio de diseño como el de la hora centésima de mayor volumen horario del año cuando el volumen máximo horario puede llegar a ser el doble del que corresponde a la hora centésima, puede ocasionar algún grado de congestión en la carretera pero tendrá un menor efecto si ésta es urbana donde las variaciones que se producen en las hora pico son menores.

Como regla general, debe usarse en el diseño los picos de volúmenes que se repiten mayoritariamente y el nivel de servicio durante los períodos de mayor volumen debe ser verificado como aceptable de acuerdo con las condiciones prevalectes del tránsito.

El porcentaje de T.P.D.A correspondiente al máximo volumen horario el año de diseño se denomina Factor K. El factor K varía en relación con la hora seleccionada para el diseño o planificación y de las características del tipo de carretera y su desarrollo ambiental. Cuando el Factor K está basado en la hora trigésima del mayor volumen horario del año algunas características generales pueden indicarse:

- (1) El Factor K no varía en forma significativa de año en año.
- (2) El Factor K generalmente disminuye ligeramente mientras el T.P.D.A. de la carretera aumenta, siendo la razón de disminución más rápida para elevados Factores K.
- (3) El Factor K disminuye mientras que la densidad del desarrollo aumenta. Cuando hay un cambio radical en el uso del suelo servido por una carretera, el Factor K puede también variar radicalmente. En casos donde el carácter y magnitud del futuro desarrollo puede ser anticipado o previsto, el Factor K puede obtenerse en base a la experiencia con otras carreteras similares que sirven áreas con uso de la tierra de iguales características.
- (4) Los más altos Factores K generalmente ocurren en las carreteras recreacionales (o de áreas dedicadas a la agricultura). Continuando con las carreteras rurales y urbanas en orden de creciente.

### Variaciones del flujo de Tránsito dentro de la hora

Aun cuando las predicciones o pronósticos del volumen de tránsito para los estudios importantes de planificación están frecuentemente basados en unidades T.P.D.A. (vehículos/día) expresadas en volúmenes horarios, el análisis del nivel de servicio se basa en el flujo de tránsito pico de 15 minutos que ocurren dentro de la hora pico.

Un diseño para un flujo pico de 5 minutos podría resultar en un substancial exceso de capacidad durante el resto de la hora pico, mientras que un diseño para el volumen de la hora pico, resultaría en congestión para gran parte de la hora.

Las consideraciones sobre las variaciones del tránsito dentro de la hora pico son importantes. La congestión debida a una inadecuada capacidad de pocos minutos tomaría parte importante del tiempo para disiparse debido a la dinámica del flujo interrumpido.

La medida de la fluctuación de la demanda de tránsito durante la hora pico esta expresada por el término "Factor de hora de pico" (F.H.P.) el cual se lo define como el volumen horario correspondiente al cociente del volumen de la hora pico del día dividido entre el máximo régimen de flujo de 15 minutos dentro de la hora pico.

El F.H.P. en áreas urbanas generalmente varia entre 0.80 y 0.98. Valores menores significa una mayor variabilidad del flujo dentro de la hora, y valores mayores significa poca variabilidad del flujo. El F.H.P. por

encima del valor 0.95 a menudo indica ciertos volúmenes de tránsito, algunas veces con problemas de capacidad durante la hora pico.

Debido a las limitaciones de capacidad del conjunto de redes urbanas de carreteras, la demanda real de los viajes puede exceder el volumen actual durante los períodos pico del tránsito. En estos casos los conteos de tránsito pueden ayudar al conocimiento de la demanda real de los viajes en la real urbana de carretera.

### Factor de hora pico (F.H.P.)

Las tasas de flujo pico se relacionan a los volúmenes horarios por medio del uso del F.H.P. Este factor se define como la relación entre el volumen horario total y la tasa de flujo pico dentro de la hora:

$$F.H.P = \frac{\text{Volumen horario total}}{\text{Tasa de flujo tipo (dentro de la hora)}} \quad (2-1)$$

Si se emplean períodos de 15 minutos, el F.H.P puede computarse como

$$F.H.P = V / (4xV_{15}) \quad (2-2)$$

donde:

F.H.P = factor de hora pico

V = volumen horario (vehículos por hora), y

V<sub>15</sub> = volumen durante el pico de 15 minutos de la hora pico (veh/15 minutos)

Cuando el factor de hora pico es conocido, puede emplearse para convertir el volumen de la hora pico a la tasa de flujo pico, de la

manera siguiente:

$$V = V/F.H.P \quad (2-3)$$

donde:

V = tasa de flujo para un pico de 15 minutos de período (vph)

V = volumen horario pico (vph), y

F.H.P = factor de hora pico

La ecuación (2-3) no necesita ser empleada para estimar la tasa de flujo pico cuando se conocen los conteos de tránsito. La elección de un intervalo de conteo puede permitir la identificación de un máximo de flujo para el período de 15 minutos.

La tasa puede entonces ser directamente computada como 4 veces el máximo conteo de 15 min. Algunos de los métodos emplean esta conversión para calcular el período del flujo pico dentro de la hora pico.

### 3.3 Variaciones especiales en el flujo del Tránsito

El volumen del tránsito varía en el tiempo y también en el espacio.

Las dos características críticas espaciales de interés en el análisis de capacidad son: (1) Distribución direccional o por sentido de circulación (2) Distribución por carriles.

#### 3.3.1 Distribución Direccional

Durante una hora en particular, el volumen de tránsito puede ser mayor en una dirección que en la otra. En un sistema urbano radial de carreteras sirviendo una demanda fuertemente direccional hacia el centro de la

ciudad en la mañana y salida del mismo en la noche, puede llegar a ocurrir un desequilibrio en una relación de 2 : 1 entre ambos sentidos direccionales del flujo vehicular. Carreteras del tipo recreacional ( y en áreas dedicadas a la agricultura) pueden presentar también un significativo desequilibrio de distribución entre ambos sentidos del flujo vehicular.

La distribución direccional es un factor importante particularmente en el análisis de capacidad para las carreteras rurales de dos carriles de circulación. El nivel de servicio puede variar substancialmente con la distribución direccional a causa de la interactiva naturaleza del flujo vehicular en estas carreteras.

La distribución direccional no es una característica estática. Puede variar durante las horas del día, en el día de la semana, estación y a través de los años. El desarrollo del área próxima a una carretera a menudo induce crecimiento del tránsito, resultando en cambios en la actual distribución direccional.

La proporción de tránsito en la hora pico direccional durante las horas pico se denomina D.

Los factores D Y K son empleados en la estimación del volumen de tránsito de la hora pico, en la dirección de pico usando la ecuación siguiente:

$$V.H.D.D. = T..P.D.A. \cdot KD$$

donde:

V.H.D.D.= Volumen horario de diseño direccional (veh/h).

T.M.D.A.= Tránsito promedio diario

anual.

$K$  = Proporción de T.P.D.A que ocurre en la hora pico.

$D$  = Proporción del tránsito de la hora pico en la dirección pico.

La distribución del tránsito por direcciones durante las horas pico es generalmente uniforme de año en año y de día a día en las carreteras rurales, salvo aquellas que sirven áreas recreacionales.

### 3.3.2 Distribución por carriles

Cuando dos o más carriles sirven para el tránsito en una sola dirección, la distribución por carriles puede variar ampliamente dependiendo de :

- Regulaciones del tránsito
- Composición del tránsito
- Velocidad y volumen
- Número y ubicación de los puntos de ingreso y egreso
- El origen y destino de los viajes
- Desarrollo ambiental
- Hábitos de los usuarios

### 3.4 Composición de Tránsito

Para el diseño, el porcentaje de camiones y buses durante las horas pico debe ser conocido.

El porcentaje de camiones durante las horas pico es generalmente menor que el porcentaje de camiones durante el período de 24 horas.

## Sección 4: Tipos de vehículos

La clasificación de los tipos de vehículos deben ser considerada en los estudios de tránsito.

### 4.1 Propósito de la clasificación de vehículos

Las características de los vehículos que se usan en las carreteras, sus dimensiones el peso y las características de operación están en relación con:

- Los requerimientos del diseño geométrico
- El diseño de pavimentos
- Los beneficios de los usuarios

Por lo tanto es necesario considerar todos los tipos de vehículos y agruparlos en categorías.

### Diseño geométrico

Para el diseño geométrico hay que determinar el vehículo representativo para cada clasificación, que debe ser el que físicamente tiene las mayores dimensiones y el que tiene el mayor radio mínimo de giro. Generalmente se considera que existen tres clases o tipos de vehículos motorizados para el diseño geométrico:

- (1) Automoviles, que incluyen también todos los vehículos livianos de dimensiones similares
- (2) camiones que tienen una masa bruta de 4.0 toneladas, o mayor peso, los vehículos que tienen doble rueda en

los ejes traseros

### (3) Buses

Un diseño geométrico también debe tener en consideración las necesidades de otros usuarios de las carreteras, que incluye motocicletas y vehículos no motorizados, tales como carretas de tiro, bestias de carga, jinetes, bicicletas, vehículos a tracción animal (tracción de sangre) carretas empujadas por el hombre, etc., también hay que considerar a los peatones y animales que circulan en las carreteras.

El uso de las carreteras es compartido por vehículos motorizados de varias dimensiones y variadas características de operación, vehículos no motorizados y las personas como peatones o en otras actividades como usuarios de la carretera. En reconocimiento a los muchos tipos de usos que se obtiene de una carretera, el Reglamento General de Tránsito, Acuerdo No. 33 del 23 de agosto de 1958 define la vía pública y los vehículos de la siguiente manera:

**Vía Pública:** Se llama a todo camino, calle o avenida, destinada al tránsito de personas y vehículos.

**Vehículos:** Determinase con este vocablo a todo artificio que sirve para transportar personas, animales o cosas, movidos por cualquier fuerza; por consiguiente en este término se incluirán; toda clase de automóviles, camiones, motocicletas, coches, carretas, bicicletas, carretillas de mano, etc.

### Diseño de Pavimentos

Para el diseño de pavimentos, uno de los

elementos esenciales que hay que tener en cuenta, es el número total del equivalente estandard de los ejes (8,200 kg.) que pasan por la carretera durante el período de diseño del pavimento.

Para determinar el equivalente estandard anual de los ejes para el año base, es necesario determinar el número de vehículos de varios tipos y la configuración de los ejes y el número promedio del equivalente estandard de las cargas en el eje por vehículos cargados o vacíos para cada clase.

Así para las carreteras que están bajo estudio, la recolección de datos de tránsito y los análisis deben determinar, para el año base, el número de vehículos para cada tipo y la configuración de los ejes, también el número promedio del equivalente estandard de las cargas en el eje por vehículo y para todos los vehículos, cargados o vacíos de cada clasificación y entonces desarrollar el pronóstico o proyección para cada año durante el período de diseño del pavimento, los impactos de cambios en los volúmenes de tránsito por clase de vehículo y cualquier otro cambio el promedio de cargas por vehículo de cada tipo.

### Beneficios del usuario de las carreteras

Cualquier evaluación de la factibilidad económica, para determinar los beneficios de los usuarios, requiere tomar en consideración los estudios de tránsito o datos de ingreso y pronosticar el número de vehículos de cada tipo usado, el promedio de pasajeros y los traslados de carga transportada por cada tipo de vehículo. De acuerdo a la específica carretera en estudio, un número de consideraciones puede ser importante

tenerlas en cuenta, la clasificación de los vehículos que serán usados para el conteo de tránsito y los pronósticos, por ejemplo los siguientes:

- Ocupación vehicular, algunos vehículos de turismo son colectivos con un alto promedio de pasajeros, mientras que otros vehículos o automóviles particulares tienen un bajo promedio de ocupantes.

- Camionetas, en áreas rurales, incluyen transporte de productos agrícolas. Para la proyección de la demanda de tránsito, algunas veces es conveniente separar los productos agrícolas de los no agrícolas.

### **Clasificación de los conteos de tránsito**

El propósito de la realización de los conteos clasificados de tránsito, debe ser para definir los tipos de vehículos. Hay dos requisitos esenciales que deben ser considerados para esta clasificación:

(1) Deben completarse los datos que se requieren para el diseño de la geometría y pavimento de la carretera, y la determinación del costo de los usuarios, incluyendo el costo de operación del vehículo y el costo del tiempo de viaje.

(2) Las encuestas deben ser claramente entendidas por las personas que realizan los conteos, de tránsito, de manera que los resultados entendidos por distintos encuestadores en distintos lugares y distintas horas sean homogéneos.

### **4.2 Clasificación de vehículos**

En el territorio de Honduras, los tipos de

vehículos, dentro del flujo de tránsito en las carreteras y su importancia varía considerablemente y dependen de:

- Clase de carretera
- Sector rural o urbano
- Región dentro del país

Sin embargo la siguiente clasificación, cubre una gama amplia de los tipos de vehículos y sus usos que se encuentran en las carreteras del país.

(1) Turismo (incluyen taxis y busitos que transportan pasajeros)

- pequeño
- mediano
- grande

(2) Pick-up y utilitario

- pequeño (capacidad de un tonelada o menos)
- grande (capacidad mayor a una tonelada)

(3) Bus (incluyen pick-up y camión usado para el transporte público de pasajeros)

- pequeño (capacidad de 20 pasajeros o menos)
- mediano (capacidad mayor a 20 pasajeros)
- grande

(4) Camión simple

- pequeño (2 ejes, 3.5 a 5.0 t)
- mediano (2 ejes, 9 toneladas)
- grande (3 o mas ejes 12 a 15 t)

(5) Rastra y furgón (plataformas o contenedores)

(6) Tractor agrícola

- (7) Motocicleta
- (8) Vehículos no motorizados
  - bicicleta
  - vehículos a tracción animal (carretas)
  - vehículos de tiro (manuales)
- (9) Peatones y animales
  - personas
  - animales (bestias con jinetes, bestias cargadas o animales sueltos).

Los vehículos no motorizados y las motocicletas no están considerados en los conteos anuales de volúmenes de tránsito en las carreteras principales y secundarias. Sin embargo para objetivos específicos de estudio de mejoramiento en algunos casos puede ser necesario incluir todos los tipos de vehículos de los usuarios en las encuestas de tránsito. Por ejemplo, los conteos de tránsito realizados en caminos vecinales incluyen: Tractores agrícolas, motocicleta, bicicletas, carretas de tiro, bestias cargadas, jinetes y peatones.

### 4.3 Parque Automotor

El incremento de la tasa futura de los vehículos motorizados que circulan en las carreteras se espera que tenga un alto grado de correlación con el futuro crecimiento del número de vehículos que operan en el país. Por esta razón y como una ayuda en los pronósticos del crecimiento del tránsito, datos de serie de tiempo deberán correlacionarse para describir el número de vehículos registrados en Honduras por tipo de vehículo y por área (departamento y municipio) en el lugar de residencia del

propietario del vehículo. Como una ayuda los pronósticos deben estar relacionados, con datos históricos de series de tiempo de los vehículos, usando un análisis de regresión para las series de tiempos históricos en la población, en los productos domésticos per cápita y tal vez otra variable independiente.

### Fuentes de Información

La información de los registros de los vehículos motorizados generalmente son recolectados y están disponibles en:

(A) Dirección Nacional de Tránsito, Fuerza de Seguridad Pública, Fuerzas Armadas de Honduras.

(B) Dirección Ejecutiva de Empresas en el registro de Vehículos.

Además de las fuentes de información mencionadas anteriormente, la Dirección General de Transporte tiene información sobre el crecimiento del parque móvil, con datos sobre series de tiempo desde 1978, con el número total de taxis, y buses en Honduras, catalogados de la siguiente manera: taxi urbano, taxi mixto, bus urbano, bus interurbano, bus suburbano y bus departamental.

### Otras Consideraciones

La información del registro vehicular proporcionará una indicación en el aumento del número de vehículos, generalmente en la región donde el proyecto está ubicado. Sin embargo las tasas de crecimiento de los vehículos no pueden ser usadas por sí solas para predecir el crecimiento del parque automotor, ya que también están relacionadas

al pasado y al futuro desarrollo y a otros factores socioeconómicos.

En otros países se ha encontrado que la cantidad de vehículos registrados son frecuentemente distorsionados porque:

**(A)** Muchos vehículos están registrados en jurisdicciones políticas y no en la jurisdicción donde el vehículo es usado.

**(B)** La clase estándar de vehículo usado para el registro, puede diferir de la clasificación de vehículos usados para las proyecciones de tránsito.

Las tasas del crecimiento del número vehicular, determinada por las estadísticas de el registro de vehículos, debe, por lo tanto, ser usada con cuidado y junto con otros datos.

Las políticas del Gobierno relacionadas a la importación de automotores, y cualquier cambio en los derechos de importación, derechos de registro u otros impuestos, deben ser usadas muy cuidadosamente. Cambios en los impuestos o en las pólizas de importación, pueden afectar la futura composición de tránsito y en el vehículo tipo representativo.

Otras fuentes de información, en relación con las tendencias probables en el futuro, en el tipo y número de vehículos, pueden incluir entrevistas a los agentes de las industrias de automotores, lo que será muy útil en la verificación de las tasas estimadas del crecimiento de tránsito y producir cambios en la composición de tránsito.

## Sección 5: Capacidad Vial

El concepto, terminología y referencias indicados en esta sección pertenecen al U.S.A. Highway Capacity Manual, Special Report 209 - Third Edition 1994, Transportation Research Board, Washigton D.C.

### 5.1 Importancia de la Capacidad

La capacidad de una carretera refleja la habilidad para acomodar la corriente de vehículos. El nivel del servicio es una medida de la calidad del flujo.

Las estimaciones de capacidad y el nivel de servicio son necesarios en muchas

planificaciones viales y decisiones de diseño.

El análisis de la Capacidad sugiere preguntas como las siguiente:

- O Cúal es la calidad de servicio que proporciona una carretera existente durante los períodos del pico de tránsito? y que incremento de tránsito puede ser tolerado?
- O Qué tipos de instalaciones viales son necesarias para acomodar un determinado nivel de flujo vehicular?
- O Qué configuración de carriles son necesarias en autopistas para varios niveles de tránsito promedio diario?

Cuando nuevas carreteras son planificadas o las existentes ampliadas, debe determinarse el ancho y número de carriles.

Cuando sea necesario mejorar una carretera existente ya sea mediante su ensanchamiento o por mejoramiento en la operaciones de tránsito, se deben evaluar sus características operacionales y el nivel de servicio.

## 5.2 Terminología

El principal objetivo del análisis de capacidad es la estimación del máximo número de vehículos que pueden acomodarse en una determinada carretera con razonable seguridad en un período determinado. Sin embargo, debido a que una carretera opera raramente en o cerca de su capacidad, generalmente no se la planifica para operar en este nivel. Consecuentemente, el análisis de capacidad provee de un medio de estimar la cantidad máxima de tránsito que puede acomodar una carretera en las condiciones operacionales preestablecidas de calidad.

El análisis de capacidad es, por lo tanto, un conjunto de procedimientos para estimar la habilidad de una carretera de conducir un tránsito teniendo en consideración definidas condiciones operacionales. El análisis de capacidad provee una herramienta para el estudio de la condición existente de una carretera y para planificar y diseñar el mejoramiento futuro de la misma.

La definición del criterio operacional se cumple introduciendo el concepto de nivel de servicio. El rango de condiciones de operación se define para cada tipo de carreteras y están relacionadas con la cantidad de tránsito que puede acomodar en

cada nivel.

Los dos conceptos principales, capacidad y nivel de servicio se definen a continuación.

### 5.2.1 Capacidad

La capacidad de una carretera se define como el número máximo de vehículos que tiene una razonable posibilidad de pasar por un punto dado o por un tramo dado de carril o de calzada en un sentido (en ambos sentidos en los caminos de dos o tres carriles) durante un lapso dado, en las condiciones prevalecientes de calzada, tránsito y control. Esta definición implica que no existe influencia en el flujo de tránsito, más allá del punto de análisis considerado, como por ejemplo congestión.

Algunos importantes puntos en la definición de capacidad necesitan aclaración.

- (1) La capacidad está definida por las condiciones prevalecientes de la calzada tránsito y control, las que se asumen deben ser razonablemente uniformes en cualquier sección de la carretera que se analiza.

Cualquier cambio en las condiciones prevalecientes resultará en un cambio en la capacidad de la carretera. La definición asume la existencia de buenas condiciones del tiempo, buen estado del pavimento y sin imprevistos.

- (2) La capacidad normalmente se refiere a un punto o tramo uniforme de la carretera. El análisis de la capacidad se realiza por tramos de la carretera

con tránsito uniforme y condiciones establecidas de la calzada y control.

Los tramos que tengan diferentes condiciones prevalecientes tendrán diferentes capacidades. El punto o tramo en la peores condiciones de operación a menudo establece los niveles más críticos de la carretera.

- (3) La capacidad se refiere a una frecuencia de flujo vehicular durante un determinado período, usualmente un pico de 15 minutos. La capacidad no se refiere al máximo volumen que puede tener cabida durante una hora. Esta definición reconoce la posibilidad de importantes variaciones del flujo de tránsito durante una hora y centra el análisis sobre intervalos de flujo máximo.
- (4) La capacidad se define sobre la base de una "razonable expectativa". Una determinada capacidad para una carretera es la frecuencia de flujo que puede alcanzarse repetidamente

durante períodos de pico con suficiente demanda y que puede alcanzarse en carreteras de similares características. La capacidad no es el flujo máximo absoluto observado de una carretera.

La capacidad básica, se define como el máximo número del flujo de tránsito en automóviles por hora por carril (aphpc) en las carreteras multicarril, y en automóviles por hora (aph) en carreteras de dos carriles como uno por cada sentido de operación, en condiciones ideales para diferentes tipos de carretera, de acuerdo con lo siguiente:

- Autopistas:

Con dos carriles en una dirección  
2200

Con tres o más carriles en una  
dirección 2300

- Carreteras multicarril 2200

- Rurales, dos sentidos, dos carriles 2800

Se adjuntan las figuras 3-3; 7-1 y 8-1 correspondientes al Highway Capacity Manual, Special Report 209 Third Edition, 1994, ilustrativas al respecto.

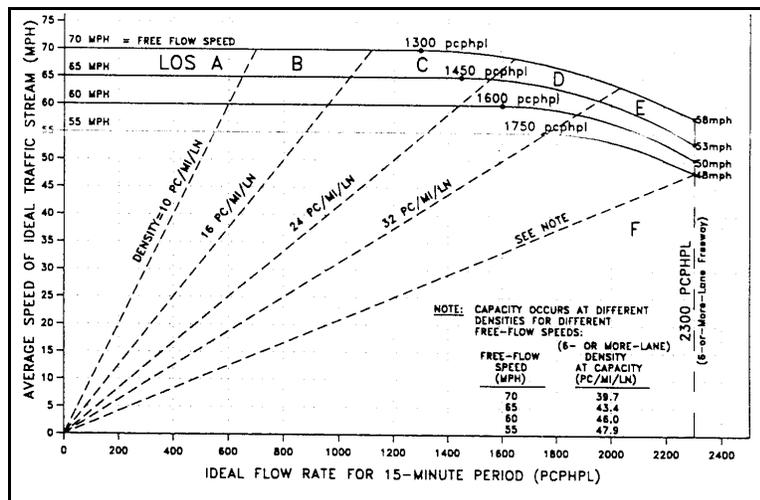
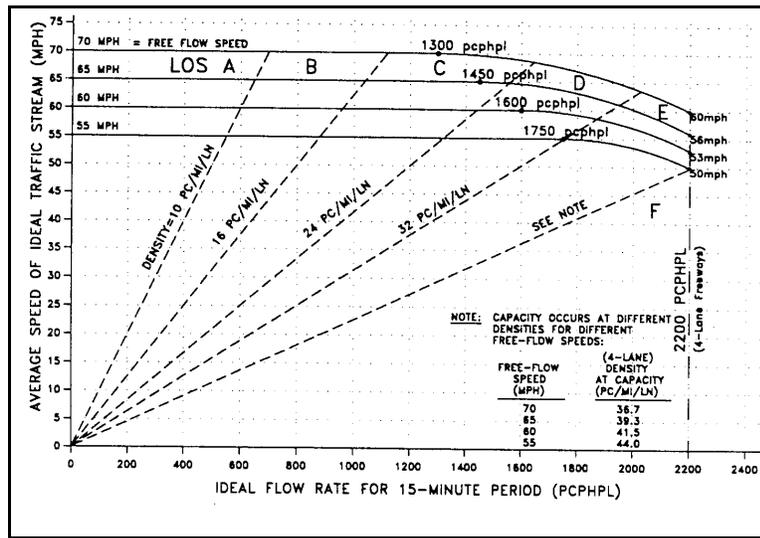


Figura 3-3: Criterios de nivel de servicio: (a) autopistas de cuatro carriles, (b) autopistas de seis o mas carriles.

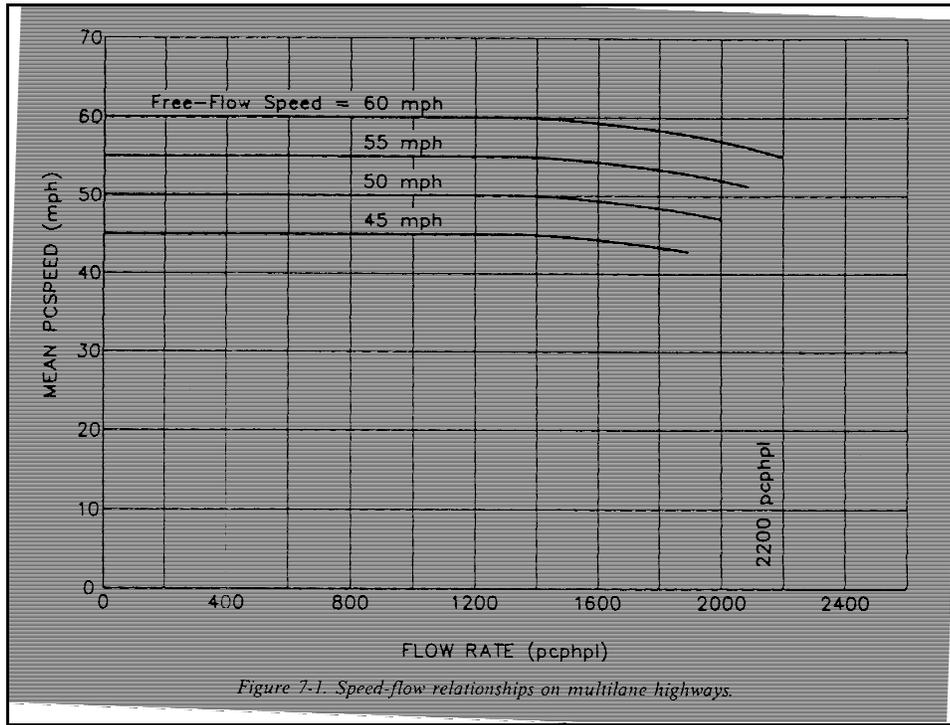


Figure 7-1. Speed-flow relationships on multilane highways.

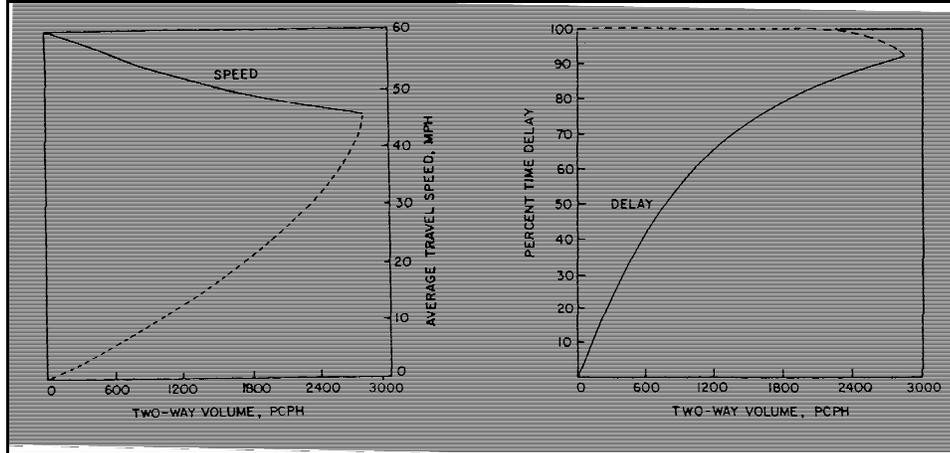


Figura 8-1: Relaciones de flujo de velocidades y porcentaje de tiempo de demora - flujo para carreteras rurales de dos carriles (condiciones ideales)

### 5.2.2 Niveles de Servicio

El concepto de niveles de servicio emplea parámetros cualitativos que caracterizan las condiciones de operación dentro de una corriente de tránsito y su percepción por los conductores y pasajeros. El análisis de los diferentes niveles de servicio caracterizan condiciones de operación relacionados con los siguientes factores:

- Velocidad y tiempo de viaje.
- Soltura de maniobra.
- Interrupciones de tránsito
- Confort y conveniencia

Para cada tipo determinado de carretera, existen seis niveles de servicio que se designan con una letra A hasta F (NDS) nivel de servicio.

A representa las mejores condiciones de operación y F las peores carreteras. Cada nivel de servicio representa un rango de condiciones de operación.

NDS-A, describe primariamente operaciones de flujo libre. Generalmente prevalecen las velocidades promedio de operación. Hoy muy pocas restricciones a la maniobra de los vehículos dentro del flujo de tránsito. El espaciamiento entre vehículos es largo (26 o más longitudes de vehículo), otorgando a los conductores un alto nivel de confort físico y psicológico.

NDS-B, también representa un razonable flujo libre, que generalmente se mantiene. El espaciamiento promedio entre los vehículos está entre 18 y 26 longitud de vehículos. La habilidad de maniobra dentro del flujo de tránsito tiene pocas limitaciones

así como el nivel de confort general (físico y psicológico).

NDS-C, Prevalecen todavía las condiciones de velocidad próxima a las de flujo libre. La libertad de maniobra dentro del flujo de tránsito está notoriamente restringida, y los cambios de carril requieren mayor atención por parte de los conductores. El espaciamiento promedio entre vehículos es de 11 a 18 longitud de vehículos. El conductor ahora experimenta un notorio aumento en la atención a causa de una mayor concentración que se requiere para una operación segura.

NDS-D, En este nivel la velocidad comienza a disminuir suavemente, con el aumento del flujo de tránsito. La densidad del tránsito empieza a deteriorarse más rápidamente a medida que se incrementa el flujo de tránsito. La libertad de maniobra está notoriamente limitada y el conductor experimenta reducción en los niveles de confort físico y psicológico. El espaciamiento promedio entre vehículos es ahora entre 9 a 11, longitud de vehículo.

NDS-E, En su límite más bajo, la operación de vehículos alcanza la capacidad. El flujo es inestable porque no existen oportunidades por el conductor de aprovechar los espacios que se producen. El espaciamiento entre vehículos es de aproximadamente la longitud de vehículo y con poca posibilidad de maniobra dentro del flujo. El confort físico y psicológico para el conductor es extremadamente pobre o muy limitado.

NDS-F, Describe la operación en condiciones de flujo forzado produciéndose

detenciones. Estas condiciones generalmente resultan en la formación de colas de vehículos a partir de una restricción producida corriente abajo.

Las detenciones de tránsito ocurren por un número de razones, incluyendo

- (1) Incidentes de tránsito causan una reducción temporaria de la capacidad en corto tramo, de modo que el número de vehículo que arriban a este tramo es mayor que el número de vehículos que lo pueden atravesar.
- (2) La recurrencia de puntos de congestión, como son las intersecciones o áreas de cruzamiento, donde el número de vehículo que llegan es superior al número de vehículos que salen.
- (3) En las predicciones, cualquier situación presenta un problema cuando en la hora pico proyectada (u otro) el flujo de tránsito excede la capacidad estimada del lugar.

En todas los casos, la congestión ocurre cuando la proporción del tránsito que arriba alcanza la capacidad actual, o el índice entre la producción del flujo y la capacidad estimada excede de 1.00.

El volumen de tránsito que esta sujeto a la condición pare-siga característico del nivel NDS-F es generalmente aceptado como el más bajo posible correspondiente al nivel NDS-E; por lo tanto el flujo de E es el valor de máximo flujo o capacidad de la carretera.

En la mayoría de los diseños con propósito de planificación, los niveles de servicio D o C son los que generalmente se usan porque

aseguran una mejor capacidad de servicio de la carretera para los usuarios.

No obstante debe quedar entendido que las decisiones que se relacionan con el mejoramiento de las carreteras se basan en los resultados que se obtienen de los estudios de ingeniería, como son los económicos, ambientales, factibilidad y demás evaluaciones en vez de lograr como único objetivo un determinado nivel C.D o E.

### 5.2.3 Volumen de Servicio

Es el número máximo de vehículos que en forma razonable pueden pasar por un tramo dado de un carril o una calzada en un sentido en carreteras multicarriles, (o en ambos sentidos en carreteras de dos o tres carriles) durante un período dado de tiempo, usualmente de 15 minutos durante el cual se mantienen condiciones de operación que corresponden al nivel de servicio elegido o especificado.

Por lo tanto cada alternativa tiene cinco volúmenes de servicio, uno por cada nivel de servicio (A hasta E) exceptuando el correspondiente a nivel F cuyo flujo es inestable.

El volumen de servicio es un volumen horario, a menos que se lo refiera explícitamente a otra unidad de tiempo.

Los volúmenes de servicio son moderados, mientras que los niveles de servicio representan un rango de condiciones. Debido a que los volúmenes de servicio se definen como el máximo para cada nivel de servicio, definen efectivamente los flujos de tránsito límites entre los varios niveles de servicio.

En el U.S.A Highway Capacity Manual, el volumen de servicio para cada nivel de servicio, se especifica en términos de Relación Volumen Capacidad (V/C), donde la capacidad (C) es la capacidad básica o

volumen en el límite entre los niveles E y F.

#### 5.2.4 Medidas de Eficiencia. (MDE)

Por cada tipo de carretera, los niveles de servicio se definen sobre la base de uno o más parámetros operacionales que mejor describan la calidad de operación.

Tipo de Complejo Vial	Mediciones de efectividad
Autopistas	Densidad (akc) Velocidad promedio (kph) Proporción de flujo (aph)
Tramos de autopistas Áreas de entrecruzamiento Intersecciones de rampas	
Autopistas multicarril	Densidad (akc) Velocidad de flujo (kph)
Autopistas de dos carriles	Tiempo de demoras (%)
Intersecciones señalizadas	Tiempo de detención promedio (seg/veh)
Intersecciones no señalizadas	Tiempo promedio total de detención (seg/veh)
Arterias	Velocidad promedio (kph)
Tránsito	Factor de carga (pers/asiento, veh/hr, pers/hr)
Peatones	Espacio (m <sup>2</sup> /peatón)

Tabla 1-2 Medidas primarias de efectividad para las definiciones de nivel de servicio

Aunque el concepto de nivel de servicio procura abarcar un amplio rango de condiciones operativas, las limitaciones propias de los datos obtenidos y disponibles, hacen impráctico tratar de reunir el rango completo de los parámetros operacionales para cada tipo de factibilidad.

Los parámetros seleccionados para definir los niveles de servicio para cada tipo de facilidad se llaman Medidas de Eficiencia y representan mediciones útiles que describen mejor la calidad de operación de un determinado tipo de alternativa.

Se transcribe la Tabla 1-2 del U.S.A. Highway Capacity Manual que indica las medidas de eficiencia básicas empleadas para definir los niveles de servicio para cada tipo de carretera. Cada nivel de servicio representa una escala de condiciones, como se define por su rango en los parámetros presentados en la Tabla 1-2 Mediciones primarias de efectividad para definir los niveles de servicio.

#### 5.3 Factores que afectan la Capacidad y el Nivel de Servicio

### 5.3.1 Condiciones Ideales

En principio, una condición ideal es aquella que aún cuando se ejecuten posteriores mejoras no se alcanza a incrementar la capacidad. Por lo tanto, las condiciones ideales son las características para un determinado tipo de carretera que se asume son las mejores posibles desde el punto de vista de capacidad; las condiciones ideales suponen:

- OBuen tiempo
- OPavimento en buenas condiciones
- OUsuarios familiarizados con la carretera, y
- OSin incidentes que obstaculicen el flujo de tránsito

Las condiciones ideales para flujo ininterrumpido son las siguientes:

- OCarriles de tránsito de 3,65 metro de ancho
- OSin obstrucciones laterales dentro de 1.80m desde el borde del pavimento
- OEn caminos rurales, alineamiento horizontal y vertical satisfactorio para velocidad de diseño de 110 km/h en carreteras multicarriles y de 100 km/h en carreteras de dos carriles.
- OCorriente de tránsito compuesta sólo por automóviles
- OTerreno horizontal

Las condiciones ideales para los accesos a una intersección son las siguientes:

- OCarriles de tránsito de 3.65 metros de ancho.
- OPendiente horizontal
- OSin dársenas de parqueo en los

accesos a la intersección

OCorriente de tránsito compuesta sólo por automóviles.

OSin paradas de ómnibus locales en los carriles.

OTodos los vehículos cruzan la intersección, sin maniobras de giro.

OSin peatones

OEn los accesos semaforizados, la señal verde disponible todo el tiempo

En la mayoría de los análisis de capacidad, las condiciones prevalecientes no son ideales para los cálculos de capacidad, el nivel de servicio debe incluir ajustes en los pronósticos para reflejar la ausencia de condiciones ideales.

Las condiciones prevalecientes son generalmente categorizadas como:

(1) Calzada, (2) Tránsito, o (3) Control.

El control y la tecnología del vehículo representan condiciones que cambian con el tiempo.

### 5.3.2. Condiciones de la calzada.

Los factores de la calzada incluyen condiciones geométricas y de diseño de los elementos. En algunos casos, los factores de condición de la calzada influyen en la capacidad de la carretera, mientras que en otros los factores pueden afectar una medida de la eficiencia, como la velocidad, sin afectar la capacidad o el volumen máximo que puede satisfacer la carretera.

Los factores de la calzada incluyen lo siguiente:

OEl tipo de la carretera y su

desarrollo ambiental circundante.  
 OAncho de carril.  
 OAncho de hombro y distancia a obstrucciones laterales.  
 OVelocidad de diseño.  
 OAlineamientos horizontal y vertical.  
 OPosibilidad de formación de cola en las intersecciones.

El tipo de carretera es crítico. La existencia de flujo ininterrumpido, la presencia de separadores, y otros importantes tipo de factores significativamente afectan las características del flujo y capacidad. El desarrollo ambiental afecta al comportamiento de calzadas de dos carriles, multicarriles y de las intersecciones semaforizadas.

Los anchos de los carriles y hombros pueden tener un significativo impacto en el flujo de tránsito. Carriles estrechos hacen que los vehículos circulen más próximos entre ellos que lo preferido por los conductores.

Los automovilistas se compensan con una velocidad reducida o con el aumento de la distancia entre los vehículos para una determinada velocidad, lo cual reduce efectivamente la capacidad, el nivel de servicio, o ambos.

Hombros estrechos y obstrucciones laterales son dos importantes impactos. Muchos conductores maniobran alejándose de las obstrucciones o separadores percibiéndolos como un posible peligro; este movimiento ocasiona un acercamiento hacia los vehículos que circulan por el carril adyacente y causan la misma reacción en los conductores de éstos por igual motivo.

Restricciones en la velocidad de diseño afectan las operaciones y el nivel de servicio, los conductores son forzados a viajar reduciendo las velocidades y ser más cuidadosos en reaccionar frente a situaciones de peligro en ambos alineamientos, horizontal y vertical resultando una reducción en la velocidad de diseño.

Los alineamientos horizontal y vertical de una carretera dependen en gran medida de la velocidad de diseño empleada y de la topografía a través de la cual se desarrolla el trazado y se construirá la carretera.

Para flujo ininterrumpido el terreno se categoriza de la siguiente manera.

**OPlano.** Este tipo de carretera se encuentra generalmente en zonas de valles en los cuales el alineamiento vertical promedio de subidas y bajadas por kilómetro está en el rango de 0 a 10 m.

-Cualquier combinación de alineamientos horizontales y verticales que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que los vehículos livianos de pasajeros; la pendiente del terreno se encuentra entre el 1 a 2 por ciento.

**Ondulados.** Este tipo de carreteras normalmente se encuentran en zonas de lomas, en donde el promedio vertical de subidas y bajadas por kilómetro está en el rango de 10 a 25 m.

-Cualquier combinación de pendientes y alineamientos horizontal y vertical que causa una reducción de velocidad de los vehículos pesados substancialmente menores que la

velocidad de los vehículos livianos de pasajeros, pero que no requiere operaciones de marcha lenta en significativos períodos de tiempo.

**OMontañoso.** Este tipo de carreteras es bastante común en el país debido a los accidentado de la topografía; el promedio de subidas y bajadas por kilómetro se encuentra en el rango de 5 a 50 m.

-Cualquier combinación de pendientes y alineamiento horizontal y vertical que obligue a los conductores de vehículos pesados a operar en marcha lenta por significativas distancias o a frecuentes intervalos.

**OEscarpado.** Este tipo de terreno se presenta solamente en algunas carreteras, en las cuales no se han seguido normas de ingeniería para su diseño y construcción, sino que su localización y trazado ha obedecido únicamente a la imperiosa necesidad de comunicar una determinada zona o población con las carreteras principales o secundarias. Se encuentran tramos en los cuales el promedio vertical de subidas y bajadas es muy superior a 50 m por kilómetro.

**Marcha lenta:** La máxima velocidad que un vehículo pesado puede mantener en una subida para un determinado valor de la pendiente.

Las definiciones indicadas precedentemente son de carácter general y dependen de la composición de vehículos pesados del flujo vehicular. En general, a medida que el terreno es más accidentado la capacidad y el nivel de servicio se reducen. Esto es más significativo en carreteras rurales de dos

carriles, donde lo accidentado del terreno no solamente afecta la capacidad de operaciones de los vehículos en la corriente de tránsito, sino también restringe la oportunidad de adelantarse a los vehículos que viajan a baja velocidad.

Además, del impacto del terreno, pendientes aisladas de significativa longitud pueden tener un substancial efecto en la operación de los vehículos. Los vehículos pesados reducen su velocidad en forma significativa creando dificultades operacionales en la corriente de tránsito e ineficiente uso de la calzada.

Las pendientes también pueden tener un importante impacto de operación en los accesos a una intersección; los vehículos deben superar al mismo tiempo la pendiente y la inercia del vehículo detenido.

### 5.3.3 Condiciones de Tránsito

Las condiciones de tránsito tienen influencia en la capacidad y el nivel de servicio, incluyendo: (1) tipo de vehículo, (2) carril o distribución direccional.

Los procedimientos suponen que los conductores están familiarizados con la carretera. Menor eficiencia en el uso de la calzada en los fines de semana o en áreas recreacionales es generalmente atribuida mayoritariamente a la falta específica de conocimiento local.

### Tipo de Vehículo

Toda vez que otro tipo de vehículos que no sean los de pasajeros (incluyendo camiones livianos y camionetas) existen en la corriente

de tránsito, el número de vehículos que hacen uso de la carretera es afectado. Los vehículos pesados se definen como aquellos que tienen más de cuatro llantas o ruedas.

Los vehículos pesados afectan adversamente el tránsito de dos maneras:

- (1) Los vehículos pesados son más largos que los de pasajeros y por lo tanto ocupan más espacio en la calzada.
- (2) Los vehículos pesados tienen una menor capacidad de operación que los vehículos de pasajeros, particularmente con referencia a la aceleración, desaceleración y la posibilidad o habilidad de mantener la velocidad en las pendientes.

El segundo impacto (2) es el más crítico. Debido a que los vehículos pesados no pueden mantener la corriente de los vehículos de pasajeros; en muchas situaciones, se producen claros que no pueden ser aprovechados fácilmente por los vehículos livianos. Los claros crean ineficiencia en el uso de la superficie de la calzada que no puede ser completamente superada. Este efecto es particularmente severo en pendientes de subida pronunciadas y sostenidas, donde la diferencia de la posibilidad de operación es más pronunciada, y en carreteras de dos carriles donde el sobrepaso debe realizarse sobre el carril opuesto.

Los vehículos pesados también pueden afectar las operaciones en pendientes de bajada, particularmente cuando son pronunciadas, lo que requiere que la operación de estos vehículos se realice en marcha lenta o baja. En estos casos los

vehículos pesados nuevamente deben operar a velocidad más reducida que la de los vehículos de pasajeros y los espacios en la corriente de tránsito se vuelven a formar.

Los vehículos pesados están generalmente agrupados en tres categorías:

- (1) Camiones:** Vehículos destinados principalmente para el transporte de mercaderías o de servicios (excluyendo transporte público)
- (2) Vehículos recreacionales:** Vehículos operados por conductores privados y relacionados con el transporte de equipos para recreación.
- (3) Buses:** Vehículos relacionados con el transporte de personas en forma de alquiler, concesión de línea, charter.

Los buses se categorizan además de como urbanos, de tránsito local e interurbanos operando sin detenciones o paradas para ascenso y descenso de pasajeros sobre la carretera. Los buses para el tránsito local usualmente realizan paradas en la calzada.

Existe una variación considerable en las características y capacidad de funcionamiento de los vehículos pesados dentro de cada clase, del mismo modo que existe en los vehículos livianos.

Los camiones cubren un rango particularmente amplio de vehículos, desde camionetas (vans) livianas, hasta los vehículos de transporte de materiales como madera, piedra, hierro. Individualmente los camiones tienen una amplia variedad de características operacionales de acuerdo con la magnitud de su carga.

Los vehículos recreacionales también cubren una amplia variedad de tipos, incluyendo, acampadores autopropulsadas o remolcadas, casa rodantes; y vehículos de pasajeros o pequeños camiones destinados al remolque de una variedad de equipo recreacional como botes, trineos, motocicletas. (Aun cuando este tipo de vehículos pueden tener mejor capacidad de operación que los camiones, sus conductores no son profesionales por lo que hacen sentir las deficiencias de estos vehículos).

Los buses interurbanos son relativamente uniformes en su capacidad de funcionamiento. el tránsito de buses urbanos es generalmente de menor potencia que el de buses interurbanos. Pero su más severo impacto en el tránsito resulta como consecuencia de su forma de operación en el ascenso y descenso de pasajeros sobre la calzada. Los buses locales generalmente pueden realizar este tipo de maniobra sobre las dársenas usualmente ubicadas en las intersecciones y en otros casos directamente operando en carriles destinados exclusivamente a los buses u ómnibus. Donde no existen dársenas o carriles las detenciones de los buses ocasionan el bloqueo del carril. Donde existen las dársenas de detención, el bus u ómnibus interrumpe el flujo de tránsito en el carril adyacente cuando opera al ingreso y egreso de la misma.

### **Distribución por sentido de circulación y por carriles**

En adición a la distribución por tipo de vehículo, existen otros dos factores que afectan la capacidad, el volumen y nivel de servicio: (1) La distribución por sentido de

circulación y (2) La distribución por carriles.

(1) La distribución direccional tiene un dramático impacto en la operación de una carretera rural de dos carriles.

Las condiciones óptimas ocurren cuando la división del tránsito opera en el 50 por ciento por cada dirección. La capacidad declina a medida que se produce el desbalance de las corrientes de tránsito.

Para el caso de carreteras multicarriles, el análisis de capacidad se centra en una sola dirección del flujo vehicular. Sin embargo, cada sentido de circulación usualmente se diseña para acomodar el volumen pico en la dirección que registra el pico. Como característica típica, el volumen pico durante la mañana ocurre en una dirección y el volumen pico de la tarde ocurre en la dirección opuesta.

(2) La distribución por carriles es también otro factor en las carreteras multicarriles. Es característico que el carril adyacente al hombro de una carretera multicarril conduzca menos tránsito que los otros carriles. La distribución por carriles depende entre otros factores de las variaciones de velocidad y del volumen del tránsito.

### **5.3.4 Condiciones de Control**

Para flujo interrumpido, el control del tiempo disponible para una determinada corriente de tránsito es un elemento crítico que afecta la capacidad, el volumen y nivel de servicio.

(1) El más crítico tipo de control es el semáforo de tránsito, las operaciones están afectadas por el tipo de control que se

emplee, fases de la señal; intervalo de ciclo; tiempo de ciclo; y demás relaciones vinculadas con medidas de control.

(2) La señal de detención o ALTO también afecta la capacidad pero en menor importancia determinística. Donde el semáforo de tránsito asigna determinados tiempos para cada movimiento permitido, la señal de ALTO en una intersección de dos sentidos de circulación controlada con este tipo de señal, asigna el derecho de paso o cruce en forma permanente a la calle de mayor corriente de tránsito.

Los conductores circulando en la calle de menor corriente de tránsito pueden advertir claros sobre la calle de mayor corriente en los que podrían ejecutar maniobras. Por esto la capacidad de tales accesos depende de las condiciones del tránsito sobre la calle de mayor volumen de circulación.

(3) Todo control de detención fuerza a los conductores a detenerse y alternativamente entrar en la intersección. La capacidad y las características operacionales pueden variar significativamente dependiendo de la demanda de tránsito que se origina en cada acceso.

Otros tipos de control y de regulación pueden tener impacto sobre la capacidad, nivel y volumen de servicio:

O La restricción que ocasiona la dársena de estacionamiento puede incrementar el número de carriles disponibles de una calle o carretera.

O Restricciones en maniobras de giro pueden eliminar conflictos en intersecciones e

incrementar la capacidad

O El control de carriles puede operar positivamente con las necesidades de circulación en una carretera y emplearse exitosamente en intersecciones para crear carriles reversibles en arterias críticas.

O Calles de sentido único de circulación eliminan conflictos que se originan por las maniobras de giro hacia la izquierda o del tránsito de circulación en sentido contrario.

### 5.3.5 Tecnología

El desarrollo tecnológico puede aportar una disminución en el espaciamiento entre vehículos lo que resultaría en un aumento de la capacidad de las carreteras.

## 5.4 Procedimientos de Cálculo de Capacidad de Caminos

1. Tramos de carreteras rurales de dos trochas
2. Tramos multicarriles, rurales y suburbanos
3. Tramos básicos de autopistas de accesos limitado
4. Areas de entrecruzamiento
5. Rampas y empalmes de rampas
6. Arterias urbanas y suburbanas

Referencia: Highway Capacity Manual, Special Report 209, Third Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A., 1994

Capítulo 3, Secciones básicas de autopistas (de accesos limitados)

Capítulo 4, Areas de entrecruzamiento

Capítulo 5, Rampas and empalmes de rampas

Capítulo 6, Sistemas de autopistas  
 Capítulo 7, Caminos urbanos y suburbanos multicarriles  
 Capítulo 8, Caminos de dos carriles  
 Capítulo 9, Intersecciones señalizadas  
 Capítulo 10, Intersecciones no señalizadas  
 Capítulo 11, Arterias urbanas y suburbanas

#### 5.4.1. Tramos de carreteras rurales de dos carriles

Una carretera de dos carriles se define como una vía de dos carriles, correspondiendo un carril a cada dirección del flujo de tránsito. El sobrepaso de vehículos requiere la utilización del carril opuesto, donde la distancia de visibilidad de sobrepaso y el tránsito en sentido opuesto lo permitan.

El volumen de servicio para un determinado nivel de servicio se calcula de la siguiente manera:

$$Sv_i = 2,800 * VCR_i * F_{DS} * PHF * F_w * F_{HVi}$$

donde

$Sv_i$  = volumen de servicio en veh/hr para el nivel de servicio  $i$

$i$  = Nivel de servicio (NS), por ejemplo:  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , o  $E$  (capacidad)

$VCR_i$  = máxima relación volumen capacidad para NS  $i$ , de Tabla 1

$F_{DS}$  = factor de ajuste por sentido o dirección del tránsito (cuando resulta diferentes de 50/50, de Tabla 2)

$PHF$  = factor de hora pico (si es conocido) o valor por defecto, de Tabla 3

$F_w$  = factor de ajuste por anchos de carril menores a 3.65 metros y anchos de hombro menores a 1.8 metros, de Tabla 4

$F_{HVi}$  = factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo de tránsito con NS  $i$

$$F_{HVi} = 1 / [1 + P_T * (E_T - 1) + P_B * (E_B - 1)]$$

donde

$P_T$  = porcentaje de camiones pesados respecto al flujo total de tránsito

$P_B$  = porcentaje de buses respecto al flujo total de tránsito

$E_T$  = unidades equivalentes de automóviles (PCU) para camiones pesados, para un determinado NS  $i$  y clase de terreno, de Tabla 5

$E_B$  = unidades equivalentes de automóviles (PCU) para buses, para un determinado NS  $i$  y clase de terreno, de Tabla 5

Lo anterior se aplica a tramos de camino con clases de terreno genéricas (plano, ondulado y montañoso), mientras que lo que se indica a continuación resulta aplicable a secciones cortas de caminos con pendientes específicas.

Tabla 1  
Máxima Relación V/C para un Nivel de Servicio - Caminos de dos carriles

Nivel de Servicio (NS)	Terreno Plano						Terreno Ondulado						Terreno Montañoso					
	Porcentaje Sin Paso (%)						Porcentaje Sin Paso (%)						Porcentaje Sin Paso (%)					
	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
A	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78

Tabla 2  
La Capacidad de caminos de 2 carriles está afectada por la Separación Direccional del Tránsito

Factores de Ajuste por Distribución Direccional en Segmentos Generales del Terreno

Separación Direccional (%/%)	Relación: Capacidad vs. Capacidad Ideal	Capacidad (aph)
50/50	1.00	2800
60/40	0.94	2650
70/30	0.89	2500
80/20	0.83	2300
90/10	0.75	2100
100/0	0.71	2000

Tabla 3  
Factores de Hora Pico (PHF) para Caminos de 2 Carriles

## A. En base a flujo aleatorio

Volumen Horario (veh/hr)	Factor de Hora Pico (PHF)
100	0.83
200	0.87
300	0.90
400	0.91
500	0.91
600	0.92
700	0.92
800	0.93
900	0.93
1000	0.94
1400	0.94
1500	0.95
1800	0.95
1900	0.96

Tabla 4  
Factores de Ajuste por Efecto Combinado de  
Carriles Angostos y Anchos de Hombros Restringidos

Hombro Ancho (m)	Carril de 3.65 metros		Carril de 3.35 metros		Carril de 3.05 metros		Carril de 2.75 metros	
	NS A-D	NS E						
1.8	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Tabla 5  
 Unidades Equivalentes de Automóviles (PCU)  
 para Camiones y Buses en Caminos de Dos Carriles  
 sobre segmentos de terreno genérico

Tipo de Vehículo	NS	Tipo de Terreno		
		Plano	Ondulado	Montañoso
Camiones, Et	A	2.0	4.0	7.0
	B	2.2	5.0	10.0
	C	2.2	5.0	10.0
	D	2.0	5.0	12.0
	E	2.0	5.0	12.0
Buses, Eb	A	1.8	3.0	5.7
	B	2.0	3.4	6.0
	C	2.0	3.4	6.0
	D	1.6	2.9	6.5
	E	1.6	2.9	6.5

Tabla 8-9  
PCUs Equivalentes para Pendientes Especificas en Caminos Rurales de Dos Carriles

Longitud de Pendiente (km)	Pendiente (%)				
	3	4	5	6	7
0.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
0.8	1.7	1.9	2.0	2.2	2.4
1.2	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0
1.6	2.1	2.4	2.8	3.3	3.8
2.4	2.5	3.1	3.8	4.7	5.8
3.2	2.9	3.8	4.8	6.3	8.2
4.8	3.8	5.5	7.8	11.3	16.1
6.4	4.9	7.4	11.5	18.1	28.0

Donde un tramo en pendiente continua, ya sea ascendente o descendente, se encuentra conformada por un determinado número de pendientes diferentes, la pendiente ascendente o descendente compuesta se calcula como el desnivel total de la pendiente compuesta, en metros, dividida por la longitud horizontal de desarrollo de dicha pendiente, en metros, y multiplicada por 100 para expresarla como porcentaje.

El análisis de una pendiente específica no resulta necesario para pendientes menores al 3 por ciento o de longitudes menores que 0.8 km.

Para una sección de pendiente específica o compuesta, el volumen de servicio para un nivel de servicio  $i$  se calcula:

$$SV_i = 2,800 * VCR_i * F_{DS} * PHF * F_w * F_G * F_{HV_i}$$

donde

$SV_i$  = volumen de servicio en veh/hr para un nivel de servicio  $i$

$i$  = el NS, por ejemplo:  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , o  $E$  (capacidad)

$VCR_i$  = máxima relación volumen capacidad para un porcentaje de pendiente, velocidad y porcentaje de zonas sin sobrepaso, de Tabla 11

$F_{DS}$  = factor de ajuste por dirección del tránsito (si resulta diferente de 50/50), de Tabla 12

$PHF$  = factor de hora pico (si se conoce) o valor por defecto, de Tabla 3

$F_w$  = factor de ajuste por ancho de carril menor que 3.65 metros y ancho de hombro menor a 1.8 metros, de Tabla 4

$F_G$  = factor de ajuste por efectos de operación de las pendientes sobre los automóviles

$$F_G = 1 / [1 + (P_p * I_p)]$$

donde

$P_p$  = proporción de automóviles en el flujo ascendente de tránsito, expresado como un decimal

$I_p$  = factor de impedancia para automóviles, calculado como

$$I_p = 0.02 * (E - E_0)$$

donde

$E$  = equivalente base de automóviles para un determinado porcentaje de pendiente, longitud de la misma y velocidad, de Tabla 13

$E_0$  = equivalente base de automóviles para 0 % de pendiente y una determinada velocidad, de Tabla 13

$F_{HV_i}$  = factor de ajuste por presencia de vehículos pesados en el flujo ascendente de tránsito a NS  $i$

$$F_{HV_i} = 1 / [1 + P_{HV} * (E_{HV} - 1)]$$

donde

$P_{HV}$  = vehículos pesados (camiones + buses)

como porcentaje del total de vehículos en el flujo ascendente de tránsito

$E_{HV}$  = equivalente de automóviles para una composición específica (mixta) de vehículos pesados presentes en el flujo de tránsito, calculado como:

$$E_{HV} = 1 + (0.25 + P_{T/HV}) * (E - 1)$$

donde

$P_{T/HV}$  = proporción de camiones en los vehículos pesados, por ej., la proporción de camiones en el flujo de tránsito dividido por la proporción total de vehículos pesados en el flujo de tránsito

$E$  = equivalente base de automóviles para una determinada pendiente (%), longitud de la misma y velocidad, de Tabla 13

El procedimiento descrito anteriormente permite el cálculo de los niveles (velocidades) del flujo en servicio sobre una pendiente específica de un camino de dos carriles para NS A a D.

La velocidad del flujo en servicio funcionando a capacidad, por ej.  $SF_E$

La velocidad (km/hr) a la cual se alcanza la capacidad ( $S_C$ ) está relacionada con la Velocidad del flujo a capacidad por la siguiente ecuación;

$$S_C = 40 + 6.0 * (V_C / 1000)^2$$

donde

$V_C$  = Velocidad del flujo a capacidad, en vehículos mixtos por hora

#### 5.4.2. Tramos de Carreteras multicarriles rurales y suburbanas

Las carreteras multicarriles rurales y suburbanas presentan las siguientes características:

- C El desarrollo de las áreas aledañas al camino no es intenso.
- C La densidad del tránsito en los puntos de acceso no es alta.
- C Las intersecciones señalizadas se encuentran a más de 3.2 km.

La predicción del Nivel de Servicio (NS) de una carretera multicarril requiere de tres etapas:

- (a) Determinación de la velocidad de flujo libre,
- (b) Determinación de la Velocidad de Flujo de Tránsito (volumen) con sus correspondientes ajustes, y
- (c) Determinación del NS.

#### Determinación de la velocidad de flujo libre (km/hr)

$$FFS = FFS_I - F_M - F_{LW} - F_{LC} - F_A$$

donde

$FFS$  = velocidad estimada de flujo libre (km/hr)

$FFS_I$  = velocidad estimada de flujo libre (km/hr) para condiciones ideales, de Tabla 21

$F_M$  = ajuste por tipo de separación central

2.6 para carreteras no divididas

0.0 para carreteras divididas

$F_{LW}$  = ajuste por ancho de carril

0.0 para ancho de carril 3.65 metros

3.1 para ancho de carril 3.35 metros

10.6 para ancho de carril 3.05 metros

$F_{LC}$  = ajuste por distancia lateral total (TLC), de Tabla 22

$$TLC = LC_R + LC_L$$

donde

$LC_R$  = distancia lateral (metros) desde el borde externo del carril derecho hasta los obstáculos en la zona de camino (usar 1.8 metros si es mayor de 1.8 metros)

$LC_L$  = distancia lateral (metros) desde el borde externo del carril izquierdo hasta los obstáculos ubicados sobre la mediana o cantero central (usar 1.8 metros si es mayor de 1.8 metros). Para carreteras no divididas,  $LC_L$  es siempre 1.8 metros.

$F_A$  = factor de ajuste por sitios de acceso, de Tabla 23

La Capacidad (o máximo Volumen de Servicio al NS = E) en unidades de automóviles (PCU) por hora y por carril (aphpc) es:

2200 pcphpl para velocidad de flujo libre

(FFS) de 96 km/hr

2100 pcphpl para velocidad de flujo libre (FFS) de 88 km/hr

2000 pcphpl para velocidad de flujo libre (FFS) de 80 km/hr

1900 pcphpl para velocidad de flujo libre (FFS) de 72 km/hr

### Determinación de la Velocidad de Flujo ajustada

A fin de calcular la velocidad de flujo equivalente en automóviles de pasajeros (PCU) utilizada en el análisis del NS, se realizan dos ajustes al volumen horario del tránsito:

C factor de ajuste por hora pico

C factor de ajuste por vehículo pesado

El número de carriles se utiliza también para expresar la velocidad de flujo por carril. Este ajuste se aplica de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{V}{N * PHF * F_{HV}}$$

donde

$V_p$  = velocidad del flujo en servicio (aphpc)

V = volumen (número de vehículos que pasan un punto en 1 hora)

N = número de carriles

PHF = factor de hora pico, use información local actualizada o 0.85 para caminos rurales multicarril y 0.92 para caminos suburbanos multicarril

$F_{HV}$  = factor de ajuste por vehículos pesados

$$F_{HV} = 1 / [1 + P_T * (E_T - 1)]$$

donde

$F_{HV}$  = factor de ajuste por presencia de vehículos pesados en el flujo del tránsito

$E_T$  = vehículos de pasajeros equivalentes (PCU) para camiones y buses

Para tramos extendidos de caminos en general,  $E_T$  =

1.5 para terreno plano

3.0 para terreno ondulado

6.0 para terreno montañoso

Para pendientes específicas, ver Tabla 24

$P_T$  = proporción de camiones y buses en el flujo del tránsito (expresado como decimal)

#### Determinación del Nivel de Servicio (NS)

El NS en un camino multicarril puede determinarse calculando la relación volumen/capacidad (VCR) y luego determinando el rango de NS en la Tabla 25, la cual incluye el valor calculado de VCR.

$$VCR = V_p / SV_E$$

donde

VCR = relación volumen capacidad

$V_p$  = velocidad de servicio del flujo (aphpc) calculada a partir de B anteriormente

$SV_E$  = capacidad o volumen de servicio (aphpc) para NS = E, determinada a partir de A anteriormente

#### **Segmentación del Camino**

Algunas veces, para efectuar el análisis, resulta necesario dividir un camino en secciones separadas. Las siguientes condiciones indican tal necesidad:

- C Un cambio en el número de carriles a lo largo del camino,
- C Un cambio en el tipo de división central (mediana),
- C Un cambio en la pendiente longitudinal de 2 por ciento o más, o una rampa ascendente constante de más de 1,200 metros de longitud,
- C La presencia de una señal de tránsito signal a lo largo del camino multicarril,
- C A cambio significativo en la densidad de puntos de acceso dentro de un área definida del camino,
- C Límites diferentes de velocidad a lo largo del camino, y
- C La presencia de una condición "cuello de botella".

Tabla 11  
Valores de VCR vs. Velocidad, Porcentaje de Pendiente, y Porcentaje de Zonas Sin Paso  
para Pendientes Específicas

Pendiente (%)	Velocidad Promedio en Subida (km/hr)	Relación Volumen Capacidad (VCR)					
		Zonas Sin Paso (%)					
		2	20	40	60	80	100
3	88	0.27	0.23	0.19	0.17	0.14	0.12
	84	0.42	0.38	0.33	0.31	0.29	0.27
	80	0.64	0.59	0.55	0.52	0.49	0.47
	72	1	0.95	0.91	0.88	0.86	0.84
	68	1	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94
	64	1	1	1	1	1	1
4	88	0.25	0.21	0.18	0.16	0.13	0.11
	84	0.4	0.36	0.31	0.29	0.27	0.25
	80	0.61	0.56	0.52	0.49	0.47	0.45
	72	0.97	0.92	0.88	0.85	0.83	0.81
	68	0.99	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
	64	1	1	1	1	1	1
5	88	0.21	0.17	0.14	0.12	0.1	0.08
	84	0.36	0.31	0.27	0.24	0.22	0.2
	80	0.57	0.49	0.45	0.41	0.39	0.37
	72	0.93	0.84	0.79	0.75	0.72	0.7
	68	0.97	0.9	0.87	0.85	0.83	0.82
	64	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
6	88	0.12	0.1	0.08	0.06	0.05	0.04
	84	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.13
	80	0.48	0.4	0.35	0.31	0.28	0.26
	72	0.85	0.76	0.68	0.63	0.59	0.55
	68	0.93	0.84	0.78	0.74	0.7	0.67
	64	0.97	0.91	0.87	0.83	0.81	0.78
7	88	0	0	0	0	0	0
	84	0.13	0.1	0.08	0.07	0.05	0.04
	80	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12
	72	0.77	0.65	0.55	0.46	0.4	0.35
	68	0.86	0.75	0.67	0.6	0.54	0.48
	64	0.93	0.82	0.75	0.69	0.64	0.59
	56	1	0.91	0.87	0.82	0.79	0.76
	48	1	0.95	0.92	0.9	0.88	0.86

Tabla 12  
Factor de Ajuste por Distribución Direccional en Pendientes Específicas

Porcentaje de Tránsito en Subida	Factor de Ajuste
100	0.58
90	0.64
80	0.70
70	0.78
60	0.87
50	1.00
40	1.20
30 o menos	1.50

Tabla 13  
Automóviles Equivalentes para Pendientes Específicas en Caminos de Dos Carriles

Pendiente (%)	Longitud de Pendiente (km)	Equivalentes de Automóviles					
		Velocidad Promedio en Subida (km/hr)					
		88	84	80	72	64	48
0	All	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3
3	0.4	2.9	2.3	2.0	1.7	1.6	1.5
	0.8	3.7	2.9	21.4	2.0	1.8	1.7
	1.2	4.8	3.6	2.9	2.3	2.0	1.9
	1.6	6.5	4.6	3.5	2.6	2.3	2.1
	2.4	11.2	6.6	5.1	3.4	2.9	2.5
	3.2	19.8	9.3	6.7	4.6	3.7	2.9
	4.8	71.0	21.0	10.8	7.3	5.6	3.8
	6.4		48.0	20.5	11.3	7.7	4.9
4	0.4	3.2	2.5	2.2	1.8	1.7	1.6
	0.8	4.4	3.4	2.8	2.2	2.0	1.9
	1.2	6.3	4.4	3.5	2.7	2.3	2.1
	1.6	9.6	6.3	4.5	3.2	2.7	2.4
	2.4	19.5	10.3	7.4	4.7	3.8	3.1
	3.2	43.0	16.1	10.8	6.9	5.3	3.8
	4.8		48.0	20.0	12.5	9.0	5.5
	6.4			51.0	22.8	13.8	7.4
5	0.4	3.6	2.8	2.3	2.0	1.8	1.7
	0.8	5.4	3.9	3.2	2.5	2.2	2.0
	1.2	8.3	5.7	4.3	3.1	2.7	2.4
	1.6	14.1	8.4	5.9	4.0	3.3	2.8
	2.4	34.0	16.0	10.8	6.3	4.9	3.8
	3.2	91.0	28.3	17.4	10.2	7.5	4.8
	4.8			37.0	22.0	14.6	7.8
	6.4				55.0	25.0	11.5
6	0.4	4.0	3.1	2.5	2.1	1.9	1.8
	0.8	6.5	4.8	3.7	2.8	2.4	2.2
	1.2	11.0	7.2	5.2	3.7	3.1	2.7
	1.6	20.4	11.7	7.8	4.9	4.0	3.3
	2.4	60.0	25.2	16.0	8.5	6.4	4.7
	3.2		50.0	28.2	15.3	10.7	6.3
	4.8			70.0	38.0	23.9	11.3
	6.4				90.0	45.0	18.1
7	0.4	4.5	3.4	2.7	2.2	2.0	1.9
	0.8	7.9	5.7	4.2	3.2	2.7	2.4
	1.2	14.5	9.1	6.3	4.3	3.6	3.0
	1.6	31.4	16.0	10.0	6.1	4.8	3.8
	2.4		39.5	23.5	11.5	8.4	5.8
	3.2		88.0	46.0	22.8	15.4	8.2
	4.8				66.0	38.5	16.1
	6.4						28

Tabla 21  
Velocidad Estimada de Flujo Libre (km/hr)  
Para Condiciones Ideales

Basada en Límite de Velocidad Permitida (km/hr)

Velocidad Límite (km/hr)	Velocidad de Flujo Libre (km/hr)
100	110
90	100
80	90
70	78
60	68

Tabla 22  
Ajuste por Distancia Lateral

Caminos de Cuatro Carriles		Caminos de Seis Carriles	
Distancia Lateral Total (m)	Reducción en la Velocidad de Flujo Libre (km/hr)	Distancia Lateral Total (m)	Reducción en la Velocidad de Flujo Libre (km/hr)
3.65	0.0	3.65	0.0
3.05	0.6	3.05	0.6
2.40	1.4	2.40	1.4
1.80	2.1	1.80	2.1
1.20	2.9	1.20	2.7
0.60	5.8	0.60	4.5
0.00	8.7	0.00	6.3

Tabla 23  
Ajuste por Densidad de Puntos de Acceso

Puntos de Acceso por Km	Reducción en la Velocidad de Flujo Libre (km/hr)
0	0
6	4
12	8
18	12
24 o más	16

Número de Puntos de Acceso  
para Zonas de Desarrollo General

Tipo de Desarrollo	Puntos de Acceso por Km (a un lado del camino)
Rural	1-6
Suburbano-Baja Densidad	7-12
Suburbano-Alta Densidad	13 o más

Tabla 24  
Equivalentes en Automóviles (PCU) para Camiones y Buses en Pendientes Ascendentes Uniformes

Pendiente (%)	Longitud Pendiente(km)	Porcentaje de Camiones y Buses (%)				
		2	5	10	20	25
2	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.2	2.5	2	1.5	1.5	1.5
	1.6	4	3	2.5	2	2
	2.4	4.5	3	2.5	2	2
	3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
3	0.4	3	2.5	2	1.5	1.5
	0.8	6	4	3	2.5	2
	1.2	7.5	5	4	3	3
	1.6	8	5.5	4	3.5	3
	2.4	8.5	5.5	4.5	3.5	3
	3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	4	0.4	5.5	4	3	2.5
0.8		9.5	6.5	5	4	3.5
1.2		10.5	7	5.5	4.5	4
1.6		11	7.5	6	5	4.5
2.4		11	7.5	6	5	4.5
3		2	1.5	1.5	1.5	1.5
5	0.4	6	4	3	2.5	2
	0.5	9	6	5	4	3.5
	0.8	12.5	8.5	7	6	5
	1.2	13	9	7	6	5.5
	1.6	13	9	7	6	5.5
	2.4	13	9	7	6	5.5
	3	4.5	3	2.5	2	2
6	0.4	9	6	5	3.5	3
	0.5	12.5	8.5	6.5	6	5.5
	0.8	15	10	8	7.5	6.5
	1.2	15	10	8.5	7.5	6.5
	1.6	15	10	8.5	7.5	6.5
	2.4	15	10	8.5	7.5	6.5
	3	15	10	8.5	7.5	6.5

Tabla 25  
Criterios de Nivel de Servicio (NS) para Caminos Multicarril

Nivel de Servicio (NS)	Velocidad de Flujo Libre															
	96 km/hr				88 km/hr				80 km/hr				72 km/hr			
	Densidad Máxima	Velocidad Promedio	Máxima Relación V/C	Velocidad Flujo en Servicio	Densidad Máxima	Velocidad Promedio	Máxima Relación V/C	Velocidad Flujo en Servicio	Densidad Máxima	Velocidad Promedio	Máxima Relación V/C	Velocidad Flujo en Servicio	Densidad Máxima	Velocidad Promedio	Máxima Relación V/C	Velocidad Flujo en Servicio
	(a/km/c)	(km/hr)		(aphpc)	(a/km/c)	(km/hr)		(aphpc)	(a/km/c)	(km/hr)		(aphpc)	(a/km/c)	(km/hr)		(aphpc)
A	7	96	0.33	720	7	88	0.31	660	7	80	0.30	600	7	72	0.28	540
B	12	96	0.55	1200	12	88	0.52	1100	12	80	0.50	1000	12	72	0.47	900
C	17	94	0.75	1650	17	86	0.72	1510	17	80	0.70	1400	17	72	0.66	1260
D	21	91	0.89	1940	21	84	0.86	1800	21	78	0.84	1670	21	70	0.79	1500
E	25	88	1.00	2200	25	82	1.00	2100	27	76	1.00	2000	28	68	1.00	1900

Cuando un camino deba ser segmentado para el análisis, debe aplicarse el criterio profesional. En general, la longitud mínima de una sección de estudio debería ser del orden de los 800 metros. Además, los límites de las secciones de estudio deberán estar por lo menos a 400 metros de toda intersección señalizada.

El NS de un camino multicarril puede determinarse sobre la base de la velocidad de flujo libre (FFS) y la velocidad de flujo en servicio ( $V_p$ ) en aphpc.

En primer lugar se calcula la densidad de tránsito como sigue:

$$D = V_p / S$$

donde

D = densidad en unidades de automóviles de pasajeros por km y por carril (a/km/c)

$V_p$  = velocidad del flujo en servicio (aphpc)

S = velocidad promedio de viaje de los automóviles (km/hr)

El NS puede entonces determinarse a partir de los rangos de densidad incluidos en la Tabla 25.

### Tramos

Los procedimientos de análisis de la Capacidad se utilizan principalmente para el diseño de los elementos de la sección transversal (número de carriles, anchos de carriles, hombros) y para la selección de las configuraciones de carriles para los elementos del camino.

A fin de segmentar una carretera de accesos controlados en tramos, pueden considerarse los siguientes aspectos a modo de guía:

1. Cada sección de la autopista entre rampas o empalmes con carreteras principales deben considerarse como tramos básicos en forma separada.
2. Dentro de esos tramos básicos, cualquier

pendiente mayor de 400 metros (para pendientes mayores del 3 por ciento) u 800 metros (para pendientes menores del 3 por ciento) deben ser consideradas como tramos básicos en forma separada. Cualquier cambio en el tipo de terreno, como por ejemplo de plano a ondulado, implicará la necesaria división del tramo en sub-tramos separados. Los tramos en rampas descendentes generalmente se consideran como terreno plano.

3. Cada empalme debería considerarse separadamente, en combinación con las rampas ascendente y descendente adyacentes.

4. Las áreas potenciales de entrecruzamiento simple y múltiple deben ser investigadas.

#### 5.4.3. Tramos básicos de autopistas de accesos limitados

Una autopista se define como una carretera dividida, con control total de accesos y dos o más carriles para uso exclusivo del tránsito en cada dirección.

Una autopista posee tres tipos de sub-tramos componentes:

- (1) Tramos básicos de autopista que no se encuentran afectados por movimientos convergentes o divergentes en las rampas aledañas, o por movimientos de entrecruzamiento;
- (2) Areas de entrecruzamiento donde dos o más flujos deben cruzar cada uno de los restantes a lo largo de una longitud específica de la autopista; y

- (3) Empalmes de rampas, en los cuales las rampas de acceso o egreso intersectan la autopista.

El volumen de servicio ( $SV_i$ ) para un tramo básico de autopista a niveles alternativos de servicio desde A a E se calcula como sigue:

$$SV_i = SV_E * VCR_i * N * F_W * F_{HV}$$

donde

$SV_i$  = velocidad de flujo en servicio para NS  $i$ , bajo las condiciones prevalecientes del camino y el tránsito, para N carriles en una dirección, en veh/hr

$SV_E$  = capacidad ideal, volume de servicio a NS E

2,200 aphpc para autopistas de 4 carriles  
2,300 aphpc para autopistas de 6 o más carriles

$VCR_i$  = máxima relación volumen/capacidad para NS  $i$ , de Tabla 31

N = número de carriles en una dirección

$F_W$  = factor de ajuste por efecto de los anchos restringidos de carril y distancia lateral, de Tabla 32

$F_{HV}$  = factor de ajuste por efecto de vehículos pesados en el flujo del tránsito

$$F_{HV} = 1 / [1 + P_{HV} * (E_{HV} - 1)]$$

donde

$E_{HV}$  = automóviles equivalentes (PCU) para camiones y buses

Para tramos extendidos de caminos en general,  $E_{HV}$  =

- 1.5 para terreno plano
- 3.0 para terreno ondulado
- 6.0 para terreno montañoso

Para pendientes específicas, ver Tabla 24

$P_{HV}$  = vehículos pesados expresado como un porcentaje del total de vehículos en el flujo del tránsito

#### 5.4.4. Áreas de entrecruzamiento

Un área de entrecruzamiento corresponde al cruce de dos o más flujos de tránsito en la misma dirección y a lo largo de una longitud significativa de camino, sin ayuda de dispositivos de control del tránsito. Las áreas de entrecruzamiento existen cuando un área de ingreso o convergente es seguida inmediatamente por una divergente o de egreso, y las dos están unidas mediante un carril auxiliar.

Dentro de las áreas de entrecruzamiento, los correspondientes flujos de tránsito son los que realizan movimientos que cruzan otros movimientos del tránsito y los flujos que no entrecruzan.

La longitud del área de entrecruzamiento se mide desde el área de ingreso (convergencia) en el punto donde el borde derecho del carril del hombro y el borde izquierdo de/l el/los carril/es convergentes están separados 0.6 metros, hasta el área de egreso (divergencia) en el punto donde los dos bordes están

separados 3.65 metros.

Los Tipos de configuraciones del área de entrecruzamiento se definen en términos del número mínimo de cambios de carril que pueden ser realizados por los vehículos que entrecruzan mientras circulan por el área de entrecruzamiento.

Las áreas de entrecruzamiento Tipo A requieren que cada vehículo que entrecruza realice un cambio de carril para ejecutar el movimiento deseado.

Las áreas de entrecruzamiento Tipo B se distinguen por (1) un movimiento de entrecruzamiento que puede realizarse sin ningún cambio de carril, y los otros (2) movimientos de entrecruzamiento requieren como máximo un cambio.

Las áreas de entrecruzamiento Tipo C se caracterizan por (1) un movimiento de entrecruzamiento que puede ser efectuado sin cambios de carril, y los otros (2) requieren dos o más cambios.

El ancho del área de entrecruzamiento se mide como el número de carriles en el área de entrecruzamiento.

La metodología consta de cuatro componentes:

1. Ecuaciones que predicen el la velocidad promedio de los vehículos que entrecruzan y que no entrecruzan, en base a las condiciones conocidas del camino y del tránsito.

2. Ecuaciones que describen la utilización proporcional de los carriles disponibles, por vehículos que entrecruzan y que no lo hacen, usadas para determinar qué operaciones están restringidas y cuales no lo están.
4. Definición de criterios de niveles de servicio basados en las velocidades promedio de los vehículos que entrecruzan y no entrecruzan.

3. Definiciones de valores límites para los parámetros clave, para cada tipo de configuración de entrecruzamiento, fuera de los cuales las ecuaciones no

#### Predicción de Velocidades de Entrecruzamiento y No Entrecruzamiento

Las siguientes ecuaciones se utilizan para predecir las velocidades de entrecruzamiento y no entrecruzamiento en una sección:

$$S_w \text{ o } S_{NW} = 24 + \frac{80}{1 + a * (1 + \frac{V_w}{V})^b * (\frac{V}{N})^c / (3.28 * L)^d}$$

donde

$S_w$  = velocidad promedio de los vehículos que entrecruzan, en km/hr

$S_{NW}$  = velocidad promedio de los vehículos que no entrecruzan, en km/hr

a, b, c, d = constantes indicadas en Tabla 41

$V_w$  = velocidad del flujo total de entrecruzamiento en el área de entrecruzamiento, en automóviles equivalentes (PCU), in aph

$V$  = velocidad del flujo total in the weaving area, en el área de entrecruzamiento, en automóviles equivalentes (PCU), in aph

$N$  = número total de carriles en el área de

entrecruzamiento

$L$  = longitud del área de entrecruzamiento, en metros

#### Determinación del Tipo de Operación

La determinación de si una sección particular está operando en un estado restringido o no restringido se basa en la comparación de dos variables,  $N_w(\max)$  y  $N_w$ .

$N_w(\max)$  = el número máximo de carriles que pueden ser utilizados por vehículos que entrecruzan, para una configuración dada

Tipo A:  $N_w(\max) = 1.4$

Tipo B:  $N_w(\max) = 3.5$

Tipo C:  $N_w(\max) = 3.0$

$N_w$  = número de carriles que deben ser utilizados por los vehículos que entrecruzan para alcanzar una operación balanceada o no restringida

Tipo A:  $N_w = 2.19 * N * (V_w / V)^{0.571} * (0.0328 * L)^{0.234} / (0.62 * S_w)^{0.438}$

Tipo B:  $N_w = N * \{0.085 + 0.703 * (V_w / V) + (71.6 / L) - 0.0112 * (S_{NW} - S_w)\}$

Tipo C:  $N_w = N * \{0.761 - 0.00036 * L - 0.0031 * (S_{NW} - S_w) + 0.047 * (V_w / V)\}$

donde

$S_w$  = velocidad promedio de los vehículos que entrecruzan, en km/hr

$S_{NW}$  = velocidad promedio de los vehículos que no entrecruzan, en km/hr

$V_w$  = velocidad del flujo total de entrecruzamiento en el área, en automóviles equivalentes (PCU), in aph

$V$  = velocidad del flujo total en el área de entrecruzamiento, en automóviles equivalentes (PCU), in aph

$N$  = número total de carriles en el área de entrecruzamiento

$L$  = longitud del área de entrecruzamiento, en metros

Cuando  $N_w > N_w(\max)$ , la configuración restringe los vehículos de entrecruzamiento a un número menor de carriles que el necesario para una operación balanceada. Tales casos están restringidos, y por lo tanto resultarán en velocidades promedio de los vehículos que no entrecruzan significativamente mayores que las velocidades promedio de los que sí entrecruzan.

#### Limitaciones en las operaciones en el área de entrecruzamiento

En la Tabla 42 se indica un número de limitaciones para la aplicación de esta metodología, las cuales pueden no resultar obvias en las ecuaciones que utilizan velocidad o uso de carriles descriptas anteriormente.

#### Criterios de Nivel de Servicio

El nivel de servicio en las áreas de entrecruzamiento está directamente relacionado con las velocidades promedio de los vehículos que entrecruzan y no entrecruzan. Para reflejar casos en los cuales existen diferencias significativas en las velocidades de los flujos componentes, se asigna un nivel de servicio separadamente para vehículos que entrecruzan y que no entrecruzan, así como también para los casos en que se producen operaciones balanceadas. Los correspondientes criterios se indican en la Tabla 43.

Tabla 31  
Criterios de Nivel de Servicio (NS) para Secciones Básicas de Autopista

A. Autopistas de Cuatro Carriles

Nivel de Servicio (NS)	Velocidad de Flujo Libre															
	112 km/hr				104 km/hr				96 km/hr				88 km/hr			
	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad
	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)
(a/km/c)	(km/hr)			(a/km/c)	(km/hr)			(a/km/c)	(km/hr)			(a/km/c)	(km/hr)			
A	6	112	0.318	720	6	104	0.295	650	6	96	0.272	600	6	88	0.250	550
B	10	112	0.509	1120	10	104	0.473	1040	10	96	0.436	960	10	88	0.400	880
C	14	110	0.747	1644	14	103	0.704	1548	14	96	0.655	1440	14	88	0.600	1320
D	19	100	0.916	2015	19	98	0.887	1952	19	91	0.829	1824	19	87	0.800	1760
E	22	96	1.000	2200	22	90	1.000	2200	22	85	1.000	2200	22	80	1.000	2200

B. Autopistas de Seis o Más Carriles

Nivel de Servicio (NS)	Velocidad de Flujo Libre															
	112 km/hr				104 km/hr				96 km/hr				88 km/hr			
	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad	Densidad	Velocidad	Máxima	Velocidad
	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)	Máxima	Mínima	Relación V/C	Flujo en Servicio (aphpc)
(a/km/c)	(km/hr)			(a/km/c)	(km/hr)			(a/km/c)	(km/hr)			(a/km/c)	(km/hr)			
A	6	112	0.304	720	6	104	0.283	650	6	96	0.261	600	6	88	0.239	550
B	10	112	0.487	1120	10	104	0.452	1040	10	96	0.417	960	10	88	0.383	880
C	14	110	0.715	1644	14	103	0.673	1548	14	96	0.626	1440	14	88	0.574	1320
D	19	100	0.876	2015	19	98	0.849	1952	19	91	0.793	1824	19	87	0.765	1760
E	24	96	1.000	2300	26	90	1.000	2300	28	85	1.000	2300	29	80	1.000	2300

Tabla 32  
Factor de Ajuste por Anchos Restringidos de Carril y Distancia Lateral

Distancia desde Huella de Viaje al obstáculo (m)	Factor de Ajuste					
	Obstáculos en Un Lado			Obstáculos en Dos Lados		
	Ancho de Carril (m)					
	$\geq 3.65$	3.35	3.05	$\geq 3.65$	3.35	3.05
$\geq 1.80$	1.00	0.95	0.90	1.00	0.95	0.90
1.20	0.99	0.94	0.89	0.98	0.93	0.88
0.60	0.97	0.92	0.88	0.88	0.90	0.86
0.00	0.92	0.88	0.84	0.84	0.82	0.78

Tabla 41  
Constantes para Predicción de Velocidades en Areas de Entrecruzamiento

Tipo de Configuración	Constantes para Velocidad de Entrecruzamiento, Sw				Constantes para Velocidad de No-Entrecruzamiento, S <sub>nw</sub>			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Tipo A								
No Restringida	0.226	2.2	1.00	0.90	0.020	4.0	1.30	1.00
Restringida	0.280	2.2	1.00	0.90	0.020	4.0	0.88	0.60
Tipo B								
No Restringida	0.100	1.2	0.77	0.50	0.020	2.0	1.42	0.95
Restringida	0.160	1.2	0.77	0.50	0.015	2.0	1.30	0.90
Tipo C								
No Restringida	0.100	1.8	0.80	0.50	0.015	1.8	1.10	0.50
Restringida	0.100	2.0	0.85	0.50	0.013	1.6	1.00	0.50

Tabla 42  
Limitaciones en Ecuaciones del Area de Entrecruzamiento

Tipo de Configuración	Máxima Capacidad de Entrecruzamiento $V_w$	Máxima $v/N$	Máxima Relación Volumen, VR		Máxima Relación Entrecruzamiento, R	Máxima Longitud de Entrecruzamiento, L
			N	VR		
Tipo A	1,800 aph	1,900 aphpc	2	1.00	0.50	600 metros
			3	0.45		
			4	0.35		
			5	0.22		
Tipo B	3,000 aph	1,900 aphpc	0.80		0.50	750 metros
Tipo C	3,000 aph	1,900 aphpc	0.50		0.40	750 metros

Tabla 43  
Criterios para Nivel de Servicio para Secciones de Entrecruzamiento

Nivel de Servicio	Mínima Velocidad Promedio de Entrecruzamiento, $S_w$ (km/hr)	Mínima Velocidad Promedio de No Entrecruzamiento $S_{nw}$ (km/hr)
A	55	96
B	50	86
C	45	77
D	40	67
E	56/48	56/48
F	56/48	56/48

### 5.4.5. Rampas y empalmes de rampas

Una rampa es un tramo de longitud tal que provee una conexión exclusiva entre dos caminos.

Los empalmes de rampas involucran movimientos convergentes y divergentes no controlados por señales de tránsito.

Una rampa puede estar compuesta por hasta tres elementos geométricos de interés:

1. Empalme rampa-autopista,
2. Rampa, y
3. Empalme rampa-calle.

#### Capacidad de los empalmes Rampa-Autopista

Un empalme rampa autopista está generalmente diseñado para permitir la convergencia y divergencia de flujos a altas velocidades y con mínima perturbación del flujo de tránsito adyacente en la autopista.

#### Convergencia en rampas de acceso

Un empalme rampa-autopista es un área donde el tránsito compite por el espacio. El flujo de tránsito de la autopista compite por espacio con los vehículos que ingresan por la rampa en las áreas de acceso.

En el área de acceso (donde se mezclan los flujos), los vehículos de la rampa tratan de encontrar espacios libres en el flujo de tránsito del carril adyacente de la autopista. Debido a que la mayoría de las rampas se encuentran sobre el costado derecho de la autopista, el carril de autopista en el cual los vehículos procuran espacios corresponde al

carril de hombro designado como Carril 1 (Los carriles se numeran de 1 a N, desde el hombro externo hacia el centro).

El ingreso de cada vehículo al flujo de tránsito del Carril 1 crea turbulencias en el flujo de tránsito en la vecindad de la rampa. Los vehículos que se aproximan por la autopista se mueven hacia la izquierda para evitar dicha turbulencia. El efecto en la operación, debido al ingreso de vehículos, resulta importante en los carriles 1 and 2 de la autopista, y en el carril de aceleración, extendiéndose a una distancia de 450 metros desde el punto de ingreso. Por lo tanto, el área de influencia para empalmes de rampas de acceso a autopista se define como Carriles 1 y 2, con una distancia de 450 metros desde el punto de ingreso y en dirección del flujo de tránsito.

#### Divergencia en rampas de salida

En rampas de salida, la maniobra básica es la divergencia, es decir que un flujo único de tránsito se separa en dos. Los vehículos que egresan deben ocupar el carril adyacente a la rampa, Carril 1 para una rampa de salida hacia la derecha. A medida que se aproximan a la rampa de salida, los vehículos que egresan se mueven hacia la derecha. Esto implica una redistribución de los demás vehículos de la autopista, los cuales se mueven a la izquierda para evitar la mencionada turbulencia en el flujo. El área de mayor turbulencia corresponde al carril de desaceleración más los Carriles 1 y 2 en los 450 metros a partir del punto de divergencia.

#### Metodología

El análisis de Capacidad de áreas de ingreso

y egreso (convergencia y divergencia de flujos) se concentra en un área de influencia de 450 metros incluyendo los carriles de aceleración y desaceleración y Carriles 1 y 2 de la autopista, y consiste en tres pasos:

1. Determinación del flujo de tránsito que ingresa en carriles 1 y 2 inmediatamente después del área de influencia o del inicio del carril de desaceleración en rampas de salida.
2. Determinación de los valores críticos de capacidad, y comparación de los flujos de la demanda con esos valores. Tal comparación determina si las áreas de convergencia o divergencia son suficientes. La Capacidad se evalúa en dos puntos: (a) flujo total máximo saliendo del área de convergencia o divergencia y (b) flujo total máximo que puede ingresar razonablemente en el área de influencia de convergencia/divergencia. Si la demanda excede cualquiera de esos dos valores de capacidad, la operación resulta comprometida.
3. Determinación de la densidad dentro del área de influencia de convergencia/divergencia y del nivel de servicio en función a dicho valor. En algunas situaciones, también puede predecirse la velocidad promedio de los vehículos en el área de convergencia/divergencia.

Todas las mediciones de flujo de tránsito se expresan en velocidades máximas equivalentes de flujo en automóviles por hora para el pico de 15 minutos en la hora de

interés.

Paso 1: Determinar el flujo de tránsito que ingresa en carril 1 y 2.

Para un solo carril, sobre lado derecho en rampas de ingreso, el flujo de tránsito en los carriles 1 y 2 inmediatamente después del ingreso se predice de la siguiente manera:

$$V_{12} = V_F * P_{FM}$$

donde

$V_{12}$  = flujo de tránsito ingresando a carril 1 y 2 inmediatamente luego del área de influencia de la convergencia en sentido del tránsito

$V_F$  = flujo total de la autopista que se aproxima al área de convergencia / divergencia (aph)

$P_{FM}$  = proporción de vehículos de la autopista que permanecen en carriles 1 y 2 luego de la rampa de ingreso

Para un solo carril, sobre lado derecho en rampas de egreso, el flujo de tránsito en los carriles 1 y 2 inmediatamente después del inicio del carril de desaceleración se predice de la siguiente manera:

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R) * P_{FD}$$

donde

$V_{12}$  = flujo de tránsito entrando a carriles 1 y 2 inmediatamente después del inicio del carril de desaceleración en la rampa de salida

$V_R$  = flujo total en la rampa (aph)

$V_F$  = flujo total de la autopista aproximándose al área de convergencia/divergencia (aph)

$P_{FD}$  = proporción de vehículos de la autopista que permanecen en carriles 1 y 2 inmediatamente después del inicio del carril de desaceleración

Las series de ecuaciones dadas a continuación proveen el método para predecir el valor de  $P_{FM}$  o  $P_{FD}$  y la Tabla 51 provee una matriz para determinar cuál de las ecuaciones se aplica para una configuración dada.

Las ecuaciones para  $P_{FM}$ , para usar en la predicción de  $V_{12}$  para rampas de ingreso son:

- (1)  $P_{FM} = 1.00$
- (2)  $P_{FM} = 0.5775 + 0.000092 * L_A$
- (3)  $P_{FM} = 0.7289 - 0.0000135 * (V_F + V_R) - 0.002048 * S_{FR} + 0.000207 * D_U$
- (4)  $P_{FM} = 0.5487 + 0.0801 * V_D / D_D$
- (5)  $P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 * V_R + 0.05887 * L_A / S_{FR}$

Las ecuaciones para  $P_{FD}$ , para usar en la predicción de  $V_{12}$  para rampas de salida son:

- (6)  $P_{FD} = 1.00$
- (7)  $P_{FD} = 0.760 - 0.000025 * V_F - 0.000046 * V_R$
- (8)  $P_{FD} = 0.717 - 0.000039 * V_F + 0.184 * V_U / D_U$
- (9)  $P_{FD} = 0.616 - 0.000021 * V_F + 0.038 * V_D / D_D$
- (10)  $P_{FD} = 0.436$

donde

$D_D$  = distancia a la próxima rampa adyacente (metros)

$D_U$  = distancia a la rampa anterior (metros)

$L_A$  = longitud total del carril de aceleración (metros)

$S_{FR}$  = velocidad de flujo libre de la rampa en el punto de convergencia o divergencia (km/hr)

$V_D$  = flujo total en la próxima rampa adyacente(aph)

$V_F$  = flujo total de la autopista que se aproxima al área de convergencia/divergencia (aph)

$V_R$  = flujo total de la rampa (aph)

$V_U$  = flujo total en una rampa adyacente anterior (aph)

Paso 2: Comparar los flujos de demanda con los valores críticos de capacidad.

La Capacidad de las áreas de convergencia se expresa de dos maneras. La primera indica el flujo máximo en la autopista que puede separarse del área de convergencia:

2,200 aphpc para autopistas de cuatro carriles, y

2,300 aphpc para autopistas de seis o más carriles.

La segunda forma en la que se puede evaluar la capacidad de áreas de convergencia es en términos de flujo máximo total que puede ingresar al área de influencia de convergencia. Esto es la suma del flujo de la rampa más el flujo en los carriles 1 y 2 ( $V_R + V_{12}$ ), lo cual se designa como  $V_{R12}$ . Esta capacidad ha sido establecida como:

4,400 aph para autopistas de cuatro carriles,

y  
4,600 aph para autopistas de seis o más carriles.

Similarmente, la capacidad de áreas de divergencia se expresa de dos maneras. La primera en términos de flujo máximo total que puede desviarse del área de divergencia en la autopista y en la rampa ( $V_{FO} + V_R$ ). Esto es lo mismo que la capacidad de las secciones próximas de la autopista, lo que limita esencialmente el número de vehículos que pueden dirigirse hacia la divergencia. También puede estar limitada por la capacidad de la siguiente sección de autopista y de la rampa. Para un único carril en rampa de salida, la siguiente sección de autopista generalmente tiene la misma o muy parecida capacidad que la sección anterior, y raramente constituye un factor. Si la rampa misma tiene una capacidad menor que el flujo de demanda de la rampa, la capacidad total de descarga puede estar restringida. Dado que el principal control sobre el flujo de salida total es el mismo que la capacidad de la sección de autopista anterior, estas capacidades son:

2,200 aphpc para autopistas de cuatro carriles, y  
2,300 aphpc para seis o más carriles de autopista

El segundo valor de capacidad que interesa es el flujo máximo que puede ingresar al área de influencia de la divergencia en carriles 1 y 2, o  $V_{12}$ . A diferencia de las áreas de convergencia, esta capacidad no aumenta con el tamaño de la autopista. Se establece como:

4,400 aph para autopistas de cualquier tamaño.

Estos valores de capacidad se resumen en la Tabla 52, expresados en automóviles por hora (aph) bajo condiciones ideales.

Cada valor deberá compararse con el flujo de la demanda del Paso 1 convertido a automóviles por hora (aph). Si cualquiera de los dos valores de capacidad exceden la demanda esperada, se formará por ejemplo una cola en dicha sección. Si esta fuera la condición prevista, el nivel de servicio (NS) se designa automáticamente como F.

Paso 3: Determinar el nivel de servicio (NS).

Los NS A a E para rampas sobre autopistas se basa en la densidad en el área de influencia de la rampa, tal cual lo indica la Tabla 53. La Tabla 53 también da la velocidad promedio de los vehículos en el área de influencia de la rampa como un parámetro secundario del nivel de servicio.

La densidad del tránsito en el área de convergencia de una rampa de un carril puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$D_R = 3.4 + 0.0046 * V_R + 0.0049 * V_{12} - 0.0128 * L_A$$

donde

$D_R$  = densidad, en a/km

$V_R$  = volume total en la rampa, en a/hr

$V_{12}$  = flujo de tránsito que ingresa en carriles 1 y 2, inmediatamente antes del área de influencia de la convergencia, en a/hr

$L_A$  = longitud del área de entrecruzamiento, en metros

La densidad del tránsito en el área de divergencia de una rampa de salida de un carril puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$D_R = 2.6 + 0.0053 * V_{12} - 0.0183 * L_D$$

donde

$D_R$  = densidad, en a/km

$V_{12}$  = flujo de tránsito que ingresa en carriles 1 y 2 inmediatamente antes del inicio del carril de desaceleración en la rampa de salida, en a/hr

$L_D$  = longitud del área de divergencia, en metros

La velocidad promedio en el área de influencia de una rampa, para el caso del área de convergencia de una rampa de ingreso de un carril, puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$S_R = S_{FF} - (S_{FF} - 68) * M_S$$

donde

$S_R$  = velocidad promedio, in km/hr

$S_{FF}$  = velocidad de flujo libre en la autopista, en km/hr

$$M_S = 0.321 + 0.0039 * e^{(V_{R12}/1000)} - 0.004 * (L_A * S_{FR} / 1000)$$

donde

$V_{R12}$  = volumen máximo total que puede ingresar razonablemente en el área de influencia de la convergencia, en a/hr

$L_A$  = longitud del área de entrecruzamiento, en

metros

$S_{FR}$  = velocidad de flujo libre en el punto de convergencia de la rampa, en km/hr

La velocidad promedio en el área de influencia de una rampa, para el caso del área de divergencia de una rampa de salida de un carril, puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$S_R = S_{FF} - (S_{FF} - 68) * D_S$$

donde

$S_R$  = velocidad promedio, en km/hr

$S_{FF}$  = velocidad de flujo libre en la autopista, en km/hr

$$D_S = 0.883 + 0.00009 * V_R - 0.008 * S_{FR}$$

donde

$V_R$  = volumen total en la rampa, en a/hr

$S_{FR}$  = velocidad de flujo libre en la rampa, en el punto de divergencia, en km/hr

### Capacidad de Rampas

Las rampas difieren de la calzada principal de la autopista en los siguientes aspectos:

1. Las rampas son calzadas de longitud y ancho limitados, generalmente de un solo carril.
2. La velocidad de flujo libre de la rampa resulta en general menor que la de la calzada que conecta,

particularmente la autopista.

3. En rampas de un solo carril, donde no es posible el sobrepaso, los efectos negativos de camiones y otros vehículos lentos resultan más pronunciados que en un camino o calzada multicarril.

4. La aceleración and desaceleración a menudo se producen en la rampa.

5. En rampas de empalme con calles, pueden formarse colas en la rampa, particularmente si la rampa de empalme con la calle está señalizada.

La Tabla 54 provee criterios aproximados para estimar la capacidad de las rampas. Debe destacarse que dichas capacidades se aplican solo a rampas propiamente dichas y no a los elementos terminales de las rampas (ya sea hacia la autopista o hacia una calle), donde ocurren la mayoría de los problemas de operación.

Puede haber diferentes razones para considerar el ensanche de una rampa a 2 carriles, incluyendo:

1. Cuando la longitud de la rampa es mayor de 300 metros, un segundo carril permite que los conductores sobrepasan a los vehículos lentos o detenidos. Esto también puede obtenerse con una rampa de un solo carril y un hombro pavimentado de por lo menos 2.4 metros.
2. Cuando se estima que se formarán colas en rampas señalizadas o terminales hacia una calle, un carril

adicional en la rampa provee additional mayor capacidad para albergar dichas colas.

3. Cuando la rampa posee una pendiente muy significativa, u otras condiciones geométricas mínimas, un segundo carril en la misma permitirá el sobrepaso de vehículos lentos.

En tales casos, la rampa de dos carriles deberá transformarse en un solo carril antes de llegar a su zona terminal, para empalmar con la autopista.

#### Capacidad de los empalmes rampa-calle

A diferencia de las rampas autopista-a-autopista, que tienen dos áreas terminales hacia autopista y no poseen una terminal hacia una calle, existen rampas que conectan los accesos limitados de la autopista con arterias o calles locales y colectoras y, para tales rampas, la zona terminal de la rampa es generalmente un elemento crítico en el diseño.

Los empalmes Rampa-Calle pueden permitir movimientos no controlados de convergencia y divergencia, o tomar la forma de intersecciones en pendiente tipo at, las que deben ser analizadas como intersecciones señalizadas o no señalizadas según corresponda.

Tabla 51  
Ecuaciones para Predecir la Proporción de Vehículos en Carriles 1 y 2 para Rampas de Ingreso/Egreso

Configuración	Autopista de 4 Carriles		Autopista de 6 Carriles		Autopista de 8 Carriles	
	Rampa Ingreso	Rampa Egreso	Rampa Ingreso	Rampa Egreso	Rampa Ingreso	Rampa Egreso
Aislada	1	6	2	7	5	10
Con rampa de ingreso anterior	1	6	2	7 o 8	5	10
Con rampa de egreso anterior	1	6	2 o 3	7	5	10
Con rampa de ingreso posterior	1	6	2	7	5	10
Con rampa de egreso posterior	1	6	2 o 4	7 o 9	5	10

Tabla 52  
Valores de Capacidad para Areas de Convergencia y Divergencia (Rampas de 1 Carril)

Ancho de Autopista (No. de Carriles por Dirección)	Areas de Convergencia		Areas de Divergencia	
	Máx Vfo (aph)	Máx Vr12 (aph)	Máx Vfo + Vr (aph)	Máx Vr12 (aph)
4	4,400	4,400	4,400	4,400
6	6,900	4,600	6,900	4,400
8	9,200	4,600	9,200	4,400
>8	2,300/carril	4,600	2,300/carril	4,400

Tabla 53  
Criterios de Nivel de Servicio para Areas de Influencia de Empalmes Rampa-Autopista

Nivel de Servicio	Densidad Máxima (Medida Primaria) (a/km/c)	Velocidad Mínima (Medida Secundaria) (km/hr)
A	6	93
B	12	90
C	17	83
D	22	74
E	>22	67

Table 54  
Capacidad Aproximada de Rampas

Velocidad de Flujo Libre de Rampas Sfr(km/hr)	Capacidad (aph)	
	Rampas de Un Carril	Rampas de Dos Carriles
>80	2,200	4,400
65-80	2,100	4,100
49-64	2,000	3,800
33-48	1,900	3,500
<33	1,800	3,200

#### 5.4.6. Arterias urbanas y suburbanas

Las arterias urbanas y suburbanas corresponden a calles señalizadas que sirven principalmente al tránsito pasante; secundariamente proveen acceso a las propiedades linderas. Generalmente se definen como:

- C Elementos con longitudes de por lo menos 1.5 km en áreas céntricas y 3 km para las demás áreas.
- C Con intersecciones señalizadas separadas desde 60 metros en áreas céntricas y 120 metros para intercambiadores u otras áreas, hasta separaciones del orden de 3 km.
- C Con movimientos de giro en las intersecciones, los cuales en general no exceden el 20 por ciento del volumen total del tránsito.
- C El desarrollo de la zona de camino a lo largo de las arterias puede ser intenso, produciendo fricción para el tránsito que las atraviesa, lo que generalmente limita la velocidad deseada por el conductor del vehículo.

Las arterias urbanas y suburbanas pueden incluir:

- C arterias multicarril con calzadas divididas;
- C arterias multicarril con calzadas sin dividir;
- C arterias de dos carriles y dos sentidos (un carril para cada dirección); y
- C arterias de una sola dirección.

La metodología incluida a continuación puede ser utilizada para evaluar el nivel de

servicio de una arteria urbana o suburbana, existente o propuesta; sin embargo no debe utilizarse para analizar la capacidad, la cual se determinaría analizando la capacidad de las intersecciones señalizadas específicas.

El procedimiento para determinar el nivel de servicio de una arteria involucra siete diferentes pasos.

Paso 1. Establecer la ubicación y longitud de la arteria a considerar.

Paso 2. Determinar la clasificación de la arteria.

Las Tablas 61 y 62 proveen una guía para clasificar una arteria, basándose en su función y categoría de diseño.

Paso 3. Dividir la arteria en secciones para su evaluación, donde cada sección tenga uno o más segmentos de arteria.

la unidad básica de la arteria es el segmento, el cual corresponde a la distancia unidireccional desde una intersección señalizada a la siguiente. Si dos o más segmentos consecutivos resultan comparables (similares) en cuanto a su clasificación, longitud del segmento, velocidad límite y uso de suelo y actividad general, el analista puede, si lo desea, unir los mismos en una sola sección. Si se unen segmentos en una sección, todos los resultados corresponderán a dicha sección en lugar de a los segmentos. Cuando se define una sección, la longitud promedio de segmentos puede ser utilizada para estimar el tiempo de viaje por km en el siguiente paso.

Paso 4. Calcular el tiempo de viaje de la

arteria para cada segmento y sección (dependiendo de si se han definido secciones mayores que los segmentos individuales).

Hay dos componentes principales del tiempo total que un vehículo tarda en una sección y en una arteria: tiempo de viaje en la arteria y demora total en la intersección. Este paso corresponde al cálculo del primero de dichos términos de manera que el mismo pueda ser utilizado en el denominador de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{3,600 * L}{T * L + ID + OD}$$

donde

- S= velocidad promedio de viaje en la arteria o sección, en km/hr  
 L= longitud de la arteria o sección, en km  
 T= tiempo de viaje/km, tiempo de viaje total por km en todos los segmentos en una arteria o sección, en segundos  
 ID= suma de demora total en la intersección, suma total de demoras para pasar todas las intersecciones señalizadas dentro de una arteria o sección definida, en segundos  
 OD= otras demoras tales como demoras en mitad de cuadra causadas por detenciones regulares de vehículos en sendas peatonales, paradas de buses, accesos, etc.

La Tabla 64 puede utilizarse para estimar el tiempo de viaje en el segmento. Si una sección ha sido definida de manera tal que abarca varios segmentos, debe utilizarse la longitud promedio de segmentos a fin de

ubicar el tiempo de viaje por km en la Tabla 64. Luego, el tiempo de viaje por km se multiplica por la longitud de la sección.

Paso 5. Tabular la información necesaria sobre cada intersección y calcular la demora total para los movimientos a través de la arteria en cada intersección, teniendo en cuenta los parámetros de la intersección para el movimiento (C, longitud del ciclo; g/C, proporción efectiva en verde; X, relación v/c; y la relación entre la demora total delay y la demora detenido para el movimiento a través de la arteria.

La demora total delay puede relacionarse con la demora detenido de la siguiente manera:

$$D = 1.3 * d$$

donde

- D = demora total en la intersección, en seg/veh  
 d = demora detenido en la intersección, en seg/veh

y donde por lo tanto se calcula la demora detenido en la intersección de acuerdo con los procedimientos para demora de intersecciones.

Las ecuaciones para demora detenido son:

$$d = d_1 * DF + d_2$$

$$d_1 = \frac{0.38 * C * [1 - (g / C)]^2}{1 - (g / C) * [\text{Min}(X, 1.0)]}$$

donde

$$X = 1.0$$

si

$$X \geq 1.0$$

donde:

d=demora detenido, en seg/veh

$d_1$ =demora uniforme, en seg/veh

$d_2$ =demora incremental, en seg/veh

DF=factor de ajuste por demora para calidad de la marcha o tipo de control

X=relación v/c para el grupo de carriles

C=longitud del ciclo, en seg

c=capacidad del grupo de carriles, en veh/hr

g=tiempo efectivo en verde para el grupo de carriles, en seg

m=término de calibración de la demora incremental, que representa el efecto del tiempo de llegada y grado de pelotón

Factor de ajuste por demora, DF

El factor de ajuste por demora tiene en cuenta el impacto de la progresión de señales y el tipo de control de demoras. Estos dos efectos son mutuamente excluyentes (por ej., se usa uno u otro, pero no ambos) y serán por lo tanto tratados en forma separada.

Tipo de llegada y Factor de ajuste de progresión, PF

Este parámetro es una categorización general que representa la calidad de la progresión para cada grupo de carriles. En la Tabla 65 se definen seis tipos de llegada para el flujo dominante de llegada.

La siguiente relación resulta de utilidad para determinar el tipo de llegada:

$$R_p = P * (C / g)$$

donde

$R_p$ =relación del pelotón

P=proporción de todos los vehículos en movimiento que llegan durante la fase verde

C=longitud del ciclo, en segundos

g=tiempo efectivo en verde para el movimiento, en segundos

P puede estimarse u observarse en el campo, mientras que C y g se calculan a partir del tiempo de la señal.

Los rangos aproximados de  $R_p$  están relacionados con el tipo de llegada como se observa en la Tabla 65, y los valores por omisión (default) se sugieren para ser utilizados en cálculos subsecuentes.

Una buena progresión de señales resultará en la llegada de una alta proporción de vehículos en la fase verde, mientras que una mala progresión implicará la llegada de una proporción baja de vehículos en dicha fase. El factor de ajuste por progresión, PF, se aplica a todos los grupos de carriles coordinados, incluyendo tanto los de control pre-cronometrado y los grupos de carriles sin control, en sistemas semicontrolados de control de arterias. La progresión afecta principalmente a la demora uniforme, y por esta razón, el ajuste se aplica solamente a  $d_1$ . El valor de PF puede determinarse por:

$$PF = \frac{(1 - P) * f_p}{(1 - g / C)}$$

donde

$g/C$  = proporción del tiempo efectivo en verde

$f_p$  = factor de ajuste suplementario por llegada del pelotón durante el verde

Los valores por omisión (default) para  $f_p$  son:

0.93 para llegadas tipo 2,

1.15 para llegadas tipo 4, y

1.00 para los demás tipos de llegada.

La proporción de todos los movimientos de vehículos en el grupo de carriles que llegan durante la fase verde,  $P$ , puede medirse en el campo o estimarse a partir del tipo de llegada. Si se realizan mediciones en campo,  $P$  debe determinarse como proporción de vehículos en el ciclo que arriban a la línea de detención o que se unen a la cola (estacionaria o en movimiento) durante la fase verde. El valor de  $PF$  puede también calcularse a partir de los valores medidos de  $P$ , utilizando los valores por omisión para  $f_p$ . Alternativamente, la Tabla 67 puede utilizarse para determinar  $PF$  como una función del tipo de llegada en base a los valores por omisión para  $P$  (por ej.,  $R_p * g_i.C$ ) y el  $f_p$  asociado a cada tipo de llegada.

Factor de Ajuste por Tipo de Controlador,  $CF$

Considerando que los controladores del tránsito permiten ajustar los tiempos de cada ciclo (de un ciclo al otro), estos son generalmente capaces de acomodar el mismo volumen de tránsito que los controladores con precronometrado y con demoras a veces menores. El factor de ajuste debería ser:

0.85 para todos los grupos de carriles

aislados semicontrolados o bajo control total, y

1.00 para todos los otros modos de control excepto aquellos que requieren el uso de  $PF$ , como se describiera previamente.

La Tabla 67 indica el valor apropiado de  $DF$  para los posibles modos de control.

Término de calibración de la demora incremental,  $m$

El término de calibración de la demora incremental representa el efecto del tipo de llegada y el grado de formación de pelotón sobre la demora incremental. El valor 16 representa las condiciones de llegada aleatoria con tipo de llegada 3. Para las zonas de aproximación en sistemas coordinados, generalmente se observan valores menores debido a que la variación en la demanda de un ciclo a otro se reduce por el efecto de medición de la coordinación. La Tabla 67 muestra los valores correspondientes de  $m$  en función del tipo de llegada.

La demora es una complicada variable, muy sensible a la variación de las condiciones locales y del medio. Los procedimientos que se proveen aquí, representan estimaciones razonables para la demora esperada bajo condiciones promedio. Estos procedimientos resultan sumamente útiles cuando se utilizan para comparar las condiciones de operación de varias configuraciones geométricas o diseños de la señalización. Cuando se evalúan condiciones existentes, resulta aconsejable determinar la demora a partir de mediciones en el terreno.

Paso 6. Calcular la velocidad promedio de viaje (a) por sección, para preparar un perfil de velocidades y (b) sobre toda la vía en cuestión.

Paso 7. Determinar el nivel de servicio. La Tabla 61 provee un conjunto de criterios específicos de nivel de servicio (NS) de una arteria para cada clasificación de arteria.

En arterias de doble sentido de circulación, se debe aplicar la metodología dos veces si se desea determinar el nivel de servicio en cada

dirección.

Los pasos 4 a 6 pueden reemplazarse por mediciones de campo de la velocidad promedio de viaje, realizando estudios de tiempo de viaje y demoras a lo largo de la arteria. Esos pasos pueden también ser reemplazados por modelos de tránsito de arterias que estiman la velocidad promedio de viaje y la demora total para la arteria a partir de movimientos provistos al mismo, y cuyas estimaciones han sido o bien calculados en función de procedimientos de este manual o validados con datos de campo.

Tabla 61  
Niveles de Servicio en Arterias

	Clasificación de Arterias		
	I	II	III
Rango de velocidad de flujo libre (km/hr)	72 to 56	56 to 48	48 to 40
Velocidades típicas de flujo libre (km/hr)	64	52	44
Nivel de Servicio	Velocidad Promedio de Viaje (km/hr)		
A	56	48	40
B	45	38	30
C	35	29	21
D	27	22	14
E	21	16	11
F			

Tabla 62  
Ayuda para establecer la Clasificación de Arterias

Criterio	Categoría Funcional		
	Arterias Principales	Arterias Menores	
Función movilidad	Muy importante	Importante	
Función Acceso	Muy menor	Sustancial	
Puntos conectados	Autopistas, importantes centros de actividad, principales generadores de tránsito	Arterias principales	
Viajes predominantes servidos	Viajes relativamente largos entre los puntos anteriores y viajes entrando, saliendo y atravesando la ciudad	Viajes de longitud moderada dentro de relativamente pequeñas áreas geográficas	
Criterio	Categoría de Diseño		
	Suburbano	Intermedio	Urbano
Densidad de accesos	Baja densidad	Densidad moderada	Alta densidad
Tipo de arteria	Multicarril dividida; no dividida o dos carriles con hombro	Multicarril dividida o no dividida	Un sentido no dividido; dos sentidos, dos o más carriles
Estacionamiento	No	Alguno	Mucho
Carril separado giro izquierda	Sí	Usualmente	Algunos
Señales por km	1 a 3	2 a 6	3 a 8
Límites de velocidad	64 a 72 km/hr	48 a 64 km/hr	40 a 56 km/hr
Actividad Pedestre	Poca	Alguna	Usualmente
Desarrollo del área aledaña	Baja a media densidad	Media a moderada densidad	Alta densidad

Tabla 63  
Clasificación de Arterias de acuerdo a sus Categorías Funcional y de Diseño

Categoría Funcional		
Categoría de Diseño	Arteria Principal	Arteria Menor
Típicamente suburbano	I	II
Intermedio	II	II o III
Típicamente urbano	II o III	III

Tabla 64  
Tiempo de Viaje del Segmento o Tramo por Kilómetro

Clasificación de la arteria	I			II		III		
	72	64	56	56	48	56	48	40
Velocidad de Flujo Libre (km/hr)								
Longitud Promedio del Segmento (km)	Tiempo de Viaje por Kilómetro (seg/km)							
0.10				107	114	122	134	158
0.20				85	89	88	94	113
0.30	69	72	79	81	84	82	94	104
0.40	65	68	74	75	79	76	82	95
0.50	62	63	68					
0.60	59	61	66					
0.80	55	58	64					
1.60	50	56	64					

Tabla 65  
Categorías de Tipos de Llegada del Pelotón y sus Características

Tipo de Llegada	Características del Pelotón	Características de progresión
1	Pelotón denso >80% volumen del grupo de carriles llegando al comienzo de la fase roja	Calidad de progresión muy pobre
2	Pelotón moderadamente denso llegando en medio de la fase roja o Pelotón disperso 40 a 80% volumen del grupo carriles en cualquier momento de la fase roja	Progresión desfavorable en arteria de 2 sentidos
3	Llegadas aleatorias pelotón principal conteniendo <40% del volumen del grupo de carriles	Operaciones en intersecciones señalizadas aisladas y no interconectadas u Operación Coordinada pero con mínimos beneficios de Progresión
4	Pelotón moderadamente denso llegando en medio de la fase verde o Pelotón disperso 40 a 80% volumen del grupo carriles en cualquier momento de fase verde	Progresión favorable en arterias de dos sentidos
5	Pelotón denso a moderado >80% volumen del grupo de carriles llegando al principio de la fase verde	Progresión altamente favorable, la cual puede ocurrir en rutas con baja a moderadas calles de ingreso lateral y que recibe un tratamiento prioritario en el diseño del plan de tiempos de la señal
6	Pelotones muy densos progresando en un número de intersecciones poco espaciadas con calles laterales de ingreso mínimas o despreciables	Progresión de calidad excepcional en rutas con características de marcha cercanas a la ideal

Tabla 66  
Relación entre el Tipo de Llegada y la Relación Pelotón (Rp)

Tipo de Llegada	Rango de Relación Pelotón (Rp)		Valor por Omisión (Rp)	Calidad de Progresión
	>	<=		
1		0.50	0.333	Muy pobre
2	0.50	0.85	0.667	Desfavorable
3	0.85	1.15	1.000	Llegadas aleatorias
4	1.15	1.50	1.333	Favorable
5	1.50	2.00	1.667	Altamente favorable
6	2.00		2.000	Excepcional

Tabla 67  
Factor de Ajuste por Demora Uniforme (d1), DF

Factor de Ajuste por Tipo de Controlador, CF		
Tipo de Control	Intersecciones No Coordinadas	Intersecciones Coordinadas
Precronometradas (sin grupos de carriles con tránsito controlado)	1	PF calculado como abajo
Semicontrolados		
Grupos de carriles con tránsito controlado	0.85	1
Grupos de carriles sin tránsito controlado	0.85	PF calculado como abajo
Totalmente controlado (todos los grupos carriles c/tránsito controlado)	0.85	N/D

Factor de Ajuste por Progresión , PF						
Relación Verde, g/C	Tipo de llegada, AT					
	1	2	3	4	5	6
0.2	1.167	1.007	1	1	0.833	0.75
0.3	1.286	1.063	1	0.986	0.714	0.571
0.4	1.445	1.136	1	0.895	0.555	0.333
0.5	1.667	1.24	1	0.767	0.333	0
0.6	2.001	1.395	1	0.576	0	0
0.7	2.556	1.653	1	0.256	0	0
Valor por omisión, fp	1	0.93	1	1.15	1	1
Valor por omisión, Rp	0.333	0.667	1	1.333	1.667	2
Término de calibración por demora incremental (m)	8	12	16	12	8	4

**Símbolos de Capacidad de Caminos**

Volumen de Tránsito

veh/hr = unidades para expresar la tasa horaria del flujo de tránsito

aphpc = automóviles por hora y por carril

V = volumen, número de vehículos que pasan por un punto en una hora

$V_p$  = velocidad de servicio del flujo, en aphpc

PHF = factor de hora pico, volumen horario durante la hora de máximo volumen del día dividido por la tasa pico del flujo en 15 minutos dentro de la hora pico

Nivel de Servicio, Volumen de Servicio, Capacidad y Relación Volumen/Capacidad

$N_{s_i}$  = nivel de servicio ( $i = A, B, C, D$  o  $E$ )

$Sv_i$  = volumen de servicio para nivel de servicio  $i$

$SV_E$  = máximo volumen de servicio a NS  $E$ , capacidad

VCR = relación volumen/capacidad

$VCR_i$  = máxima relación volumen/capacidad para NS  $i$

Dimensiones de la Calzada

N = número de carriles

Distancias Laterales

$LC_R$  = distancia lateral(metros) desde el

borde derecho del carril hasta los obstáculos

$LC_L$  = para calzadas divididas, distancia lateral (metros) desde el borde izquierdo hasta los obstáculos existentes en la mediana

Factores de Ajuste

$F_A$  = ajuste por puntos de acceso (A)

$F_{DS}$  = factor de ajuste por separación direccional (DS) del tránsito

$F_G$  = factor de ajuste por efectos en la operación debido a pendientes (G), sobre los automóviles

$F_{HV}$  = factor de ajuste para vehículos pesados (HV) en el flujo de tránsito a NS  $i$

$F_{LW}$  = ajuste por ancho de carril (LW)

$F_M$  = ajuste por tipo de mediana o divisoria (M)

$F_{TLC}$  = ajuste por distancia lateral total (TLC)

$F_w$  = factor de ajuste por anchos de carril y de hombro (W)

Composición del Tránsito (en porcentaje)

$P_p$  = automóviles como porcentaje del total de vehículos en el flujo del tránsito

$P_{HV}$  = vehículos pesados (camiones + buses) como porcentaje del total de vehículos en el flujo del tránsito

$P_T$  = camiones pesados como porcentaje del total de vehículos en el flujo del tránsito

$P_B$  = buses como porcentaje del total de vehículos en el flujo del tránsito

$P_{T/HV}$  = proporción de camiones entre los vehículos pesados, por ejemplo, proporción de camiones en el flujo del tránsito dividido por la proporción total de vehículos pesados en el flujo del tránsito

Unidades Equivalentes de Automóviles de Pasajeros (PCU)

$E_{HV}$  = automóviles equivalentes (PCU) para vehículos pesados (camiones pesados y buses)

$E_T$  = automóviles equivalentes (PCU) para camiones pesados

$E_B$  = automóviles equivalentes (PCU) para buses

$E$  = equivalente básico de automóvil para un determinado porcentaje de pendiente, longitud de pendiente y velocidad

$E_0$  = equivalente básico de automóvil cero (0) por ciento de pendiente, y una determinada velocidad

$I_p$  = factor de impedancia para automóviles

Velocidades

$FFS$  = velocidad estimada de flujo libre (km/hr)

$FFS_1$  = velocidad estimada de flujo libre (km/hr) para condiciones ideales

Las variables necesarias para lograr una condición ideal están resumidas en la tabla que se transcribe correspondiente a U.S.A. Highway Capacity Manual, para cada tipo de carreteras.

La importancia del control y características del tránsito en una carretera, es doble:

(1) Las variables discutidas en esta sección son factores importantes a considerar en los estudios de capacidad.

(2) Estos factores definen los parámetros que los planificadores e ingenieros deben considerar para promover y mejorar la capacidad y el nivel de servicio.

El ingeniero tiene, en diversos grados, control sobre los parámetros geométricos y de control discutidos.

(1) Por medio de la construcción, reconstrucción o rehabilitaciones, que pueden realizarse en los anchos de los carriles; ancho de los hombros; número de carriles; alineamiento horizontal y vertical, y otros factores de diseño geométrico.

(2) Por medio de regulaciones y señalamiento, todas las variables de control están sujetas a alteración.

Estas son las herramientas que deben usarse para corregir las deficiencias de capacidad o servicio.

Uno de los más importantes usos del análisis de capacidad, es en la evaluación de planes alternativos de mejoramiento, basados en los cambios que se han citado.

## 5.5 Resumen

## Sección 6: Proyecciones de tránsito

### 6.1 Propósito

El propósito de los estudios de pronóstico, de tránsito en carreteras es:

- (1) Determinar o estimar el volumen del año base y las características del tránsito de la carretera bajo estudio.
- (2) El pronóstico sobre cómo el tránsito del año base cambiará en el futuro con y sin el mejoramiento propuesto.

Donde no existe carretera, los pronósticos deben determinar qué tránsito hará uso de la nueva carretera propuesta cuando sea habilitada en el futuro.

El año base normalmente es el año en que el estudio de tránsito y otros estudios del proyecto son llevados a cabo.

Los pronósticos de tránsito son necesarios para los siguientes años:

- El año cuando el proyecto de la carretera esté concluido y habilitado.
- 10 años después de su habilitación.
- El período de diseño para el que se proyectó, normalmente a los 20 años de concluido.

Los estudios de tránsito para el proyecto de una carretera requieren proporcionar todos los datos de tránsito y pronóstico necesarios para los diseños geométrico y del pavimento y para la evaluación económica y ambiental. Dependiendo del propósito específico del estudio, las características de interés el tránsito incluirán:

- TPDA, ; VHD Y VHDD, por tipo de vehículo.
- Ocupación vehicular, personas/ vehículo y toneladas/vehículo;
- Movimiento de maniobra por tipo vehículo en sitios claves, y
- De ser necesario, otras características del tránsito.

### 6.2 Componentes del tránsito futuro

Dependiendo del tipo específico de la carretera y nivel del mejoramiento a realizar, la integración del tránsito futuro puede incluir algunos o todos los siguientes componentes:

#### (1) Tránsito existente y su normal crecimiento

El tránsito existente es el que se encuentra haciendo uso de la carretera, proporcionando los servicios de transporte por la diaria rutina generada por la actividad económica de toda el área de influencia de la misma. El crecimiento normal del tránsito ocurrirá aún cuando no se realice ningún tipo de mejoras, debido al natural cambio en la población, característica socio-económica de la población y actividades económicas.

El tránsito existente y su normal crecimiento pueden normalmente considerarse como constituido por el tránsito local, que tiene su origen y/o destino localizado dentro del área de influencia de la carretera; y el tránsito pasante que no tiene su origen o destino dentro del área indicada.

**(2) Tránsito derivado**

El tránsito existente que en la actualidad usa otras carreteras (u otros modos de transporte) pero que decide cambiar su viaje de rutina para usar la carretera bajo estudio después que el proyecto ha sido implementado, a causa de la reducción en las distancias, tiempos de viaje, costos u otros beneficios, originados por el proyecto.

**(3) Tránsito Generado**

El tránsito de pasajeros y carga que no ocurre actualmente pero que se originará cuando el proyecto de la carretera este terminada, debido a las favorables condiciones de circulación que ofrece reducción de distancias, tiempo, costo, etc. y que no existiría de no habérselo ejecutado o mejorado.

Este tránsito generado puede ser:

O Un incremento en la frecuencia de los viajes existentes.

O Tránsito inducido, definido como los viajes de pasajeros o carga que no se realizan en la actualidad pero que tendrán lugar si se lleva a cabo la implementación del proyecto propuesto.

**(4) Tránsito desarrollado**

Tránsito (en exceso sobre el normal, derivado y generado) como resultado del incremento de la actividad económica en el área de influencia de la carretera proyectada, atribuible al nuevo desarrollo (cambios o intensificación en el uso del suelo) y al mejoramiento del transporte o nivel de servicio, como resultado del proyecto.

El tránsito desarrollado incluye:

O Viajes de pasajeros o carga, como resultado de los cambios o intensificación en el uso del suelo dentro del área de influencia de la carretera.

O Redistribución del destino de los viajes, cambios en la elección de los destinos para los viajes existentes, debido a que el mejoramiento de la carretera permite satisfacer los propósitos de los viajes de pasajero y de carga mediante nuevos destinos.

**(5) Tránsito especial**

Definido como inusual o no recurrente, que no puede ser clasificado bajo un componente anteriormente descrito. Suele ocurrir por ejemplo, como resultado de la circulación de los camiones y equipo hacia y desde cualquier proyecto en construcción.

Cada uno de los componentes del tránsito anteriormente indicados, puede sub-dividirse dentro en tres grandes clases para la estimación de crecimiento del mismo.

C Tránsito de pasajero y servicio

C Tránsito de carga de productos agrícolas

C Otro tránsito de carga no agrícola

Cada componente de tránsito y clase, de ser posible debe considerarse separadamente en las predicciones.

Pueden emplearse diferentes métodos para los pronósticos de cada componente y clase dependiendo de:

- O Datos disponibles
- O Volumen del tránsito del año base
- O Metodología de evaluación adoptada
- O Tipo de mejoramiento de la carretera

tránsito existente sobre carreteras paralelas y alternativas de modo que pueda determinarse el volumen potencial del tránsito derivado por tipo de vehículo.

Deben realizarse visitas de campo al área de estudio para cumplimentar los siguientes propósitos:

### 6.3 Tránsito normal

#### 6.3.1. Determinación del volumen del tránsito existente por tipo de vehículos

La información más actualizada del volumen del tránsito por tipo de vehículo que ofrece la carretera en estudio y otras en el área de influencia debe ser obtenida y revisada en conjunto con mapas de la zona para propósitos tales como los siguientes:

- (1) Identificar cualquier defecto o falta en la información disponible sobre volúmenes del tránsito existente.
- (2) Decidir como deben ser categorizados y analizados los diversos tipos de vehículos a los fines del estudio.
- (3) Seleccionar puntos de control (por ejemplo: intersecciones, etc.) para introducir secciones de corte para pronósticos (es decir; segmentos donde los volúmenes de tránsito u otras características del mismo cambian significativamente);
- (4) Identificar dónde serán necesarios conteos adicionales para la evaluación del volumen de tránsito del año base y sus características.

Para carreteras nuevas, (no existentes) el procedimiento normal es determinar el

(1) Verificar la existencia y ubicación general (en base a mapas de la zona) de carreteras, intersecciones importantes y cualquier otros aspectos físicos de importancia en la demanda y operación del tránsito, identificando así mismo nuevas carreteras, etc. , que no sean visibles en los mapas base pero que deben considerarse en los estudios.

(2) Verificar o cambiar de ser necesario las ubicaciones de los puntos de control seleccionados donde se introducen las secciones de corte para cumplimentar los pronósticos de tránsito.

(3) Hacer conteos por tipo de los vehículos interceptados (un viaje por dirección) con el propósito de (a) realizar una verificación expeditiva de la información básica disponible (b) obtener una estimación preliminar de los volúmenes del tránsito sobre cada tramo de la carretera, con los cuales se dispone de una información de conteos.

(4) Seleccionar ubicaciones para conteos adicionales de tránsito (ATR) (conteos automáticos, clasificación manual, giros, origen y destino, etc.) que serán necesarios para completar la evaluación del volumen de tránsito para el año base y sus características.

(5) Obtener información preliminar sobre velocidad y demoras en las carreteras dentro del área en estudio; seleccionar la ubicación de los puntos de control para mediciones de los tiempos de viaje y demoras, midiendo el tiempo de viaje en cada dirección.

En base a las observaciones de campo, la base de datos del tránsito existente debe actualizarse para que refleje la mejor estimación de los volúmenes para cada tipo de vehículo, etc. Generalmente, la base de datos que describe el tránsito existente deberá incluir mediciones o estimaciones de:

- O T.P.D.A., por tipo de vehículo
- O Patrón de variación estacional en T.P.D.
- O Patrón de variación diaria en T.P.D.;
- O Variaciones horarias durante un día típico de la semana
- O Los factores K y D para las estimaciones de V.H.D. y V.H.D.D.
- O Ocupación promedio y carga por tipo de vehículo
- O Carga promedio por eje standar para cada tipo de vehículo.

### 6.3.2. Tránsito estacional vinculado con la agricultura

En las carreteras donde la mayor parte del tránsito vinculado con la agricultura es estacional, con frecuencia los conteos de tránsito realizados durante la estación de la cosecha no se encuentran disponibles. En este caso, el total del tránsito debe ser estimado y promediado para todo el año.

El procedimiento es el siguiente:

(1) Estimar la producción anual de cada cultivo por sub-área dentro del área de influencia:

(2) Estimar cualquier pérdida por cosecha o procesamiento del cultivo que modificarían el transporte de carga.

(3) En base a datos sobre población en el área de influencia, estimar el consumo local anual de cada cultivo;

(4) Del total de la producción (1) deducir (2) y (3) para obtener el tonelaje anual disponible para su transporte al mercado (excedente exportable);

(5) Deducir la parte de la cosecha no transportada por carretera (por ej. por ferrocarril, río, u otro medio)

(6) Convertir (5), el tonelaje anual remanente, en número de viajes de vehículo, empleando el tonelaje promedio transportado por vehículo cargado, representativo.

(7) Dividir (6), el número anual de viajes de vehículo por el número de días en el año, para obtener el T.P.D.A. y luego, multiplicar por 2 asumiendo que cada viaje de vehículo cargado tiene su complementario viaje de retorno vacío.

(8) Estimar los destinos de la cosecha de cada sub-área, y tabular el promedio diario anual de viajes desde cada sub-área hacia el mercado de destino o punto de recolección de la cosecha, calculando el porcentaje del número total de viajes correspondientes a los excedentes exportables, desde cada sub-área.

### 6.3.3 Análisis de las tendencias de crecimiento en el pasado

Si es posible disponer de los volúmenes históricos del tránsito, los mismos pueden ser

representados gráficamente para determinar si los datos pueden ser usados como ayuda en la predicción futura del crecimiento. La tasa del crecimiento en el pasado mostrará con claridad cualquier fluctuación anormal en el crecimiento del tránsito (por ej: construcción de una carretera próxima o un desarrollo importante en otras actividades anormales, incremento en el precio de combustible, etc.). Cuando las fluctuaciones anormales son eliminadas, la tasa corregida puede ajustarse a una curva regular, de preferencia exponencial que permite expresar la tasa de crecimiento como un incremento del porcentaje promedio anual. Asumiendo que las fluctuaciones puedan tener explicación, la tasa de crecimiento histórico puede ajustarse. Si no existe una razón aparente de las fluctuaciones, luego los datos históricos no son adecuados para estimar el crecimiento futuro. Normalmente el patrón de crecimiento histórico del tránsito es más estable o explicable en las carreteras de alto volumen que en las de bajos volúmenes.

Si el tránsito se proyecta a tasa constante de crecimientos para los próximos 20 años, puede resultar una predicción irracionalmente alta del volumen del tránsito al final del período en el año 20. Como práctica el tránsito debe proyectarse en un número de años igual al número de años de la serie histórica de conteos disponibles, por ejemplo: Si los datos de crecimiento están disponibles entre 1970-1985, luego el tránsito puede ser proyectado empleando la misma curva de crecimiento, para el período 1990-2005, solamente.

Si los datos históricos del volumen de tránsito están disponibles por tipo de vehículo, y si las clases de vehículo son

consistentes para cada año la tendencia para cada tipo de vehículo puede ser analizada separadamente o por lo menos clasificada en:

- (1) Turismo y pick-ups
- (2) Buses
- (3) Camiones incluyendo furgones y rastras

#### 6.4 Crecimiento normal de tránsito

El crecimiento normal de pasajeros y servicios (gobierno, bancos, comercio, etc.) y el crecimiento de tránsito, ha sido demostrados en muchos estudios, que esta relacionado generalmente a:

- Población
- Registro de vehículos
- Ingresos
- Producto bruto interno (P.B.I.)

La generación de viajes de larga distancia puede estar relacionada además con cambios en la distancia y tiempo del viaje.

Por el tránsito de carga, el crecimiento normal referido a productos del agro, se relaciona con cambios en los niveles de producción del sector, y en el crecimiento normal (no del agro) de otro tránsito de carga, estando generalmente relacionados con el producto bruto interno para cada sector económico.

Dos tipos de modelo de crecimiento pueden formularse dependiendo del tipo de carretera, volúmenes de tránsito y datos disponibles.

**(1) Modelo de análisis de la tendencia,** basados en datos históricos y estimaciones de

la tasa de crecimiento de tránsito en un tramo de la carretera.

**(2) Modelo de demanda de viajes**, emplea el año base para los viajes de zona a zona, características de la red de viajes de zona a zona (distancias, tiempos o costos), y características socio-económicas zonales, que permiten desarrollar un modelo de demanda directa para predecir la generación futura de viajes zonales, y el intercambio de viajes de zona a zona, para determinadas predicciones de la futura red y características socio-económicas zonales. La matriz resultante es luego asignada a la red de carreteras para obtener la predicción de sus volúmenes de tránsito.

#### 6.4.1 Modelo de análisis de la tendencia

El análisis de la tendencia es sencillo pero puede ser empleado solamente en carreteras de tránsito liviano que tengan poco tránsito directo, porque los parámetros socio-económicos se aplican a todo el tránsito. Si el tránsito se origina en diferentes áreas, la tasa de crecimiento de la población, ingresos, etc. de cada área puede variar substancialmente.

En este método, el crecimiento pasado de tránsito (T) se relaciona con el crecimiento pasado del área de influencia, en población (P), parque automotor (V), promedio de ingresos (I) y distribución del producto bruto interno (G). Si no se dispone de cifras confiables del crecimiento de tránsito, por el proyecto de la carretera, pueden usarse las correspondientes a una carretera cercana o próxima.

La fórmula de crecimiento de tránsito está

desarrollada en el análisis regresivo empleando datos históricos que dan ecuaciones de la forma:

$$T = aP^w + bI^x + cG^y + dV^z$$

donde: a, b, c y d son "coeficientes de elasticidad", de población, ingresos, producto bruto interno, (estudios de distribución por área) y crecimiento vehicular que proveen una medida de la sensibilidad del crecimiento de los restantes parámetros; y W, X, Y, Z, son coeficientes de calibración derivados del análisis de regresión (por ejemplo, si el resto de las variables se mantienen igual y sólo varían a y w, evaluándose por unidad, luego cada incremento porcentual en el crecimiento de población, producirá un incremento igual en el crecimiento de tránsito).

Para el uso en los análisis de regresión, los datos históricos de tránsito deben estar disponibles por lo menos para cinco años y el coeficiente de correlación debería ser alto (>0.8). El análisis de regresión es repetitivo, omitiendo una o más variables hasta que se obtiene la mejor correlación. La ecuación de crecimiento resultante será conveniente para la proyección de tránsito hasta 10 años, pero luego deberá ser empleada con gran cuidado y las tasas de crecimiento progresivamente reducidas en cada año, para evitar predecir un alto volumen de tránsito que no es real.

Este modelo de análisis de tendencia puede ser desarrollado por cada clase importante de vehículos ( turismo, pick-ups, buses y camiones incluyendo furgones) siempre que se disponga de datos históricos comunes de tránsito clasificados.

Para vehículos de carga, quizás conviene

hallar un conjunto diferente de variables que producirán mejores resultados.

#### 6.4.2 Modelo de demanda de viajes

Desarrollar un modelo de demanda directa, combinando generación de viajes, distribución zona a zona, requiere una considerable recolección de datos y análisis.

Para desarrollar y usar tal modelo de demanda, requiere que el estudio del área (área de influencia), esté dividido en número de zonas internas y externas para el análisis del tránsito (ZAT). Generalmente las zonas externas no deben ser mayores que departamentos, excepto por departamentos alejados del proyecto de la carretera. Las grandes ciudades serán divididas en zonas más reducidas, si el proyecto se encuentra cerca de tal ciudad. El número total de zonas probablemente no exceda de 30.

Para desarrollar este modelo es necesario tener información sobre los viajes de origen y destino (O-D). Para el estudio de carreteras aisladas, una sola estación de (O-D) sobre la carretera, normalmente provee la necesaria información; pero donde existe la posibilidad de tránsito derivado estaciones adicionales deben ubicarse sobre las carreteras alternativas.

La información necesaria incluye los tres tipos siguientes:

(1) El número de viajes del año base (por clase de vehículos y propósito del viaje) entre cada combinación (pares) de zonas, necesarias para obtener las mediciones de origen y destino (O-D)

(2) Características de la red de viajes zona a zona (distancia de viaje, tiempos o costos). Las distancias zona a zona, tiempos y costos, se miden desde los centros de población de cada zona y se asume permanecen constantes a lo largo del período de pronóstico de tránsito y evaluación económica del proyecto (los impactos de reducción en los tiempos de viajes y costos están considerados como Tránsito Generado).

(3) Las características socio-económicas zonales consideradas son las siguientes:

- O Población
- O Vehículos
- O Densidad de población
- O Ingreso per cápita
- O Producto bruto interno (dividido por zona)

Empleando el flujo de viajes zona a zona como variable dependiente y las características de la red mencionada anteriormente, (zona a zona, distancia de viajes, tiempo y costos), y las características socio-económicas zonales (población, etc.) como variables independientes, el análisis de regresión es llevado a cabo para determinar.

O El conjunto de variables independientes que producen los mejores resultados para predecir la demanda de viajes del año base, y más apropiado y aplicable, para el pronóstico de la demanda de viajes futuros zona a zona

O La calibración de los coeficientes

Deben probarse todos los parámetros para encontrar el modelo más simple que brinde una buena correlación. Varias combinaciones de parámetros pueden emplearse, pero cada prueba incluirá el

tiempo de viaje o distancia de viaje.

Una típica ecuación de regresión, la cual es forma modificada del modelo gravitacional podría ser:

$$\text{Viajes (A} \rightarrow \text{B)} = \frac{K (P_a + P_b)}{T^n}$$

donde:

$P_a$  y  $P_b$  = Población en las zonas A y B

T = Tiempo de viaje (A  $\rightarrow$  B)

$K, n$  = Coeficientes

Para cada tipo de vehículo y propósito de viaje, existen dos modelos: uno para los viajes entre ciudades, y el otro para viajes rurales. Los viajes entre ciudades se definen como aquellos que tienen su origen y destino en un centro urbano generador importante, por ej: entre dos ciudades departamentales. Los viajes rurales, aquellos que tienen solamente uno o ninguno de los orígenes o destinos desde un importante centro generador de tránsito urbano. Estos dos tipos de viajes tienen generalmente diferentes características, de modo que también tendrán variables independientes y coeficientes de calibración diferentes.

El pronóstico de los parámetros zonales futuros (población, vehículo, etc.) deben obtenerse de los registros oficiales de gobierno.

Empleando los parámetros zonales, predicción futuras y las ecuaciones de regresión, las estimaciones se realizan sobre los futuros viajes inter-zonales que son luego asignados al proyecto de la carretera y al cálculo de las tasas de crecimiento de

tránsito. Además, se determina el tránsito desviado el que tendrá la misma tasa de crecimiento.

Esta metodología es muy general y por cada proyecto importante será necesario modificarla apropiadamente. Probablemente para algunos proyectos de carreteras, el tránsito local será de significación y por lo tanto habrá que considerarlo separadamente; para otros proyectos, los buses de pasajeros pueden abarcar un porcentaje importante de viajes de personas. Cada proyecto debe ser examinado al inicio para determinar los parámetros específicos, modelos y mediciones necesarias, así como establecer adecuadamente la metodología para cada situación.

### 6.4.3 Tránsito de carga

El pronóstico de crecimiento normal del tránsito de carga puede ser cumplimentado de diversas maneras dependiendo del volumen, tipo y variación estacional del tránsito de carga que haga uso de la carretera en estudio.

Para algunas carreteras, puede ser apropiado pronosticar el crecimiento normal del tránsito de carga en una manera similar al tránsito de pasajeros.

Para las carreteras ubicadas en áreas de influencia con importante actividad industrial, el crecimiento del tránsito de carga industrial, puede determinarse mediante una estimación del incremento futuro de la actividad industrial, asumiendo iguales tasas para ambos, siempre y cuando no se registren cambios que sean significativos en los tipos y tamaños de los vehículos de transporte.

El crecimiento del tránsito de carga a las actividades de la agricultura puede ser determinado mediante a:

- (a) Estimación del incremento futuro de las actividades de agricultura, y asumiendo igual tasa para el tránsito de carga, o
- (b) Empleando el enfoque del excedente del productor ya descrito, calcular el tonelaje y número de vehículos de carga para el transporte de la producción pronosticada para los años futuros.

#### 6.4.4 Desarrollos Planificados

El crecimiento normal de tránsito también incluye el impacto de cualquier desarrollo planificado, que se conozca, y que se ha de implementar aún cuando no se lleve a cabo la mejora.

Cuando los planes de desarrollo se refieren a las propiedades industriales o de la vivienda, la estimación de futuros tonelajes, residentes y algunas veces los flujos de tránsito, pueden obtenerse de las planificaciones de tales propiedades ya sean de gobierno o consultores. Un método alternativo es usar los datos que se obtienen de propiedades industriales o de viviendas ya construídas y obtener los factores de generación, relacionando el tránsito del área de las propiedades, tipo de industria o número de residentes.

El tránsito generado por estos emprendimientos debe estimarse separadamente para cada año hasta que el mismo se encuentre completamente

desarrollado, más tarde se tomará en

consideración el de tránsito a tasa normal de crecimiento.

#### 6.5 Tránsito generado

El tránsito generado es aquél que sólo se origina por las favorables condiciones de circulación que ofrece la carretera, y que no existiría de no habérsela ejecutado o mejorado, resultando en viajes más cortos, rápidos y confortables.

El tránsito generado puede ser entendido como:

- (1) Viajes adicionales realizados por personas que ya viven o visitan el área.
- (2) Viajes realizados por personas que no los habían considerado de valía anteriormente, pero que ahora encuentran la carretera tan atractiva que deciden realizarlos.

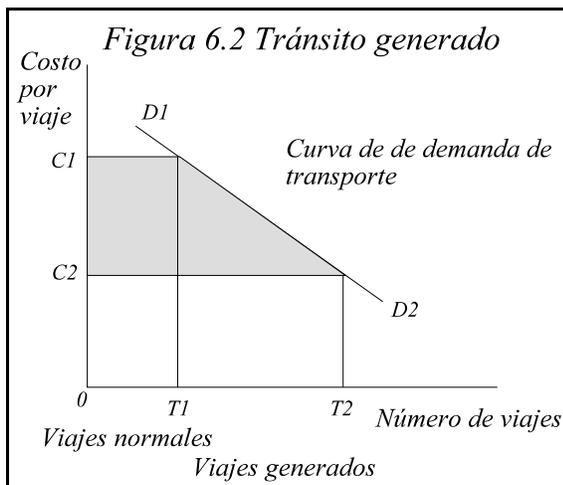
El tránsito generado puede originarse en carreteras nuevas o mejoradas.

En las carreteras mejoradas, el tránsito generado se origina a causa del mejoramiento en el servicio de tránsito. En las carreteras nuevas, a causa del nivel de servicio de tránsito (distancias, tiempos, costos, etc.) proporcionados por la nueva carretera que son mejores aun que la mejor alternativa disponible para realizar el viaje. No se debe confundir el tránsito generado con el tránsito derivado. El tránsito derivado ya existía antes que el proyecto de la carretera sea construído o mejorado; en cambio el generado era inexistente, hasta ese momento.

Una base teórica para el tránsito generado es el propuesto en forma racional por el

"Enfoque de los ahorros de costo para el usuario" (Enfoque del excedente al consumidor), de amplio uso para el análisis de los beneficios económicos de los proyectos de carreteras.

La base teórica de este enfoque se indica en la Figura 6.2



Se asume como demanda de transporte la curva (o curvas)  $D_1$ - $D_2$

En una situación existente el costo del viaje es  $C_1$ , y el número de personas realizando el viaje es  $T_1$ .

Con la construcción o mejoramiento de la carretera, el costo del viaje se reduce a  $C_2$ .

Con un costo de viaje en  $C_2$ , el número de personas que prefieren realizar el viaje es ahora  $T_2$ .

Luego los viajes generados (o inducidos) a causa de la reducción en el costo por viaje, será  $T_2 - T_1$ .

Existen dos métodos de pronosticar el

tránsito generado:

**(1) Comparando los conteos de tránsito antes y después en carreteras similares.**

El tránsito generado en carreteras mejoradas (como porcentaje del tránsito normal) puede ser estimado por comparación de los conteos de tránsito antes y después (por tipo de vehículo) sobre carreteras de característica similares dentro del área de influencia. Generalmente el tránsito generado no excede el 30% del tránsito normal.

**(2) Estimando la elasticidad de la demanda por viaje**

El primer método puede ser usado cuando es necesaria una rápida estimación, pero sin exigir mucha precisión. Es más conveniente para los estudios preliminares especialmente los que se refieren a carreteras de penetración. El segundo método se debe usar cuando existe la posibilidad de tránsito derivado. La comparación con el incremento de tránsito experimentado sobre carreteras previamente mejoradas puede ser engañosa, porque cuando una carretera se construye y existe alguna derivación desde otras carreteras o medios de transporte, es difícil asegurar que parte del incremento de tránsito se debe al generado y cual parte se debe al derivado.

**Método 1. Comparación de conteos antes y después sobre carreteras similares.**

Cuando el proyecto se refiere al mejoramiento de una carretera secundaria y existen dentro del área otras carreteras que han sido mejoradas luego, si existe una reducida probabilidad de derivación que

pueda ocurrir desde otras carreteras o medios de transporte hacia la carretera mejorada, el tránsito generado puede ser estimado directamente. Se realiza comparando los volúmenes clasificados del tránsito sobre las carreteras que ya se encuentran mejoradas, con los volúmenes existentes antes del mejoramiento. Después de ser ajustados con los volúmenes por el crecimiento normal, los factores de generación pueden ser calculados para determinar el porcentaje del tránsito generado para cada clase de vehículo.

Luego estos porcentajes pueden aplicarse a los volúmenes del tránsito existente del proyecto de la carretera, para estimar los volúmenes del tránsito generado.

### **Método 2. Estimación de la clasificación de la demanda**

Para los estudios de mayor precisión en carreteras importantes, el tránsito generado puede ser estimado calculando el precio de la elasticidad de la demanda por viaje. La elasticidad de la demanda por viaje (con respecto del costo del viaje) se define como el porcentaje de modificación o cambio en el costo del viaje. Por ejemplo, si el costo de un viaje se incrementa el 50% y el número de viajes decae el 25%, la elasticidad es  $25/50 = 0.5$ . la elasticidad se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{(T_2 - T_1) / T_1}{(C_2 - C_1) / C_1}$$

donde:

E = Elasticidad de cambio en T con respecto al cambio en C.

T<sub>1</sub> = Número de viajes a costo C<sub>1</sub>

T<sub>2</sub> = Número de viajes a costo C<sub>2</sub>

La elasticidad puede calcularse en relación al costo percibido del viaje así, lo que un conductor promedio considera son sus costos cuando realiza un viaje, y que valor le asigna a cada uno de los elementos que participan del viaje.

El costo percibido del viaje debe ser el costo financiero (incluyendo impuestos que paga el usuario) e incluir su costo de bolsillo y el valor percibido del tiempo de viaje. El costo percibido de los usuarios no debe incluir aquellos que se refieren a la depreciación del vehículo y los costos operativos, dado que no afectan sus decisiones respecto al viaje.

Para determinar los valores de elasticidad de la demanda por viaje, y por ende el tránsito generado, es necesaria la información que se obtiene a través de entrevistas a los grupos familiares que se encuentran cercanos o próximos a los límites de la carretera con el propósito de analizar la relación entre los costos percibidos del viaje, ingresos, gastos de transporte y demanda de transporte. La información debe ser amplia de modo que cubra un elevado número de niveles de ingreso. Para cada nivel de ingreso, los datos se analizan para averiguar el precio de elasticidad de la demanda por viaje. Luego, mediante un análisis de regresión, puede desarrollarse la relación entre viajes generados, elasticidad o ingreso.

El siguiente es un ejemplo de una forma generalizada de predecir el tránsito generado (por clase de vehículo propósito del viaje) para carreteras existentes que son mejoradas:

$$\text{Viajes generados} = E.P.N.I^m / (d^n 100)$$

donde:

E = Precio de elasticidad de la demanda por transporte  
 P = Porcentaje del cambio en el costo percibido del viaje  
 N = Número existente de viajes  
 I = Ingreso promedio por capita en el área de estudio para cada grupo.  
 d = Distancia del viaje  
 m,n = Coeficientes

En ausencia de suficientes elementos para desarrollar un modelo para predecir la elasticidad, se puede suponer la elasticidad y los viajes generados estimarlos mediante la siguiente fórmula:

$$Tv = A.D.Tv_v \cdot \frac{V_2 - V_1}{V_2} (E_w \cdot t_w + E_s \cdot t_s) \frac{1}{100}$$

donde,

Tv = Viajes generados por vehículo V  
 ADT<sub>v</sub> = Tránsito diario normal por vehículo (TPD)  
 V<sub>2</sub> = Costo percibido por vehículo V sobre la carretera existente por viaje  
 V<sub>1</sub> = Costo percibido por vehículo V sobre la carretera mejorada por viaje  
 E<sub>w</sub> = Elasticidad de viajes de trabajo, por ejemplo - 0.20  
 E<sub>s</sub> = Elasticidad de otros viajes, por ejemplo - 0.80  
 t<sub>w</sub> = Viajes de trabajo como porcentaje del total de viaje  
 t<sub>s</sub> = Otros viajes como porcentaje del total de viajes

Con el mejoramiento de carreteras que se encuentran pavimentadas, el tránsito generado anticipado será pequeño, quizás sin valor: Si se lo incluye no debería ser mayor

del 5% del tránsito normal.

Los viajes de pasajeros generados son considerados solamente como viajes generados para el primer año de la carretera mejorada. Luego, el tránsito de pasajero generado se considera que tiene la misma tasa de crecimiento que la correspondiente al tránsito normal de la misma clase.

## 6.6 Tránsito desarrollado

El tránsito desarrollado no existe al presente pero existirá como consecuencia del desarrollo y nuevo uso de la tierra cuando se implemente el proyecto de la carretera.

### 6.6.1 Desarrollos planificados y proyecto dependiente

Una definición apropiada de tránsito desarrollado es que, el desarrollo que traerá aparejado el nuevo uso de la tierra debe ser un desarrollo que ocurrirá solamente si se implementa el proyecto de la carretera.

El incremento del tránsito como consecuencia de un desarrollo planificado, es decir, el desarrollo que tendrá lugar se realice o no el mejoramiento, se considera parte del crecimiento normal del tránsito. La tendencia de crecimiento del tránsito normal para la carretera en estudio puede incluir estos nuevos desarrollos como parte integrante de la causa subyacente del crecimiento normal de tránsito en el pasado y futuro; o el específico nuevo desarrollo puede considerarse separadamente del crecimiento normal, desde el momento que puede influir parcialmente dentro del área de influencia y afectar a algunos tramos más que a otros.

Debe enfatizarse que el verdadero desarrollo del tránsito solamente ocurre sobre carreteras nuevas o mejoradas, mientras que "el tránsito correspondiente a un desarrollo planificado" ocurre, en igual forma, en ambas, carreteras existentes o mejoradas. El verdadero desarrollo del tránsito es normalmente usado solamente para estimar los volúmenes totales de tránsito con propósito de diseño y no para evaluar beneficios que son consecuencia del tránsito desarrollado y son evaluados como un valor adicionado a los beneficios. Los beneficios del tránsito en un desarrollo planificado, sin embargo, son normalmente evaluados como ahorro en los costos del usuario.

Hay un riesgo de confundir "desarrollo planificado" y mucho cuidado se debe tener en separarlos. Por ejemplo una nueva propiedad industrial adyacente a una carretera puede muy bien incrementar el tránsito desarrollado, sin existir la carretera, la nueva propiedad no podría haber sido implementada. Puede, sin embargo ser coincidencia que la carretera y el establecimiento fueran implementados al mismo tiempo, así como también existir otros medios de servicios de transporte tales como, ferrocarril o navegación próximos, o que algún descubrimiento en fertilización posibilite la implementación del establecimiento. Antes de determinar el tránsito desarrollado, todas las posibilidades indicadas deben ser cuidadosamente consideradas.

### **6.6.2 Diferencia entre tránsito generado y desarrollado**

En un sentido ambos tránsitos, generado y desarrollado son similares, en que el

incremento del tránsito de cada uno de ellos es el resultado de la implementación de una carretera mejorada o del proyecto de construcción de una nueva. Sin embargo tránsito generado y desarrollado no son lo mismo. Tránsito desarrollado, son los pasajeros y viajes de carga hacia y desde la zona expandida o desarrollada, por el nuevo uso de la tierra. Tránsito generado, son los viajes adicionales como resultado de la reducción en los tiempos y costos que brinda la puesta en marcha del proyecto de la carretera, aún sin considerar nuevo desarrollo en el uso de la tierra.

### **6.6.3 Fuentes del tránsito desarrollado**

El tránsito desarrollado puede incrementarse por dos principales fuentes:

○ Desarrollo del agro

○ Desarrollo industrial (canteras, establecimiento industrial, turismo, etc.)

El tránsito desarrollado debido al agro es el tránsito necesario para transportar el incremento producido como resultado del mejoramiento de métodos de rendimiento de cosechas y áreas adicionales de cultivo que se han originado solamente a causa de la construcción o mejoramiento de la carretera. Este tránsito no ocurrirá si no se construye o mejora la carretera.

La predicción del incremento del tránsito desarrollado por el agro está teóricamente basado en el enfoque de "los excedentes del productor" el cual brevemente establece que, el mejoramiento del acceso a un área dedicada a la agricultura puede, mediante la reducción de los costos de transporte de la

producción exportable, afectar el precio en puerta de las granjas y permitir a los granjeros alcanzar una mayor producción, mediante el empleo de alguno o todos de los procedimientos siguientes:

- O Incrementar el tamaño de la granja, donde es practicable
- O Duplicar los cultivos
- O Incrementar los rendimientos adoptando métodos alternativos de mayor eficiencia
- O Sustituyendo los cultivos actuales por otros de mayor valor

El tránsito de pasajeros y buses inducido por la carretera como resultado de un desarrollo en la agricultura o industrial, que tenga como única causa la construcción de la misma, es pequeño, difícil de estimar y generalmente ignorado en los estudios.

Generalmente, en el mejoramiento de la carreteras pavimentadas existentes, el tránsito desarrollado debería ser ignorado porque raramente es de significación.

Para carreteras nuevas, los volúmenes en forma aproximada, pueden, obtenerse del área a ser desarrollada y de los rendimientos de los cultivos existentes de carreteras próximas de características similares. El desarrollo de tránsito industrial en carreteras nuevas, puede estimarse de los volúmenes medidos en zonas de similar desarrollo.

Si el enfoque de los excedentes del producto son usados para fines de evaluación, luego, el tránsito, desarrollado no debe incluirse en el cálculo de los beneficios de los costos del usuario ya que éstos están incluidos como valor agregado.

Los volúmenes de tránsito desarrollado son necesarios sin embargo para estimar los volúmenes totales para el diseño de carreteras y pavimentos.

### 6.7 Tránsito derivado

El tránsito se deriva desde otras carreteras hacia la carretera del proyecto, cuando el usuario encuentra un beneficio en cambiar de ruta.

Normalmente es un beneficio en tiempo y costo, pero también en comodidad o acortamiento de la distancia.

Generalmente, el tránsito derivado puede estimarse usando:

O Un todo-o-nada **tiempo** mínimo de viaje por el tránsito de pasajeros, y

O Un todo-o-nada **costo** mínimo de viaje por el tránsito de carga.

El tránsito puede derivarse a una carretera nueva, por una variedad de razones así como también permanecer sobre otra de mayor longitud o tiempo de viaje que la nueva o mejorada. Luego, en la estimación de tránsito derivado desde una carretera hacia otra, el todo o nada tiempo mínimo asignado debe usarse solamente cuando el tránsito derivado no es una parte significativa del volumen de tránsito.

Se ha demostrado por investigaciones realizadas en los E.E.U.U. y en otros países, que el porcentaje de tránsito que se puede derivar hacia una carretera nueva, es función de la relación existente entre los totales de los tiempos de viaje sobre las carreteras nuevas

y viejas.

La fórmula más generalizada es la, AASHTO Diversion Curve:

$$P = 100 / [1 + (T_2/T_1)^6]$$

donde:

P = Porcentaje de viajes derivados de la carretera vieja hacia la nueva.

T<sub>1</sub> = Tiempo de viaje sobre la carretera vieja.

T<sub>2</sub> = Tiempo de viaje sobre la carretera nueva.

Esta fórmula es de empleo particular cuando la mayor parte de tránsito derivado proviene de una sola carretera; cuando no existe una red de carreteras es suficiente usar todo-o-nada tiempo mínimo de viaje asignado, porque el volumen derivado desde cada carretera de una red es usualmente pequeño. En todos los casos, debe asumirse una división direccional balanceada, es decir, cuantos vehículos dirigiéndose desde A hacia B y desde B hacia A se derivan a la carretera proyectada.

No deben emplearse curvas de derivación para aquellos vehículos que tienen horarios o rutas fijas como los buses.

La metodología para estimar el tránsito derivado en desvíos donde la mayoría de tránsito es derivado, es la siguiente:

**(1)** Llevar a cabo mediciones de Origen y Destino (O-D) sobre las carreteras existentes para determinar el porcentaje de tránsito potencial para derivar, es decir, viajes que no tendrán paradas intermedias en la carretera.

**(2)** Medir los tiempos de viaje existentes entre cada combinación ( par) de zonas y estimar los tiempos de viaje usando la nueva ruta por cada par de viaje zona a zona.

**(3)** Mediante la Curva de Derivación AASHTO, empleando el tránsito que podría derivar, calcular el total de tránsito predecible (por la curva) que deriva hacia la nueva carretera (o mejorada); esto debe ser hecho separadamente por cada movimiento zona a zona y clase de vehículo (dado que pueden tener diferentes velocidades y tiempos de viaje).

El tránsito derivado es adicionado al normal, si existe, y se debe asumir el crecimiento en la misma proporción que el normal. Para el caso de la carretera nueva, el tránsito derivado crecería en la misma proporción que el tránsito sobre una carretera existente en el área.

**6.8 Tránsito derivado** (Transferido desde otros medios de transporte).

Los medios de transporte competitivos de pasajeros y carga incluyen: carreteras, ferrocarril, agua y aire. De existir, o no estar planificado, deben ser examinados en el área del proyecto para determinar si el mejoramiento en el transporte por carretera atraerá (personas y mercaderías) desde otro medio de transporte.

El transporte incluye todo medio destinado a este propósito ya sea para pasajeros y/o carga. Conceptualmente, una red nacional de transporte puede incluir: carreteras, ferrocarriles, navegación interior en ríos, oceánica y costera, aviación, y conductos/gasoductos.

Sin embargo, la existencia, rol, significación y potencial de cada medio de transporte puede variar de un país a otro.

La naturaleza del sistema de transporte de un país puede reflejar muchas influencias, incluyendo, la geografía, población, densidad y su histórico crecimiento y desarrollo económico.

La derivación desde el transporte aéreo hacia la carretera es raro, aún en las carreteras de larga distancia, donde la diferencia de tiempo en el viaje es muy grande.

El transporte aéreo no es generalmente afectado por los proyectos de carretera, excepto cuando se considera el mejoramiento de transporte carretero sobre longitudes inter-regionales en carreteras especiales, principales o troncales. Cuando la red de carreteras inter-regionales ya ha sido construída, puede asumirse que no se afectará el transporte aéreo a consecuencia de los proyectos de construcción de mejoramiento futuro de carreteras.

El tránsito por agua puede ser de dos tipos, costero o navegación interior en ríos. El transporte de carga costero solamente será afectado por un mejoramiento de carreteras que se extienda a lo largo de la costa. El tránsito interior por agua, de pasajeros y carga podría verse afectado por el mejoramiento de carreteras paralelas a los ríos donde existían servicios de transporte.

La derivación de transportes por agua puede ocurrir si la nueva carretera se construye en un área donde existen en la actualidad viajes de pasajeros y carga mediante transporte por agua. El efecto del mejoramiento de la

carretera sobre el transporte por agua puede determinarse comparando el costo y velocidad del viaje por los dos medios, agua y carretera.

Deben realizarse además entrevistas a los pasajeros y operarios. Con el fin de determinar si existen otras razones o condiciones que pudiesen afectar a los usuarios del transporte por agua en su elección del modo de viajar.

La derivación del transporte por ferrocarril hacia la carretera, solamente ocurre cuando existe un servicio ferroviario con frecuentes paradas dentro del área de influencia, y sensiblemente paralelo a la carretera proyectada. Los usuarios de larga distancia raramente adoptan otra opción. El tránsito por el ferrocarril es solamente de importancia cuando se consideran carreteras paralelas a la vías; una disminución en los costos de viaje sobre una red de carreteras podría atraer pasajeros y carga del ferrocarril. En proyectos de importancia debe evaluarse y estudiarse con prolijidad.

Para proyectos menores, se debe prever cambios sin importancia de un medio a otro.

Como resultado del mejoramiento futuro de carreteras en Honduras, es poco probable que se produzcan cambios de los medios de transportes para pasajeros y carga.

El área de influencia debe ser examinada y estudiada mediante visitas para determinar si existe la posibilidad de derivación de un medio de transporte hacia otro y, si existe, luego, llevar a cabo entrevistas a los usuarios de los diferentes medios, por ferrocarril o agua, para evaluar las condiciones reales.

Las investigaciones se llevarán a cabo en:

- En las terminales de ferrocarril y muelles
- Con los operarios de transporte
- A nivel de vecindario

\* La información que se debe obtener mediante entrevista incluye:

- (1) Origen y destino de los viajes, y paradas intermedias
- (2) Costo de los viajes por persona o tonelada, incluyendo los costos por traslado
- (3) Tiempo de los viajes
- (4) Propósito del viaje
- (5) Viajaría por la carretera si se construye o mejora; en caso afirmativo, porque?

Los costos y tiempos de los viajes para cada movimiento de zona-a-zona, deberá ser calculado para todo el tránsito potencial a ser derivado desde el transporte por ferrocarril o agua. Esto se debe realizar de puerta a puerta e incluirá los costos y tiempos de traslado, por ejemplo: espera en las estaciones, carga de equipaje, etc.

El tránsito derivado de carga es normalmente asumido de ser todo-o-nada mínimo costo.

Para el tránsito de pasajeros, alguna consideración debe tenerse con respecto a la diferencia de tiempo del viaje y operación del ferrocarril y servicios por agua. En la mayoría de los estudios, la derivación del tránsito de pasajeros desde otros medios es pequeña y resulta adecuado asignar un todo-o-nada. Sin embargo, si la derivación es

importante en el cálculo de los beneficios (superior al 10%) deberá ser llevado a cabo un estudio suplementario para determinar cómo los viajeros evalúan el tiempo y conveniencia. Debe calcularse un costo ponderado del viaje.

Al crecimiento del tránsito debido al tránsito derivado desde otros medios, deberá asignársele la misma tasa de crecimiento que corresponde al normal; en caso de una carretera nueva, el que corresponde a otras que se ubiquen próximas al proyecto.

### 6.9 Tránsito especial

El tránsito especial se define como inusual o no recurrente y que no puede clasificarse como un componente conocido del tránsito futuro. Tránsito especial puede originarse por ejemplo, como resultado de los viajes de camiones y equipos, hacia y desde una obra importante en construcción.

El tránsito especial puede algunas veces considerarse como una forma del tránsito desarrollado; cuando ocurre en un limitado período de tiempo y no ocurriría si la carretera no se construyera. Un típico ejemplo es el tránsito durante la construcción de la carretera o un tramo de la misma. El volumen de tránsito especial se estima en base a algunos principios (cantidad de materiales que se transportan) y es generalmente usado solamente en la estimación de los volúmenes totales para propósito de diseño. En algunos casos puede existir un beneficio derivado del tránsito especial, pero es muy pequeño para ser considerado.

El tránsito especial durante un período

limitado puede también ocurrir por razones no relacionadas en forma directa con el mejoramiento de la carretera. Un ejemplo clásico lo constituye el tránsito de camiones para un plan de irrigación, el que se ejecutará se realice o no el mejoramiento de la carretera. Este tránsito beneficiará en la misma forma que el normal, excepto que lo será durante el limitado período de la ejecución del plan de irrigación.

Para el cálculo de los beneficios, el volumen de este tipo de tránsito se calcula del mismo modo descrito anteriormente para la construcción, y luego se le adiciona el normal durante el tiempo que ello ocurra.

### 6.10 Red Urbana de carreteras

Las carreteras urbanas son raramente consideradas en forma aislada de la red urbana circundante a causa de

○ Efectos de los diferentes proyectos de mejoramiento en el área de influencia.

○ Efectos de cambios de política administrativa en los otros medios de transporte.

○ Efectos de cambios políticos en el uso de la tierra.

○ Posibles efectos benéficos que se relacionan con medidas de regulación del tránsito.

Las únicas ocasiones en que las carreteras urbanas pueden considerarse aisladas sería en los siguientes casos.

(1) El tramo o sección urbana de una

carretera importante entre ciudades, sirviendo principalmente al tránsito directo, el cual puede analizarse empleando la misma tecnología que para las carreteras rurales importantes.

(2) Una carretera que provee acceso a un desarrollo aislado industrial, comercial o residencial y que no transporta otro tránsito de significación. Este tipo de carretera debe analizarse estimando la cantidad (toneladas) del tránsito de mercaderías que el desarrollo generará cuando se concrete, y convertirlo en vehículos tipo.

(3) Intersecciones aisladas de carreteras  
Los pronósticos del tránsito pueden realizarse solamente empleando la proyección de los conteos de tránsito en el pasado y comparando los volúmenes pronosticados con las capacidades existentes. Tratar de usar modelos más sofisticados para pronosticar el tránsito no tendría sentido, a causa de la incertidumbre de los efectos considerados anteriormente.

### Modelos para la Planeamiento Urbano del Transporte (P.U.T)

La introducción de la computadora y software en gran escala, ha permitido la aplicación de modelos de planeamiento urbano de transporte (PUT) necesarios para esta tarea. El propósito de un modelo (PUT) es el de predecir la demanda de viajes y comportamiento de la red de transporte, de manera de predecir las consecuencias probables de un rango potencial de acciones alternativas para el mejoramiento del transporte, no solamente con el propósito de evaluar las inversiones en la infraestructura propuesta, sino también de evaluar las

políticas de gobierno al respecto.

La aplicación de un modelo (PUT) involucra las siguientes actividades:

○Predecir el patrón más probable para el desarrollo de la tierra en el futuro (año de diseño).

○Estimar la demanda de transporte creada por el uso de la tierra.

○Formular un conjunto de planes alternativos para el año de diseño, incorporando todos los modelos de transporte.

○Estimar las características operativas de cada plan en forma de flujo de vehículos sobre cada tramo de la red en el año de diseño.

○Calcular la capacidad necesaria de cada tramo y los beneficios colectivos y costos del total de la red.

Los principales supuestos implícitos en un modelo PUT son:

○Una relación estable entre las características de la demanda de transporte y el patrón del uso de la tierra;

○Las características del sistema de transporte alternativo considerado no afectará o cambiará el patrón del uso de la tierra en el año de diseño; y

○La suma total de viajes en el sistema no estará afectada por el tipo y calidad del servicio de transporte provisto.

En general, un modelo PUT consiste de un

conjunto de sub-modelos de simulación matemática de "oferta" y "demanda" para el transporte urbano.

La provisión de transporte está descrita en el procesamiento del modelo por una entrada (input), mediante:

○Los datos descriptivos de las vinculaciones cercanos de la red, obtenidos de los inventarios en la carretera e intersecciones y los que se refieren a otras actividades.

○Registros de datos computados describiendo cada vinculación para cada medio de transporte.

○Resultados del análisis de los tiempos de viaje y demoras experimentados por el tránsito en los varios tipos de vinculaciones de la red para desarrollar la relación velocidad/flujo, y

○Zona-a-zona, distancias de viajes, tiempos, costos.

El análisis y modelo para la demanda de transporte se relaciona con las tareas de identificar, analizar y describir matemáticamente los factores esenciales y relaciones que afectan la mayor parte de los componentes del comportamiento del viaje.

Esto se logra mediante el desarrollo y uso de cuatro sub-modelos de demanda que son:

**Generación del Viaje**, la decisión de viajar por un propósito.

**Distribución del viaje**, la elección del destino del viaje.

**Clasificación modal.** La elección de un medio de transporte; y

**Asignación de Tránsito.** La elección de una ruta en la red de transporte.

Los cuatro pasos en el proceso de pronosticar la demanda de viajes pueden llevarse a cabo mediante:

- (a) A través de un orden secuencial progresivo de cuatro pasos con las salidas (OUTPUTS) de cada paso convertidos en entradas (INPUTS) del paso siguiente, o
- (b) Mediante un proceso simultáneo de modelo equilibrado de transporte, se predicen dentro de un modelo único de cuatro componentes de demanda de viajes, de manera que el balance entre oferta y demanda de transporte afecte las predicciones de demanda de viajes de los cuatro componentes.

### 6.10.1 Generación de viajes

El análisis y modelación de la generación de viajes permite obtener índices (por ejemplo viajes diarios por persona o por familia) o ecuaciones de regresión para estimar cada tipo de aquéllos en particular generados en una zona de análisis específica (TAZ) en base a su población, características socioeconómicas y del uso de la tierra en la misma.

Desde el momento que el comportamiento del viaje depende de su propósito (traslado al trabajo, educación, compras u otros fines), el paso inicial en el diseño de un modelo de demanda de transporte es la selección de los

tipos de viajes a ser modelados separadamente. Comúnmente, los tipos de viaje personal a modelar por separado son:

- (1) viajes al trabajo con origen en el hogar;
- (2) viajes a los centros de educación generados en el hogar;
- (3) viajes con otros propósitos generados en el hogar;
- (4) viajes no generados en el hogar.

Sin embargo, la naturaleza específica y requerimientos para cada estudio de transporte urbano en particular deberían ser considerados para decidir sobre los tipos de viaje a ser analizados y modelados. Por lo general, el viaje urbano está dominado por el traslado al trabajo y, especialmente para ciudades pequeñas, es suficiente considerar solamente los viajes al trabajo para determinar los requerimientos de capacidad asociados al tránsito pico.

Otra consideración en el análisis de la demanda de viajes urbanos consiste en que los viajes totales dentro del área de estudio pueden incluir:

- (1) viajes con ambos extremos (origen y destino) dentro de los límites del área de estudio y viajes que tienen uno de sus extremos ubicado fuera los límites de dicha área.
- (2) viajes realizados por residentes y viajes realizados por visitantes al área de estudio.

Para cada viaje, el análisis de generación determina el mejor método para predecir la

producción y atracción de viajes para un uso de la tierra dado en cada zona y sus características poblacionales.

El mejor método para determinar los índices de generación de viajes deben seleccionarse entre:

- (a) análisis de regresión
- (b) técnicas de corte transversal

Las tasas de generación de viajes pueden desarrollarse a partir de un análisis de regresión entre la producción de viajes en una zona y el número de personas promedio por vivienda en la misma y sus características socioeconómicas o la correlación entre la atracción de viajes por zona y el número total de puestos de trabajo por tipo u otras variables zonales que estén lógicamente y estadísticamente relacionadas. Debe utilizarse el análisis de regresión múltiple por pasos individuales para examinar los efectos de cada variable.

La técnica de corte transversal, que provee un método más conveniente (desagregado) para la predicción de generación de viajes, involucra la estratificación de la totalidad de las viviendas dentro de cada zona en grupos de características similares y el desarrollo de índices de generación de viajes para cada grupo.

Para el destino fuera del hogar de los viajes personales, los índices de atracción pueden relacionarse a tipos específicos e intensidades en el uso de la tierra. Por ejemplo, los índices de atracción podrían estar relacionados con el tamaño de tales usos, tal como metros cuadrados de cierto uso, metros cuadrados de

espacio en planta, número de empleados, u otras mediciones del uso de la tierra que puedan ser lógicas y estadísticamente relacionables con la generación de viajes.

Las variables generalmente consideradas para el extremo de producción (hogar) en la generación de viajes, incluyen:

- \* Número de viviendas en la zona
- \* Personas por vivienda
- \* Ingreso familiar (todo tipo de viajes)
- \* Disponibilidad de vehículo particular
- \* Número de personas que trabajan por vivienda (viajes de trabajo)
- \* Número de estudiantes por viviendas (viajes de estudio)

Las variables generalmente consideradas para el extremo de atracción (fuera del hogar) de los viajes incluyen:

- \* Número de empleos por tipo localizados en la zona
- \* Matrícula de estudiantes por nivel y por zona
- \* Áreas comerciales en la zona
- \* Áreas de oficinas
- \* Áreas de manufactura
- \* Otras variables posibles.

Primariamente, el análisis de generación se desarrolla utilizando los resultados de una encuesta de hogares. Sin embargo, los datos obtenidos de encuestas de generación de tránsito pueden ser empleados para desarrollar índices de atracción para ciertos

usos específicos de la tierra.

Como dato de entrada para el análisis de generación, es necesaria la información que describa las variables población, aspectos socioeconómicos y uso de la tierra para cada zona de análisis. Estos datos zonales pueden ser obtenidos de censos y otros medios de información existentes o pueden desarrollarse a partir de los resultados de la encuesta.

El proceso de calibración involucra la comparación del resultado de aplicar los índices de generación de viajes para el año base al uso de la tierra por zona y las características de la población extendiendo los resultados a las encuestas de hogares.

Estas comparaciones se realizan en primer lugar para el total de los viajes generados dentro del área de estudio comparando luego los resultados del modelo de predicción con los resultados de la encuesta que describen cada subárea específica. El proceso de calibración podría dar como resultado la necesidad de aplicación diferentes índices de generación para distintas subáreas dentro de la zona de estudio.

### 6.10.2 Distribución de los viajes

El análisis de distribución de viajes se relaciona con la predicción del origen y destino de cada uno de ellos. Luego, el modelo de distribución de viajes desarrolla un procedimiento para calcular el número de viajes entre todas las combinaciones de zonas (por pares).

Comúnmente, se aplica uno de los siguientes modelos de distribución:

- (a) modelo gravitacional
- (b) método del factor de crecimiento promedio.

El modelo gravitacional es aplicado en casos donde se dispone de datos de entrevistas para calibrarlo. A falta de datos de una encuesta de hogares, pero disponiendo de una tabla de viajes para el año base, el método de crecimiento promedio (tal como Fratar) puede utilizarse para proyectar una tabla existente de viajes en el año base hacia el futuro mediante la aplicación de factores de crecimiento del tránsito (para cada zona de análisis).

El supuesto básico del modelo gravitacional es que el número de viajes entre dos zonas es directamente proporcional al número de viajes producidos y atraídos por las dos zonas e inversamente proporcional a una cierta función de separación de las zonas (tiempo, distancia, costo, etc.). La expresión de cálculo es comúnmente la siguiente:

$$T_{ij} = \frac{K P_i A_j}{f(d_{ij})}$$

donde:

$T_{ij}$  = número de viajes entre i y j

$P_i$  = viajes producidos por la zona i

$A_j$  = viajes atraídos por la zona j

$f(d_{ij})$  = una función de separación entre i y j

$K$  = constante de proporcionalidad

La constante  $K$  y la función  $f(d_{ij})$  se obtienen calibrando el modelo contra las condiciones

del año base. El método de calibración más ampliamente utilizado es el desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA) de los Estados Unidos. El modelo calibrado es luego empleado para estimar los intercambios de viajes entre zonas para el año de diseño.

Normalmente, un modelo gravitacional está desarrollado y calibrado para predecir la distribución (origen y destino) de los viajes interno-interno por parte de los residentes en el área para cada propósito de viaje. Para los viajes restantes (incluyendo viajes interno-externo, externo-externo e internos realizados por visitantes al área), el número de viajes futuros se predice con un modelo de factor de crecimiento promedio como el Método Fratar.

### 6.10.3 Clasificación modal

El análisis de clasificación modal se relaciona con el uso relativo de los modos alternativos de viaje por parte de las personas por diferentes motivos.

Los modos alternativos de viaje, los cuales podrían incorporados en el análisis modal, incluyen: conductores de automóviles particulares, conductores de motocicletas; acompañantes; pasajeros de buses públicos y privados; pasajeros de taxis; peatones; y otros modos de viaje, incluyendo nuevos modos.

Así mismo se relaciona con la identificación, análisis y determinación de las características clave del servicio de transporte que influyen en la elección del modo de transporte de los usuarios. En general, estos incluyen variables específicas como el tiempo de viaje y costo no solamente en ruta sino también a nivel

terminal y los tiempos y costos por transferencias de viajes. Otros factores significativos incluyen la frecuencia del servicio, seguridad, cuidado de la carga, confiabilidad del servicio, costos menores, y otros factores.

Los usuarios del transporte público se dividen en dos grupos de viajeros para propósitos de análisis y modelación:

- \* usuarios que no tienen otros modos disponibles de viajar (viajeros cautivos), o

- \* usuarios que poseen un modo alternativo disponible (viajeros con posibilidad de elección).

Los viajeros cautivos se estiman a partir del conocimiento de la edad, ingresos y propietarios de vehículos en cada zona. Los viajeros con posibilidad de elección se estiman a partir del conocimiento de la diferencia en los tiempos y costos de viaje y conveniencia general. Las relaciones generalizadas del modo de viajar se desarrollan a partir de variables para cada clasificación por ingreso u ocupación para la situación existente (o similar) y éstas se utilizan para estimar la clasificación modal futura.

La selección modal puede encararse para diferentes propósitos de viaje y en etapas alternativas dentro del proceso general de modelación incluyendo: (1) modelo de generación en viaje; (2) distribución antes y después del viaje; o (3) posiblemente dentro del proceso de asignación de tránsito en sí mismo. Las técnicas de modelaje de la selección modal que pueden utilizarse antes

o después del proceso de distribución de viajes podría incluir: curvas de derivación estratificada; modelos probabilísticos de comportamiento desagregado; otros.

Generalmente se admite que es posible obtener mayor eficiencia estadística y confiabilidad de los resultados utilizando datos desagregados en lugar de agregados (zonales).

Los datos desagregados enfocan las características específicas de una vivienda individual o un viajero, mientras que los datos agregados reflejan las características promedio zonales. La aplicación de un modelo desagregado a nivel urbano requiere de modelos de integración. Un método efectivo de integración de modelos, que conserva las ventajas del enfoque desagregado, consiste en tener en cuenta adecuadamente la distribución estadística de las características socioeconómicas de la zona, en oposición a los valores medios zonales cuando se aplica el modelo a las predicciones a nivel de zona.

Las encuestas de hogares pueden suministrar la información primaria para desarrollar un modelo de selección modal, junto con otros datos tales como conteos de tránsito por tipo de vehículo, ocupación vehicular, empleo de buses, y otras actividades encuestables que proveen información para la calibración del modelo.

#### **6.10.4 Asignación de tránsito**

La asignación de tránsito determina las rutas zona a zona a lo largo de la red para todos los viajes.

Los aspectos esenciales en el proceso de asignación del tránsito incluyen:

- \* volúmenes de enlace direccional: El volumen de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) como así también los períodos de los picos horarios de la mañana y la tarde y demás viajes fuera de estos períodos.

- \* Asignación de viajes por persona como también de vehículos y su equivalente en unides de viajes de automóvil.

- \* Técnicas alternativas de asignación que incluye todo-o-nada, capacidad restringida y de elecciones múltiples; y

- \* Asignación de tránsito.

La determinación del tiempo de viaje es un aspecto importante de cualquier técnica de asignación de tránsito presentada más arriba. Dentro de los modelos, la determinación de los tiempos de viaje de zona a zona requiere la capacidad de simular la operación de todos los enlaces de la red y sus intersecciones para un rango posible de tránsito de cargas a los cuales puede estar sujeta.

Esto puede lograrse mediante el uso de curvas velocidad-volumen (una por cada enlace o tipo de diseño a nivel de intersección) que permite predecir la velocidad de operación asociada con el tránsito de cargas expresado en términos de la relación volumen-capacidad del camino. Por esta razón, deberá determinarse la clase apropiada para cada enlace e intersección en la red y luego definir las curvas para cada clase. Esta actividad involucra el uso de inventarios de caminos y análisis de los resultados de la encuesta, relativa a tiempos

de viaje.

Todas las técnicas alternativas de asignación suponen que el usuario intentará minimizar su tiempo de viaje total.

(1) La técnica de "todo-o-nada" asigna todo el tránsito entre dos zonas al tramo de mínimo tiempo (o costo) entre las mismas. Ello supone que el tiempo de viaje en cada enlace no cambiará a causa del tránsito. Este método solamente debe utilizarse para redes de bajo volumen o alta capacidad.

(2) El método de capacidad restringida involucra una secuencia de asignaciones de "todo-o-nada" al mínimo tramo con el tiempo ajustado en cada enlace, según necesidad, como consecuencia del tránsito en el mismo. Los tiempos se ajustan entre cada iteración de la secuencia y el tránsito es reasignado a la red ajustada.

(3) Los métodos multi-tramo asignan el tránsito entre dos zonas a un cierto número de tramos de acuerdo a conceptos probabilísticos. Este método supone que el usuario de la red de transporte no conoce el tiempo de viaje entre enlaces pero piensa que lo sabe. El concepto "tiempo" se extrae aleatoriamente de una distribución de tiempos y el usuario utiliza la ruta que minimiza su concepto de tiempo.

La calibración del modelo de tránsito involucra la asignación de la demanda del año base a la red describiendo el transporte existente en la misma y comparando cuan cerca la asignación predice el tránsito real que utiliza la red determinado por distintas técnicas de conteo. La prioridad jerárquica para la comprobación del modelo deberá

analizar las predicciones para:

- \* El total de vehículos-kilómetros de la red
- \* Vehículos por día que cruzan los puntos de conteo
- \* Vehículos - kilómetros en los corredores principales
- \* Finalmente, los enlaces individuales de la red

### **Revisión de los viajes en período pico**

En áreas urbanas altamente congestionadas, el crecimiento del tránsito tiene generalmente dos efectos:

- (1) un incremento del grado de congestión experimentado durante los períodos de pico. Sin embargo, a medida que se alcanza y excede la capacidad, existe un límite hasta el cual puede incrementarse la congestión; y
- (2) un aumento del número de horas al día en las cuales se experimenta la congestión, a causa de que algunos viajeros tienden a cambiar sus tiempos de viaje en respuesta a la congestión.

Este fenómeno es conocido como extensión del pico. La correcta consideración de la extensión del pico es importante en modelos de áreas congestionadas. Un enfoque simplista que no considere este fenómeno, resultaría en predicciones de los volúmenes y condiciones de tránsito inadecuadas, y en una estimación inadecuadas de los beneficios de las mejoras de transporte.

Deben examinarse conteos de tránsito por

hora del día para asegurar en qué medida la extensión del pico está afectando la demanda de viajes en el área de estudio. Comparando los resultados de rutas principales congestionadas en diferente medida, puede obtenerse una idea de cómo está extendiéndose el tránsito de pico en respuesta a la congestión.

#### 6.10.5 Evaluación de la red

La evaluación de la operación y comportamiento de la red proporciona información para evaluar configuraciones y prácticas operativas en las futuras alternativas de la red como así también futuras alternativas en el uso de la tierra.

Por esta razón, un modelo de planeamiento de transporte urbano debería incluir la capacidad de producir en forma rutinaria resultados que resuman las medidas generales de operación y comportamiento de la totalidad de la red en base a supuestas alternativas.

Tales medidas deberían describir el comportamiento a nivel integral, por tramo y por sub-área dentro del área de estudio del pico horario (o período pico), período fuera del pico y condiciones promedio diarias. Las medidas de comportamiento de la red incluyen:

- (1) vehículos y pasajeros por kilómetro de viaje en la red;
- (2) vehículos y pasajeros por horas de atraso en la red;
- (3) velocidades promedio de los viajes; y

- (4) costos de viaje incluyendo los costos de operación del vehículo.

#### 6.11 Redes de caminos rurales

Los estudios de la red rural son requeridos cuando se introduce una ruta nueva dentro

de la red existente de carreteras para proveer accesos alternativos o para desarrollar un área ya rodeada por caminos. Por lo general, las carreteras existentes en la red llevarán 500-2000 vehículos por día. La metodología para estimar el crecimiento y la asignación en redes rurales es similar, pero más simple que en redes urbanas.

El patrón de tránsito existente y sus parámetros, se obtienen de encuestas de origen y destino llevadas a cabo para cubrir todas las rutas en la red que conducen tránsito que podría derivarse al proyecto; usualmente son suficientes cinco puestos de encuesta. Las zonas de origen y destino cercanas y dentro del área de proyecto deben seleccionarse de manera tal que todo el tránsito en los tramos de la red tengan su origen y destino definidos unívocamente.

Deben determinarse los volúmenes de tránsito existente por tipo de vehículo y tendencias históricas de crecimiento en todos los tramos de la red. Normalmente deberán utilizarse las mismas tasas de crecimiento para la totalidad de la red. Si una porción significativa del tránsito es pasante, sin embargo, pueden resultar necesarias tasas diferenciadas.

El crecimiento pronosticado también se supone igual para los casos con y sin proyecto de mejoramiento.

Los conteos de tránsito de origen y destino (expandidos al TPDA) deberán ser asignados a los tramos de la red y calibrarse contra los conteos clasificados. La asignación del tránsito normalmente se hace en base a una asignación de tiempos "todo-o-nada", pero generalmente son necesarios algunos ajustes para obtener buenas calibración y correlación.

Para el caso con mejoramiento, los tiempos de viaje zona-a-zona se calculan utilizando la ruta proyectada si corresponde, y el tránsito es asignado como antes a la nueva red. La asignación de tiempo mínimo de "todo-o-nada" es generalmente apropiada desde el momento que los caminos rurales rara vez están congestionados. Sin embargo, si los volúmenes son elevados, deben utilizarse curvas de derivación.

El tránsito desarrollado o generado se asigna a la nueva carretera y al resto de los otros tramos y, si corresponde, el tránsito derivado de otros modos de transporte.

## Sección 7: Recopilación de Información para Estudios de Tránsito

Para realizar estudios de tránsito, es necesario tener la información que describa los diferentes usos del tránsito en todos los tipos de carreteras a través de todo el territorio de Honduras, tales como:

- Evaluación del rendimiento de la red de carreteras.
- Transporte de largo alcance y el planeamiento de la red de carreteras.
- Estudios de prefactibilidad para específicos proyectos de mejoramiento de carreteras.
- Estudios de factibilidad económica para proyectos de mejoramiento de carreteras.
- Estudios de diseño de carreteras.
- Administración del mantenimiento de carreteras.

La información de tránsito y la relativa al tránsito que se requiere para realizar estudios es la siguiente:

- 1) Estimados actuales del tránsito en las carreteras, clasificado por tipo de vehículo y clase de carretera.
- 2) Datos históricos de series de tiempo en los volúmenes de tránsito y en la población, producto bruto doméstico, ingresos personales, propietarios de los vehículos motorizados y otras variables socioeconómicas que afectan a la demanda de los viajes por carretera.

Muchas actividades en la recopilación de datos de tránsito, que cubran la red completa de carreteras, deben realizarse en forma rutinaria y continua una vez al año; mientras que otras actividades en la recopilación de datos, son necesarias solo como propósitos de estudio de específicos proyectos.

### 7.1 Programa de conteo anual de tráfico.

El propósito de tener un programa de conteo anual de tránsito, es que SECOPT tenga siempre un estimado del Volumen del TPDA actualizado y razonablemente preciso para todas las clases de carreteras en todo el territorio nacional.

Para obtener una exactitud completa en las mediciones del TPDA, sería necesario contar vehículos continuamente en cada segmento de las carreteras de Honduras, ya que esa operación, virtualmente no se la puede realizar, debe ser formulado un plan basado en muestreos para obtener cifras estimadas del TPDA que tengan un alto grado de exactitud dentro de un desembolso y tiempos de trabajo razonables.

El método tradicional para estimar el TPDA para la red nacional de carreteras, está basado en un programa sistemático de conteo anual de tránsito, consistente en tres diferentes tipos de conteo, pero que se complementan entre sí, a saber:

1) Estaciones permanentes de conteo de tránsito, donde los conteos se verifican por medio de máquinas (Registro automático de tránsito) que registran automáticamente el número de vehículos que pasan por la estación cada día del año, la información queda registrada en totales horarios y totales diarios. Los resultados obtenidos en las estaciones permanentes, son utilizados para determinar:

- Las variaciones estacionales o mensuales del TPD y su relación de cada mes del tránsito promedio diario mensual con el TPDA.

- Variaciones del TPD de acuerdo al día de la semana.

- Variaciones, horarias de los días hábiles de la semana, sábados y domingos.

- Una base para establecer la relación entre el volumen horario de diseño y TPDA.

2) Estaciones de conteos de control, donde las máquinas automáticas de tránsito, registran conteos hechos para siete días consecutivos durante seis meses del año.

Además de proporcionar estimados del TPDA para esas estaciones, los conteos de control son también usados para establecer un modelo o patrón de la variación estacional para las carreteras o segmentos de carreteras, donde fueron realizados los conteos. La ubicación de las estaciones de conteo de control pueden cambiar de un año a otro, a fin de determinar en el modelo estacional designado, la inclusión del mayor número de carreteras posible.

3) Los conteos de cobertura son hechos para un conteo continuo en un período de siete días, con el uso de las máquinas automáticas de tránsito, en todos los segmentos de la carretera, excepto en los que ya operan estaciones permanentes de conteos de control. La frecuencia de los conteos de cobertura debe ser tal, que asegure que estos conteos se realicen una vez cada tres años. El propósito de estos conteos es proporcionar un estimado actualizado del TPDA en cada segmento de carretera en Honduras.

#### 7.1.1 Estaciones de conteo continuo.

El conteo continuo se realiza todos los días

del año en lugares debidamente seleccionados, para obtener (a) la actualidad anual y (b) el tránsito estacional, diario y horario de varios modelos.

En el presente, este tipo de instalaciones no existen en Honduras, no se hacen conteos continuos de tránsito a través del año. La siguiente guía servirá de ayuda para seleccionar las ubicaciones de las estaciones permanentes de conteo de tránsito.

Las estaciones de conteo continuo, deben estar ubicadas en lugares donde el tránsito es representativo a lo largo de todo el segmento de la carretera y donde el tránsito opera relativamente sin restricciones de capacidad.

El más importante objetivo de los conteos continuos, es el desarrollo de factores de ajustes estacionales por medio de conteos de corto plazo para obtener estimados del TPDA.

El análisis de los factores de ajuste estacionales, se inician con los cálculos del Tránsito Promedio Diario Mensual (TPDM) en cada estación de conteo y luego se calculan los factores mensuales (Relación TPDA/TPDM). El análisis estacional se efectúa mensualmente ya que otros estudios tienen que mostrar que los modelos basados en las variaciones semanales o diarias, reducen la veracidad de los resultados de los factores estacionales. Para el año completo, el porcentaje del coeficiente de variación del TPDM, debe ser calculado en cada una de las estaciones de conteo. Los modelos estacionales típicos (variación mensual) para áreas urbanas, tienen un porcentaje del coeficiente de variación inferior al 10% mientras que en las áreas rurales, el

porcentaje varía entre el 10% y el 25%. Los valores mayores al 25% son indicadores de un modelo de viaje altamente variable, que son denominados modelos recreacionales, pero puede ser debido a otras razones, tales como el transporte de productos agrícolas.

Las carreteras con similar modelo de variación estacional, deben ser agrupadas en tres o cinco modelos para cubrir todas las carreteras en Honduras.

Otro uso de los conteos continuos, es el desarrollo por día de la semana de los factores de ajuste, que pueden ser aplicados así a los conteos de tráfico a corto plazo (menos de siete días) para obtener estimados del TPD para la semana.

El análisis de las variaciones horarias, producirá los factores de ajuste horario, los cuales pueden ser aplicados a la expansión de: (a) conteos de la clasificación manual para aquellos cuya duración es menor a 24 horas o (b) cuando un vehículo en movimiento intercepte los estimados de los conteos de tránsito para estimar los volúmenes de 24 horas.

### **7.1.2 Estaciones de conteo de control.**

Los conteos de control deben ser realizados entre 4 a 12 veces al año, por períodos que varían entre una a dos semanas. El propósito más importante de los conteos de control es proporcionar un ajuste estacional para elaborar conteos cortos en el TPDA.

Los resultados provenientes de las estaciones de los conteos de control se usan para determinar cual modelo de la variación estacional se acomoda mejor al modelo de

tránsito que se está utilizando en la carretera que se hace el estudio.

### 7.1.3 conteos de cobertura.

Los conteos de cobertura se hacen en períodos cortos de tiempo, fluctúan entre 6 horas a 7 días, el propósito es obtener información de un punto específico. Los resultados de los conteos de cobertura sirven para ampliar los estimados del TPDA por medio de la aplicación apropiada de los factores de ajuste para:

- (1) Estacionales
- (2) Factores del día de la semana
- (3) Estimación de factores de corrección de eje.

Especificar un nivel de precisión deseado, puede ser una empresa muy difícil de realizar. Obtener una alta precisión requiere tener una muestra muy grande, lo que se traduce en programas costosos. Por otra parte, llegar a resultados de precisión muy bajos, reduce la utilidad de los datos para tomar decisiones. Tradicionalmente, los estimados de tránsito de esta naturaleza, han sido pensados en que tengan una precisión del  $\pm 10$  por ciento. Una precisión del 10 por ciento, puede ser establecida con un alto nivel de confiabilidad o un bajo nivel de confiabilidad. Un alto nivel de confiabilidad deseado, requiere una muestra grande. Los niveles razonables recomiendan un 10 por ciento de precisión con un 95% de confiabilidad.

En otros países, el típico análisis de las ubicaciones de las máquinas de registro automático de tránsito, muestran desviaciones standard de períodos de

monitoreo de 24 horas que fluctúan entre el 10 y el 15 por ciento, lo que indica que los períodos mayores de 24 horas, son necesarios si los estimados inferiores al 10 por ciento de precisión son los que se desean. El análisis también muestra, que las ganancias producidas debido al incremento de la longitud de los períodos de monitoreo, rápidamente disminuyen; aquí se aplica el muy conocido principio económico de los retornos disminuídos.

### 7.1.4 conteo manual de clasificación de vehículos.

La distribución del volumen total dentro de los varios tipos de vehículos, es logrado por la clasificación de los conteos. Los conteos del tránsito clasificado son de importancia para definir el criterio del diseño geométrico y estructural, estimar la rentabilidad de los usuarios de la carretera, ajustes de la capacidad de la carretera y correcciones en las máquinas de conteo.

El conteo manual de la clasificación de tránsito, debe ser realizado en cada una de las estaciones de los centros de control para 16 o 24 horas de un día, durante cada una de las mismas seis semanas del año, cuando los conteos son hechos por las máquinas de registro automático.

### 7.1.5 Encuesta de carga por eje.

Una encuesta para determinar el promedio de carga por eje, para todos los tipos de vehículos, tanto cargados como vacíos, deber ser realizada una vez al año, durante 16 horas de un día, en cada estación de pesado de carga por eje.

### 7.1.6 Otra fuente de información del volumen de tránsito de las carreteras.

Además de los conteos de tránsito hechos por SECOPT, información valiosa de los volúmenes de tránsito en las carreteras y las modalidades, se pueden obtener en otras dependencias, como:

- En las carreteras que cruzan las fronteras internacionales, están registrados, en los puestos de control, el número y tipo de vehículos que cruzan los límites internacionales con Guatemala, El Salvador y Nicaragua.
- Estaciones de control de la policía, donde el número de camiones que pasan son registrados todos los días y durante todo el año.
- Otros sitios son las entradas a los aeropuertos y otros complejos, donde la entrada o el paso de un vehículo motorizado es registrado.

### 7.2 Actividades en la Recopilación de Datos de Tránsito.

Las actividades de la recopilación de datos de tránsito, mencionados anteriormente, no se efectúan en forma rutinaria en la actualidad. La recopilación de datos que se hacen rutinariamente en el presente se describen a continuación.

Así está indicado en el informe titulado, Volúmenes de Tránsito en la Red Vial Principal y Secundaria. Diciembre 1992. SECOPT, DGCCA, Unidad de Planificación Vial, Grupo de Trabajo:

"Se ha planificado realizar el censo clasificado de tránsito de vehículos en la red de caminos principales y secundarios, en forma anual, de modo de restablecer el conocimiento de la demanda de tránsito en la red vial hondureña, ...".

La organización de esta actividad se plantea considerando, la participación a nivel central de la Unidad de Planificación Vial (UPV), de la DGCCA de SECOPT, en coordinación con los Distritos de Mantenimiento a nivel Departamental en la mayor medida que sea posible.

Los Distritos de Mantenimiento tendrán la responsabilidad de proveer el personal de SECOPT que realice los conteos, los vehículos de transporte y la ubicación (instalación y retiro) del personal en las estaciones de conteo, durante el tiempo de duración del censo de tránsito.

En caso que lo anterior no fuera posible, la UPV deberá obtener los recursos y medios para lograr realizar anualmente los conteos y procederá a contratar y entrenar el personal externo que realice el censo, así como alquilar los vehículos necesarios".

El informe también explica sobre:

- Convención del Código SECOPT de Caminos.
- Convención de la numeración de estaciones de conteo.
- Duración de censo en cada clase de las estaciones de conteo como la definida por la convención de numeración.
- Ubicación de estaciones de conteo por estación, acompañado de un mapa de la Red Vial Principal y Secundaria, donde se enseña

la ubicación y número de estación para cada una de las estaciones de conteo.

- Define la clasificación de los sistemas y las categorías de vehículos motorizados que deben ser contados.
- Adjunta un ejemplo de la recopilación de los datos de conteo de tráfico clasificado, que incluye formularios e instrucciones para su uso.

### 7.3 Plan Anual de Trabajo.

En el planeamiento del desarrollo del programa del plan anual de trabajo, para realizar los conteos de tránsito, algunas indicaciones deben ser formuladas para incluir el control y los conteos de cobertura, a lo largo de los segmentos que se espera sean los utilizados para realizar los estudios de prefactibilidad, factibilidad o estudios de diseño durante los próximos dos años. Esto ayudará a asegurar un mayor uso efectivo de las fuentes disponibles para las encuestas de tránsito, para:

- (a) Proveer información actualizada que servirá como fondo para el diseño de más programas detallados de recopilación de datos, para estudios en carreteras específicas.
- (b) Tender a reducir la cantidad de la recopilación de datos de tránsito necesarios, para estudios destinados a carreteras específicas.

#### 7.3.1 Datos relativos al tránsito.

Además de la recopilación de los datos de conteo de tránsito, en el programa anual de trabajo, se debe actualizar la base de datos de otros archivos relacionados al tránsito y que serán usados en estudios de tránsito, como

por ejemplo:

- Licencia para conducir, número, clasificación por departamento y municipio y tipo de licencia.
- Registro del vehículo motorizado, por departamento y municipio, tipo de vehículo, modelo y año.
- Vehículos motorizados importados, cantidad de acuerdo al tipo, modelo y año (nuevo o usado).
- Consumo de combustible para vehículos motorizados, por clase (gasolina superior o regular y diesel), por departamento y por mes, para tener una indicación de las variaciones mensuales en los viajes.
- Accidentes de vehículos motorizados.
- Costo de operación por vehículo, precios unitarios (financiero y económico) para los componentes del costo de operación.
- Valor del tiempo de viaje.

#### 7.3.2 Datos socio-económicos.

Igualmente, los siguientes datos de base socio-económico, que serán los usados para proyecciones o pronóstico de tránsito, deben ser actualizados anualmente.

- Población por departamento y municipio.
- Fuerza laboral, por sector, tipo de trabajo, departamento y municipio.
- Inscripción en instituciones educacionales (escuelas, universidades, etc.)
- Producto bruto doméstico por sector.

### 7.4 Recopilación de los Datos de Tránsito para Estudios.

El alcance y detalles de la recopilación de datos de tránsito para realizar estudios de mejoramiento de una carretera específica,

depende de la naturaleza y el nivel de estudio.

Tanto el grado de detalle como los requerimientos de precisión, progresivamente aumentan, a medida que se desarrolla el estudio, desde un estudio de prefactibilidad a factibilidad y finalmente se llega a la etapa del diseño. Sin embargo, la naturaleza general de los requerimientos de datos, son similares para todos los niveles de estudios: el volumen de tránsito existente y el de diseño, tiempos de viaje y costos del usuario por tipo de vehículo.

#### **7.4.1 Programación para la recopilación de los datos de tránsito.**

Como se indicó anteriormente, los requerimientos de la recopilación exacta de datos, de proyecto a proyecto, el programa general de trabajo debe ser como sigue:

(1) Revisión de la información existente disponible que incluye:

- Mapas básicos.
- Usos del tránsito en la carretera.
- Otros proyectos de planeamiento, que tengan potencialmente un impacto en la carretera bajo estudio.
- Datos de población y socio económicos.
- Información en agricultura planeada, industrial y otros desarrollos en el área de estudio.

Basado en estudios de datos y mapas, definir:

- Efectos producidos en la red de carreteras, debido a la ejecución de un nuevo proyecto.
- Área de influencia (El apéndice 8.1 da guías en la definición del área de influencia) del

proyecto en estudio.

- Zonas de análisis de tránsito.

(3) Determinar las ubicaciones para varios tipos de encuestas de tránsito.

- Encuesta de origen y destino realizada en la carretera, que puede incluir la recopilación de datos del vehículo.

- Otras ubicaciones donde los conteos de volúmenes de tránsito pueden ser realizados y puede incluirse el conteo horario o de tránsito de días o por períodos de 15 minutos, usando máquinas de registro automático de tránsito.

- Ubicaciones de los sitios donde se pueda realizar los conteos de la clasificación de tránsito manualmente.

- Seleccionar los segmentos de carretera donde se realizarán las mediciones de velocidad y demoras.

- Conteo de los movimientos de giro en las intersecciones. Debido a que las intersecciones representan los puntos más críticos en el control de tránsito, los conteos de los movimientos de giro (que incluye a peatones, cuando el número es significativo) serán usados para diseñar la canalización del tránsito, justificar los giros restringidos, determinar la longitud de carriles de giro y análisis de accidentes.

(4) Determinar cualquier otro elemento de transporte, demanda de encuestas o recopilación de datos, que sean necesarias.

De acuerdo a la naturaleza del proyecto que está en estudio, se podrá incluir inventarios del transporte público y bases de pasajeros.

#### **7.4.2 Planos y criterios para las encuestas de origen y destino.**

Para muchos estudios de factibilidad, se requiere realizar encuestas con entrevistas a los usuarios de las carreteras. En las encuestas de origen y destino, se puede elegir una muestra al azar, o entrevistar a cada uno de los conductores de los vehículos que serán destinados en las estaciones seleccionadas para realizar encuestas. Los conductores de los vehículos responderán las preguntas que formula el entrevistador, relacionadas al viaje y al vehículo. Los datos que normalmente se obtienen en una encuesta de origen y destino son las siguientes:

- Tipo de vehículo.
- Ocupantes del vehículo.
- Motivo del viaje.
- Origen del viaje.
- Destino del viaje.
- Paradas intermedias.
- Tipo de carga, cantidad y peso.

Una información adicional suplementaria de datos en relación al vehículo, frecuentemente se obtiene durante las encuestas de origen y destino, para ser usados en determinados vehículos representativos o varias clases, también para calcular el costo de operación del vehículo.

Las encuestas de origen y destino generalmente son realizadas cuando:

(1) El volumen del tránsito desviado probablemente sea alto, debido a:

- Hay rutas alternativas para la ruta del proyecto.
- Hay modos alternativos para el transporte.
- La ruta del proyecto es una ruta nueva.
- La ruta del proyecto es una ruta de circunvalación.

(2) No hay datos adecuados disponibles que indiquen las características del tránsito en la región donde se encuentra el proyecto (ocupantes de los vehículos, tipo de vehículo, tipo de viaje, etc.)

Las encuestas de origen y destino normalmente tienen una duración de 8 a 16 horas diarias y 2 a 5 días, depende de la ubicación, la fuerza laboral, la seguridad y el presupuesto disponible. Si las variaciones estacionales de tránsito son significativas, las encuestas pueden ser repetidas; sin embargo, las variaciones del tránsito de productos agrícolas, normalmente son estimados por medio de otros métodos (descritos en la Sección 7.3.2). Los conteos clasificados y los efectuados con las máquinas de registro automático de tránsito (24 horas) deben ser realizados con la encuesta de origen y destino simultáneamente.

El horario de las encuestas de origen y destino, normalmente está sujeto a un programa de trabajo. En todas las encuestas de tránsito, se deben eliminar los días o meses donde el tránsito no represente el flujo normal en la carretera (por ejemplo: fines de semana, feriados, tiempos de eventos especiales, estación de cosechas, tiempo lluvioso, etc.).

En las encuestas de origen y destino, un área seleccionada, generalmente en todo el país, es dividida entre zonas (numeradas) de análisis de tránsito (ZAT), para simplificar la codificación.

Cada ZAT debería tener, si es posible, solo un acceso que permita el ingreso a la carretera del proyecto. Las zonas de análisis de tránsito cercanas a la carretera del

proyecto deben ser pequeñas y las que están ubicadas lejos del proyecto pueden ser grandes. El tamaño de las ZAT debe ser tal, que el tránsito generado por cada ZAT sea aproximadamente igual. El número total de ZAT, generalmente no debería ser más de 25. En casos especiales, en particular los sectores cercanos a las grandes ciudades, el número puede necesitar ser mayor.

Las estaciones para las encuestas de origen y destino, deben estar ubicadas de manera tal, que intercepte todo el tránsito circulante o el futuro que use la carretera del proyecto. La red de carreteras debe ser estudiada detenidamente usando mapas de escala 1:250000 para asegurarse que todas las rutas de acceso estén indicadas. Con un estudio cuidadoso, el número de estaciones puede mantenerse en lo mínimo. Cualquier posibilidad de un doble conteo debe ser detectado y corregido. La posición seleccionada en la carretera donde la estación será localizada, debe ser inspeccionada en el terreno para asegurarse que es adecuado. El segmento de carretera elegido debe tener un ancho suficiente y muy buena distancia de visibilidad en todas las estaciones, así los vehículos podrán detenerse en los lugares designados, cuando el tráfico es intenso, los vehículos en exceso pueden seguir su viaje, sin interferir los trabajos de encuesta.

Donde sea posible, todos los conductores de vehículos deben ser entrevistados. Esto se logra generalmente, cuando los volúmenes de tránsito son menos de 500 vehículos por hora. Para volúmenes mayores, los entrevistados serán elegidos al azar (por ejemplo cada 3 vehículos, para tener una muestra del 33%). En una típica encuesta de caminos, cada entrevistador completa

aproximadamente 40 encuestas por hora.

#### **7.4.3 Conteo de clasificación de tránsito.**

Para cualquier proyecto donde hay una carretera existente, se deben realizar conteos manuales de clasificación de tránsito, la mayor cantidad de días y horas que sea posible, para obtener la primera estimación del TPDA.

El mínimo período de conteo, para cualquier proyecto de carretera, debe ser de tres días de 16 horas cada uno, uno de los tres días puede ser sábado o domingo, si hay un importante mercado local, uno de los días de encuesta debe ser el día de feria. Se debe evitar hacer conteos en días feriados o algún día que sea especial, ya que el tránsito de vehículos no es el representativo. Donde sea posible y cuando se requiera, debido al flujo rico de tránsito, los períodos de conteo deben ser incrementados a tiempos que estén por encima del mínimo tiempo sugerido.

Las estaciones de conteos de clasificación de tránsito, deben estar en condiciones de medir cualquier cambio significativo en el volumen de tránsito. Cada segmento de la carretera, debe contener por lo menos una estación de conteo, las estaciones no pueden estar ubicadas en pueblos u orillas, excepto en los estudios urbanos y suburbanos, para evitar contar el tránsito local con recorridos cortos. Tampoco deben estar ubicadas cerca de los puntos que generan un gran volumen de tránsito, como por ejemplo las fábricas.

Si es que SECOPT cuenta con estaciones de conteo de tránsito ubicadas en las carreteras, deberían usarse estas mismas instalaciones para efectuar conteos de clasificación de

tránsito, aún cuando sus ubicaciones no cumplan con las características mencionadas anteriormente. El conteo de tránsito realizado en las estaciones regulares de SECOPT, permitirá una comparación con cualquier dato histórico de conteo de tránsito que esté al alcance de usarlo y proporcionará una indicación acerca de la precisión global y la seguridad de los conteos de tránsito.

#### **7.4.4 Conteos con el registro automático de tránsito.**

Normalmente no es práctico realizar conteos de clasificación de tránsito por 24 horas al día; estos conteos, por lo tanto, son limitados a 16 horas, principalmente por logística y por razones de seguridad. Para permitir una expansión de las 16 horas usuales a 24 horas, se requiere el uso de las máquinas de registro automático de tránsito, estas máquinas, generalmente registran los datos por medio de un tubo que cuenta los vehículos automáticamente y que están fijados en la superficie de la carretera. Cuando la superficie de la carretera es pavimentada, es posible usar otros tipos de contadores.

Lo ideal sería que todas las estaciones de conteo manual de clasificación de tránsito, tengan instaladas las máquinas de registro automático de tránsito; sin embargo, esto podría ser muy difícil debido a la falta de equipo. En las máquinas de registro automático, el conteo es realizado para encontrar la relación entre los volúmenes de 16 horas y volúmenes de 24 horas. Las estaciones de conteo que usen esas máquinas, pueden por lo tanto ser escogidas para cubrir cualquier área, donde la relación probablemente cambia. Por ejemplo si el proyecto pasa por áreas rurales y urbanas,

contadores automáticos deben ser instalados en ambas secciones, ya que los modelos de tránsito durante la noche serán diferentes.

Normalmente, hay diferencias en los resultados obtenidos entre los conteos del registro automático de tránsito y los conteos de clasificación de tránsito, cuando se opera en la misma estación y a la misma hora, debido a que:

- El tubo puede que no registre todos los vehículos.
- Los vehículos grandes de varios ejes, serán registrado como dos vehículos.
- El reloj automático de la máquina y el reloj manual del contador, puede ser que no estén sincronizados.

Este tipo de errores puede ser que no sean importantes, ya que solamente la relación 16 horas y 24 horas de los volúmenes registrados en las máquinas son normalmente necesarias. Esta relación es entonces usada para extender los conteos de clasificación de tránsito de 16 horas a 24 horas (TPD).

Ciertas precauciones deben tomarse en consideración en algunas carreteras, donde ciertos tipos de vehículos no hacen viajes nocturnos, por ejemplo tractores agrícolas, es para estos casos que se deben hacer ajustes que tomen en cuenta a estos tipos de vehículos.

Si los tubos de las máquinas dan conteos precisos y están sincronizados con los conteos manuales, entonces se puede hacer una comparación entre el conteo automático y el manual, quedará así una relación entre ejes medido por las máquinas automáticas y el número de vehículos medido por los

contadores manuales. Esas relaciones pueden ser usadas para determinar el número de vehículos por cada hora del día para elaborar un histograma del tránsito horario.

#### 7.4.5 conteos de observadores móviles.

Los conteos de tránsito de los observadores móviles, proporcionan un rápido estimado de volúmenes de tránsito horario a lo largo de la carretera y dan una estimación aproximada del TPD. Estos conteos normalmente se realizan, durante las inspecciones preliminares al terreno y antes de realizarse estudios de tránsito más detallados. Los conteos de tránsito de los observadores móviles pueden ser usados como indicadores de:

- Volumen de tránsito de la carretera.
- Las normas que serán usadas en el mejoramiento de una carretera.
- La ubicación de nuevas estaciones de encuestas de tránsito detallado.
- La determinación de los vehículos representativos que usan la carretera.

Deberá ser una práctica generalizada, realizar conteos de observadores móviles en todas las visitas que se hacen al terreno, para verificar las variaciones estacionales y para llamar la atención de cualquier anomalía, que podrían necesitar investigaciones futuras.

#### 7.4.6 Encuestas a pasajeros de buses.

En las carreteras donde la presencia de buses es significativa, frecuentemente es de mucha utilidad, realizar encuestas a los pasajeros de los buses. Los encuestadores realizan las entrevistas en las paradas de buses o dentro del mismo bus durante el viaje.

La información recopilada en las entrevistas a los pasajeros de los buses, debe incluir la siguiente información:

- Origen y destino del viaje
- Otros modos disponibles de realizar el mismo viaje
- Costo y tiempo de viaje
- Frecuencia del viaje en esa carretera
- Motivo del viaje
- Razones para usar los buses y no otro medio de transporte u otro modo de viaje.

En proyectos particulares, puede ser necesario hacer más preguntas, por ejemplo, seguiría usando como medio de transporte el bus, si el costo del pasaje fuera incrementado al doble?

El número de pasajeros entrevistas, depende del número disponible de encuestadores. Si todos los pasajeros no pueden ser entrevistados, habrá que tomar una muestra elegida al azar, por ejemplo una de cada tres personas. Las encuestas deben ser realizadas durante el servicio normal en que opera el bus, por un mínimo de un día, si fuera posible realizar las encuestas durante tres días, sería el número de días indicado.

Los datos recopilados en las entrevistas, pueden ser usados para determinar los modelos de viajes, costos de viaje y viajes que los usuarios desean. Esta última información es muy importante para planificar las futuras rutas para buses de pasajeros. Estas entrevistas proporcionan información importante para determinar la óptima ruta para la operación de buses y la capacidad, especialmente en estudios suburbanos.

#### **7.4.7 Otros datos y encuestas.**

Ciertos proyectos específicos, pueden requerir la recopilación de información adicional de datos, o que se realicen otro tipo de encuestas; depende de la ubicación del proyecto, uso de la tierra, y la composición del tránsito. Los siguientes elementos deben ser considerados y encuestados donde sea relevante para el proyecto bajo estudio.

(1) Carga: operador del vehículo de transporte.

(2) Ferrocarril: pasajeros, carga y operación, si es que el transporte ferroviario es un modo de competir en el transporte.

(3) Transporte lacustre o fluvial: bote o barcaza para pasajeros, carga y operación, si es que este medio de transporte es un modo

de competir en el transporte.

(4) Dueño del vehículo: por villas o pueblos.

(5) Entrevistas domiciliarias: motivo, frecuencia, tipo y costo del viaje de los moradores; esta encuesta es realizada a veces como parte de la entrevista socio-económico; sin embargo, solo deben realizarse si el modelo de transportación, requiere estos detalles.

(6) Operador de buses: como suplemento o para reemplazar las entrevistas a los pasajeros de los buses.

(7) Generador de tránsito: Medir la generación del tránsito de áreas individuales desarrolladas, complejos habitacionales, centros comerciales, etc., son necesarios si esta información debe ser incluida en los planos de desarrollo del área del proyecto.

## APÉNDICE 7.1

### EXTRACTO DE "THE ECONOMIC ANALYSIS OF RURAL ROAD PROJECTS" IBRD, DOCUMENTO DE TRABAJO DEL BANCO MUNDIAL No. 241, ANEXO 4

#### ÁREA DE INFLUENCIA<sup>1</sup>

##### Introducción

El área de influencia de un camino rural se define como el área servida, impactada o modificada por un camino en su entorno geográfico inmediato. Dentro de esta área es probable que la implementación de un proyecto caminero altere el uso de la tierra, los costos y beneficios de producción y los sistemas de mercadeo y distribución. Los caminos rurales que proveen acceso desde las granjas a los mercados pueden servir de catalizador de la monetización de la economía local.

En la cuantificación de los beneficios para un proyecto rural (aparte de los convencionales ahorros para los usuarios), un elemento crítico es la estimación del área influenciada por el camino. Además de un cierto número de otras restricciones limitativas, existen dos consideraciones primordiales en la evaluación del área de influencia: el primero es un aspecto de eficiencia económica mientras que el segundo es social.

Revisión de estudios anteriores

Existe una amplia divergencia en las estimaciones del área de influencia en estudios anteriores de caminos rurales de bajo volumen. Un tema recurrente en la

delimitación del área de influencia es el uso de la máxima distancia en cualquier dirección desde el camino que una persona puede recorrer durante un día utilizando cualquier método disponible de transporte<sup>2</sup>. En un estudio en Liberia, la zona de influencia fue definida como el área dentro de un día de caminata desde el sitio propuesto - aproximadamente 20 millas en cualquier dirección desde el camino<sup>3</sup>. En un estudio socioeconómico de caminos de acceso a aldeas en Tailandia, el área de influencia de un camino fue tomada como el área total dentro de un radio de 5 km la cual no está cercana a ningún camino de todo-tiempo<sup>4</sup>. Estos ejemplos muestran una amplia variación en la delimitación del área de influencia por un camino e indican la necesidad del uso de criterios racionales en la determinación de la misma.

---

<sup>1</sup> Preparado por Asif Faiz, Departamento de Transporte, IBRD.

---

<sup>2</sup> H.M. Steiner, "Criteria for Planning Rural Roads in a Developing Country: The Case of Mexico. "Rport EEP-17, Institute in Engineering -Economic Systems, Stanford University, Agosto 1965, p.46. Ver también UN-HMG, Nepal Road Feasibility Study, COMTEC, Junio 1972, pp. 4.5 a 4.9.

<sup>3</sup> W.R. Stanley, "Evaluating Construction Priorities of Farm to Market Roads in Developing Countries: A Case Study." "The Journal of Developing Areas, Abril 1971, pp. 371 - 400.

<sup>4</sup> R. Sandler, Socio-Economic Studies of Village Access Roads. Informe Final preparado para el Banco Mundial, Noviembre 1974.

## Criterio de Eficiencia Económica

El trabajo pionero en la materia realizado por Walters<sup>5</sup> ofrece el medio para desarrollar un criterio económico racional en la delimitación del área de influencia de caminos rurales locales.

En el análisis realizado por Walters, el área de influencia es determinada por los costos de transporte: en el perímetro del área de influencia, los costos de transporte son máximos mientras que la renta es mínima. Con el objeto de hacer el análisis tan simple como sea posible, el suelo es considerado homogéneo con clima uniforme. Sin el camino, se supone que la tierra es utilizada para agricultura de subsistencia o está incultivada; la producción se supone constante de manera tal que los beneficios surgen de un incremento en el área bajo cultivo. Para evitar complicaciones matemáticas, el análisis se circunscribe a un solo cultivo, esto es, sólo un cultivo es cultivado en el área de influencia. Con ligeras modificaciones, el análisis es igualmente válido para un camino de alimentación o la extensión de un camino existente<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> *A.A. Walters, The Economics of Road User Charges, World Bank Staff Occasional Papers, No. 5, 1968, pp. 118 - 166.*

<sup>6</sup> (a) *Un camino de alimentación se define como un tramo de carretera que alimenta un camino principal en cualquier punto a lo largo del mismo. Un camino de alimentación mejora la accesibilidad del área de influencia en relación a los mercados.*

(b) *Una extensión se define como una prolongación longitudinal de un camino existente más allá de su extremo terminal.*

Los parámetros de entrada para el análisis son:

$$1. k' = k_m - c.l$$

donde:

$k'$  = precio al comienzo de la extensión o en la unión del camino de alimentación con el camino principal (\$/ton).

$k_m$  = precio en el mercado, a la distancia  $l$  del camino en consideración (\$/ton).

$c$  = costo de transporte a lo largo del camino principal (\$/ton-km).

$$2. k = k' - f$$

donde:

$k$  = precio al comienzo de la extensión o en la unión camino de alimentación/camino principal menos los costos de producción (\$/ton); esto es equivalente al ingreso neto recibido por el productor.

$f$  = costos de producción, excluyendo los costos de transporte, por unidad de producción al comienzo de la extensión o en la unión camino de alimentación/camino principal (\$/ton).

3.  $a$  = costo de transporte a lo largo del camino de alimentación o sección extendida<sup>7</sup> (\$/ton-km).

---

*Idealmente, un camino debería ser construido en etapas, cada una de las cuales sería una extensión del camino ya construido.*

<sup>7</sup> *El costo de transporte en la extensión del camino principal puede ser el mismo que en el camino principal mismo.*

4.  $b$  = costo de transporte fuera del camino (\$/ton-km). Este puede ser el costo de carga o transporte por un medio menos eficiente, por ejemplo, carreta de bueyes.

5.  $x$  = largo del camino propuesto (km).

Relaciones Básicas: Utilizando de el método de análisis de Walters, las áreas de influencia potenciales de una extensión y un camino de alimentación se muestran en las figuras 1 y 2 respectivamente. Las expresiones analíticas para el área de influencia en términos de  $k$ ,  $a$ ,  $b$ , y  $x$  están dadas por:

Si  $A$  = Area de influencia ( $\text{km}_2$ )

entonces,

(a) Extensión

$$A = 2\frac{k}{b}\left(1 - \frac{a}{b}\right)x - \left(\frac{a}{b} - \frac{a^2}{b^2}\right)x^2$$

$$\text{para } x = 0 \text{ a } \frac{k}{a}$$

(b) Camino de alimentación

$$(i) \quad A = \frac{x}{b}\left(1 - \frac{a}{b}\right)(2k - a) \text{ para } x = 0 \text{ a } \frac{k}{b}$$

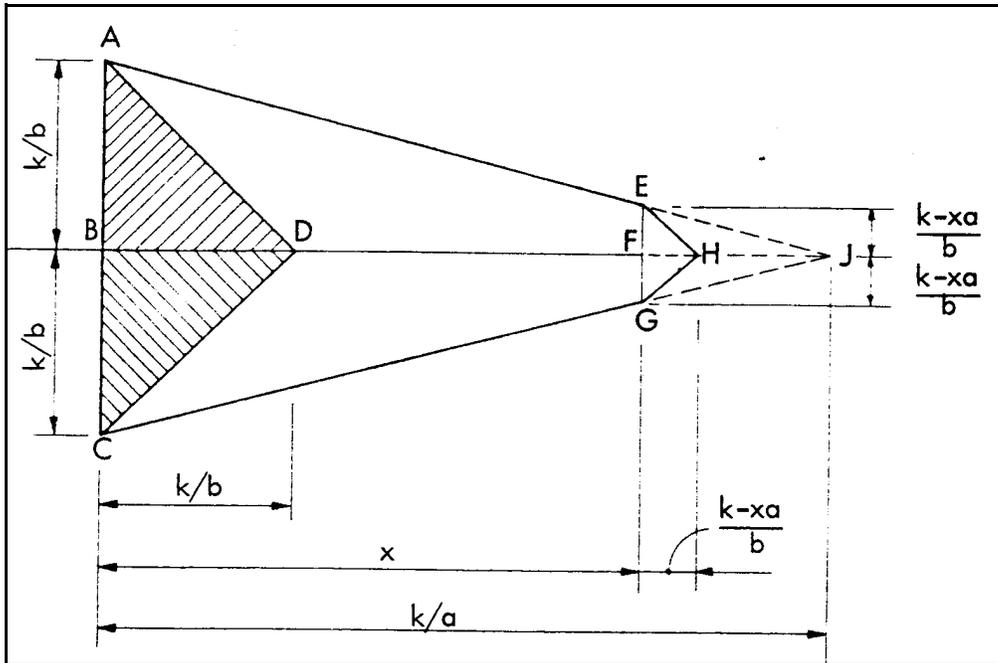
$$(ii) \quad A = \left(1 - \frac{a}{b}\right)x - \left(\frac{a}{b} - \frac{a^2}{b^2}\right)x^2 \text{ para } x = \frac{k}{b} \text{ a } \frac{k}{a}$$

Extensión de las relaciones básicas: Debido a las restricciones implícitas en los supuestos, las expresiones dadas para el área de influencia necesitan ser modificadas para permitir su aplicación práctica. Incorporando las siguientes modificaciones en las relaciones básicas pueden obtenerse estimaciones más realistas del área de influencia:

(1) Asumiendo que los costos de transporte son el principal determinante del área puesta bajo cultivo para venta, la decisión de expandir la producción es o por una reducción en el precio de transporte, que es percibido por el productor en la forma de precios de producción más bajos con sus correspondientes beneficios. Los precios del transporte reflejan los costos correspondientes sólo en condiciones de perfecta competencia y en tal caso el costo de transporte es la suma de todos los gastos de transporte (costos de operación, intermediarios, agentes, etc.). Por lo tanto se propone que los factores asociados al costo de transporte 'a' y 'c' sean redesignados como factores de precio de transporte. Por lo tanto:

$a$  = precio del transporte a lo largo de una extensión/camino de acceso (\$/ton-km).

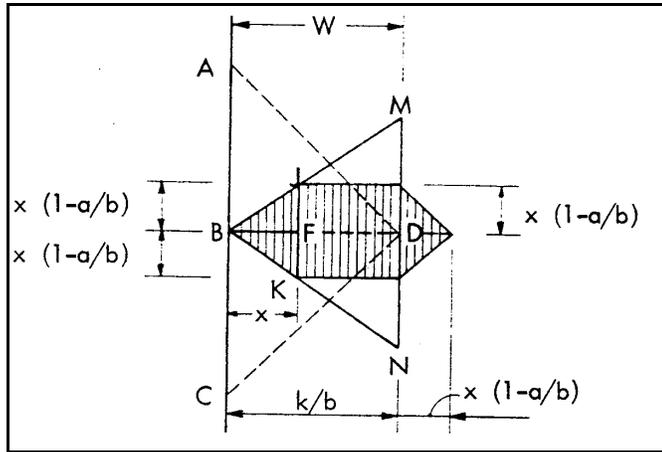
$c$  = precio del transporte a lo largo del camino principal (\$/ton-km).



- B = Fin de la carretera principal, XB
- BJ = Distancia máxima de la extensión de la carretera
- BF = Distancia propuesta de la extensión de la carretera
- ACD = Área de influencia sin la sección de la carretera, BF
- ACD = Área de influencia con la sección de la carretera, BF

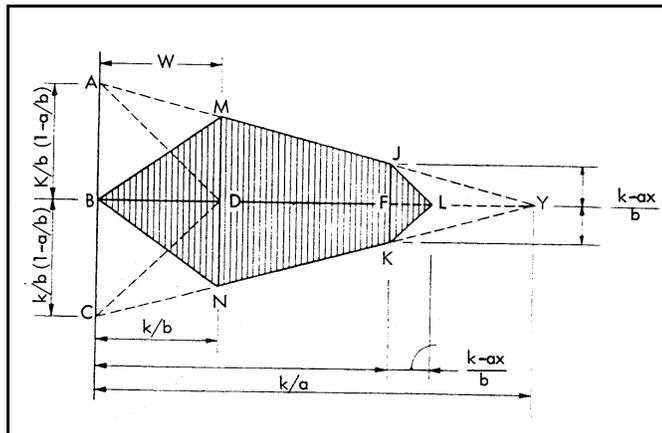
Figura 1: Área de influencia asociada con una extensión de calle

(a)  $x = 0$  a  $k/b$



BF = Distancia propuesta para el camino de acceso ( $x$ )  
 BJKLB = Área de influencia de la distancia del camino de acceso,  $x$   
 ABC = Calle principal  
 BD =  $W$  = Ancho de la tierra cultivada antes de la construcción del camino de acceso

(b)  $x = k/b$  a  $k/a$



ABC = Calle principal  
 BF = Distancia propuesta del camino de acceso,  $x$   
 BMJLKNB = Área de influencia de la distancia del camino de acceso,  $x$

Figura 2: Área de influencia del camino de acceso

2. El ancho lateral del área de influencia se obtiene como una función del costo de transporte fuera del camino principal. En el perímetro del área de influencia, los costos de transporte compensan totalmente el excedente del productor ( $k' - f$ ) y por lo tanto el productor es indiferente respecto al cultivo de subsistencia o el cultivo para venta. Se ha indicado que además de los costos de transporte, los costos unitarios de producción tienden a aumentar a medida que la distancia desde el camino aumenta también. Chisholm establece que "si la intensidad de cultivo permanece constante para cualquier distancia, el costo total de cultivo crece 20 por ciento por kilómetro.

3. El factor "b" debe ser modificado para tener en cuenta el incremento en los costos de producción y con la distancia desde la carretera. Por lo tanto:

$$b = b_t + b_p$$

donde:

b: incremento en el costo total de producción por tonelada - kilómetro (\$/ton-km)

$b_t$ : costos de transporte fuera de la carretera (\$/ton-km)

$b_p$ : incremento en los costos de producción (\$/ton-km)<sup>8</sup>

4. Es posible extender las relaciones básicas para tomar en consideración cultivos con diferentes características de transporte y

producción (ver Walters, pp. 165 -166). Sin embargo, el modelo básico resultaría inmanejable y difícil de aplicar. Alternativamente, los parámetros básicos pueden reinterpretarse como un promedio ponderado de los correspondientes a cada cultivo.

Parámetros requeridos para delimitar el área de influencia: Los datos necesarios para delimitar el área de influencia incluyen:

1. Los bienes (cultivos, ganado, productos de tambo, frutas y otros) producidos en el área de influencia y su respectiva proporción en el excedente exportable( éste se define como la cantidad producida menos el consumo doméstico).

2. Para cada bien son necesarios los siguientes datos:

Km: precio en el mercado, situado a una distancia l (km) desde la ruta en consideración (\$/ton).

K': precio al comienzo de la extensión de la carretera o en la junta de un camino de alimentación con el camino principal (\$/ton); = Km - c.l.

k: precio al comienzo de la extensión o en la junta camino de alimentación/camino principal descontando los costos de producción (\$/ton). Este valor resulta equivalente al ingreso neto recibido por el productor ( $k' - f$ ).

f: costo de los insumos de producción, excluyendo los costos de transporte, al comienzo de la extensión o en la junta del camino de alimentación con el camino principal (\$/ton).

a: precio del transporte a lo largo de la extensión o el camino de alimentación (\$/ton-

<sup>8</sup> *Por simplicidad, se asume que los costos de producción se incrementa linealmente con la distancia desde la carretera. Existen evidencias que tal incremento debería ser una función de la distancia al cuadrado. Por ejemplo, el valor de la renta de la tierra tiende a variar inversamente con el cuadrado de la distancia desde el mercado.*

km)

c: precio de transporte a lo largo del camino principal (\$/ton-km)

b: incremento en el costo total de producción por ton-km (\$/ton-km)

$b_t$ : costo de transporte fuera del camino (\$/ton-km)

$b_p$ : incremento en el costo de producción (\$/ton-km)

x: longitud de la carretera propuesta (km)

Nota: Una aproximación gruesa puede obtenerse con:

$$b_{aprox} = \frac{k}{w} \quad (13)$$

donde:

w: ancho cultivado (sólo la parte destinada a cultivos para la venta) a lo largo de la carretera principal (km).

3. Para la delimitación del área de influencia, deben utilizarse promedios ponderados para cada uno de los bienes<sup>9</sup>. Los parámetros para cada bien se ponderan por la proporción del bien en cuestión en el excedente exportable (tonelaje)

#### Criterio social

Los caminos rurales juegan un rol significativo en la extensión de los servicios sociales básicos (escuelas, instalaciones médicas, policía y bomberos, servicios de emergencia en áreas de desastre, etc.) para un segmento amplio de la población rural. La

extensión en el área de servicio relativa a la provisión de servicios sociales esenciales, creados por la construcción de un nuevo camino, puede considerarse como el área de influencia del camino.

El área en la cual la accesibilidad a servicios esenciales se ve incrementada por la provisión de un nuevo camino puede delimitarse por los siguientes métodos:

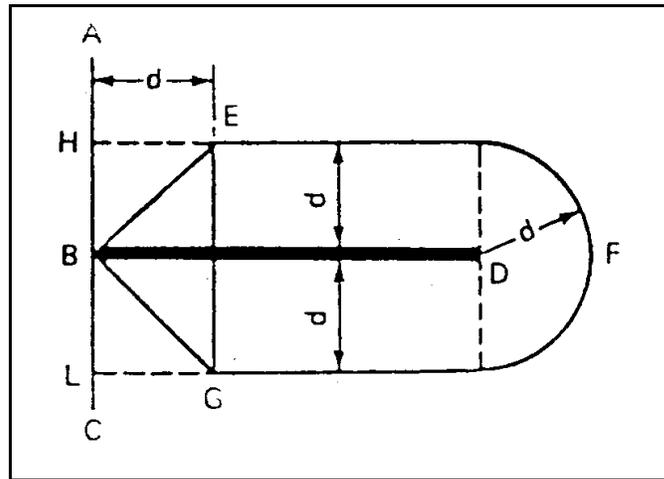
Primer método: El área de influencia del camino, relativa a la provisión de servicios sociales básicos, puede definirse como el área contenida dentro del perímetro que puede alcanzarse desde la traza del mismo, en un período de tiempo dado por un medio transporte no motorizado (viajes en vehículos de tracción a sangre, bicicletas, a pie o cualquier otro modo relevante).

Esta delimitación del área de influencia presupone que sólo la gente que vive dentro del perímetro definido arriba estaría deseosa de sacar provecho de la accesibilidad a los servicios sociales provistos por la carretera. Fuera de esta área el impacto social de la misma sería mínimo. En la figura 3 se muestra una representación geométrica del área de influencia.

Debe notarse que utilizando el tiempo de viaje apropiado para satisfacer determinados ámbitos geográficos y culturales, pueden definirse límites del área de influencia más realistas.

<sup>9</sup> Para un ejemplo ilustrativo, ver A. Faiz y C. Carnemark, "Area of Influence and Geometric Configuration of Low Volume Rural Roads", Enero 1976 (Borrador).

1. Camino de acceso



ABC = Camino principal

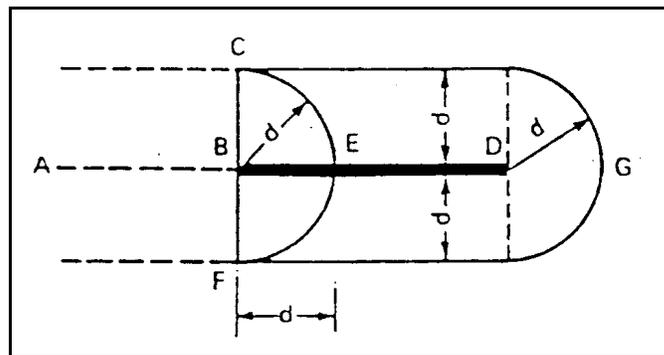
BD = Camino de acceso

He = LG = Ancho del área de influencia del camino principal

BEFG = Área de influencia del camino de acceso BD

d = Distancia desde la calzada que puede ser cubierta en un momento determinado por un medio de transporte determinado

2. Extensión del camino



AB = Porción del camino principal

BD = Extensión del camino

CEF = Área de influencia sin la extensión del camino, BD

CBFGC = Área de influencia con la extensión del camino, BD

Figura 3: Área de influencia derivada de la consideración del criterio del servicio social

Segundo Método: Este enfoque contempla el tramo de camino propuesto como parte de una red jerarquizada de caminos vinculados a puntos nodales. Un mercado comunal, oficinas administrativas u otro centro de actividades cualesquiera, puede representar un nodo. El primer paso es determinar la accesibilidad del área circundante a un determinado nodo, utilizando la red existente; el paso siguiente consiste en determinar el cambio en accesibilidad producido por la adición del nuevo tramo de camino. El área afectada por el cambio incremental de accesibilidad es entonces el área de influencia del tramo propuesto.

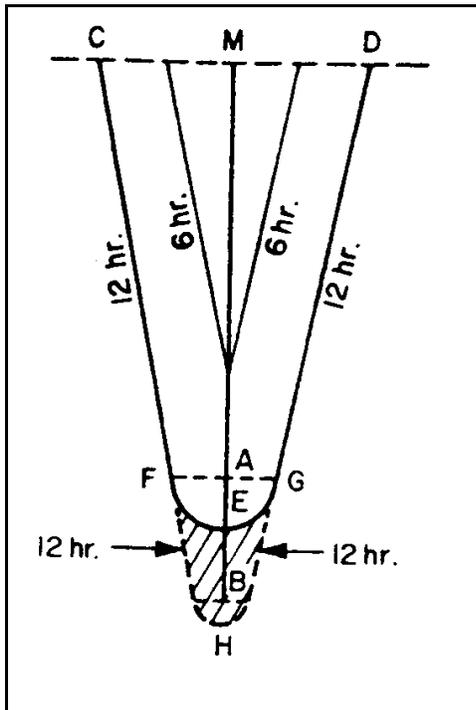
La mejora en la accesibilidad<sup>10</sup> es sinónimo de una reducción del espacio y puede ser definida ya sea en términos de una distancia

o tiempo de viaje. Para este tipo de análisis, es necesario definir un límite superior del tiempo del viaje al nodo en cuestión. Cuando el tiempo real de viaje, excede el límite superior, se supone que las posibilidades de viaje, en condiciones económicas, al nodo en cuestión se encuentran severamente limitadas. Este enfoque también puede aplicarse para determinar el área de influencia de un camino en términos de una mayor accesibilidad a servicios específicos tales como colegios, hospitales, etc.

En la figura 4 se muestra un ejemplo simplificado de este enfoque.

---

<sup>10</sup> *Para una discusión sobre medidas de accesibilidad, ver "Accessibility - Its use as an Evaluation Criterion in Testing Alternative Transportation Systems", FHWA, Highway Planning Technical Report, No. 28, Julio 1972.*



1. Extensión de camino

--12 hs-- Contorno de tiempo de viaje

MA = Camino existente

AB = Extensión del camino

Área CFEGDMC = Área de influencia del camino MA

Área HG (sombreada) = Área de influencia de la extensión del camino AB

Máximo tiempo de viaje desde marca M = 12 horas

2. Camino de acceso

--12hs-- Contorno de tiempo de viaje

MAC = Camino principal

AB = Camino de acceso

CFEGDMC = Área de influencia del camino MC (arteria)

XYZ (sombreada) = Área de influencia del camino de acceso AB

Máximo tiempo de viaje desde marca M = 12 horas

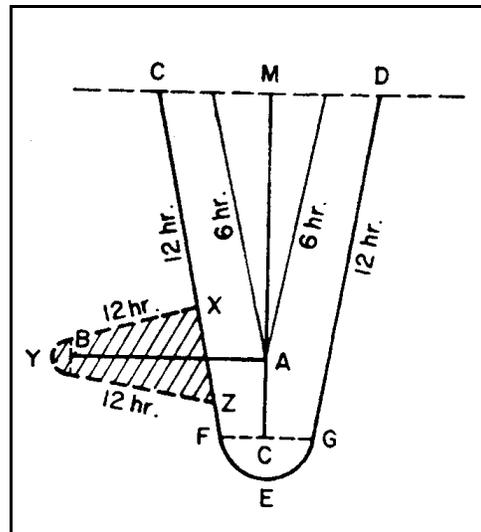


Figura 4: Área de influencia derivada de consideraciones de mejoras en la accesibilidad

### Factores modificatorios

El área de influencia desarrollada ya sea a partir del criterio de eficiencia económica o el social no tiene en cuenta las restricciones resultantes de:

- (1) Topografía (ríos, montañas, valles, etc.).
- (2) Diferencias en la distribución y fertilidad de los suelos.
- (3) Variaciones climáticas y su efecto en la producción agrícola.
- (4) Presencia de otros tramos de enlace existentes o planificados en la vecindad del camino bajo análisis.
- (5) Patrones culturales
- (6) Otros factores de naturaleza local.

Por lo tanto, el área de influencia teórica determinada mediante los enfoques de las secciones anteriores debería ser modificada por las restricciones indicadas para dar por resultado un área físicamente realista.

Otras técnicas de delimitación del área de influencia:

#### 1. Método de las entrevistas

En regiones donde pueden identificarse los mercados comunales, es posible determinar el área influenciada por el mercado (nodo) y sus caminos asociados, mediante la ejecución de una encuesta de origen y destino sobre una muestra de personas que efectúan transacciones en el mercado comunal. La información así obtenida puede ser utilizada

para desarrollar guías aproximadas para determinar el área de influencia de caminos propuestos en la misma área o en áreas de las mismas características.

#### 2. Uso de fotografía aérea e imágenes satelitarias ERDAS

(a) El área de influencia de un camino propuesto puede delimitarse mediante la interpretación de fotografías aéreas de la región donde está localizada la carretera. El ejercicio sería similar a la determinación de la cuenca de un curso de agua; En la delimitación del área de influencia, el camino propuesto sería equivalente a un tributario. Los patrones de uso de la tierra definidos a partir de fotografías aéreas conjuntamente con una validación en el terreno, también contribuyen a la demarcación de la extensión del área de influencia.

(b) Al momento resulta difícil utilizar las imágenes satelitarias ERDAS para la determinación del área influenciada por un camino dada su pequeña escala (aproximadamente 1:1,000,000 ). Sin embargo, las imágenes ERDAS ofrecen un método potencialmente utilizable para estos propósitos cuando se disponga de mejores herramientas para la interpretación detallada de las imágenes.

### Conclusiones

Para implementar los procedimientos desarrollados en este Anexo, es necesario revisar los criterios y factores varios discutidos en las secciones precedentes como medio de obtener el producto final: un área de influencia realista y razonable.

El elemento más importante en el proceso de determinar el área influenciada por un determinado camino es el criterio y la experiencia de las personas involucradas en la planificación del mismo.

Como ayuda en este proceso de estimación criteriosa, se presentan los siguientes comentarios:

1. La determinación geométrica de las áreas de influencia, ajustada por restricciones modificatorias, debería aproximadamente conformar los límites obtenidos utilizando los criterios económicos y sociales, como se presentó en las secciones precedentes.

2. Un factor clave en la determinación del ancho lateral del área de influencia, es el incremento en los costos de producción por ton-km. Este factor puede determinarse en el campo mediante una encuesta puntual.

3. Las estimaciones del área de influencia derivadas de los criterios de eficiencia económica o social, deben utilizarse como un orden de magnitud para revisar el área de influencia definida por encuestas de campo o mediante el uso de fotografías aéreas.

4. Donde los parámetros de entrada o los supuestos implícitos cambien significativamente a lo largo de un camino propuesto, el área de influencia puede determinarse separadamente para varias subsecciones del mismo.

## APÉNDICE 7.2 MUESTREO

La recolección y procesamiento de datos puede llegar a ser una actividad compleja y costosa. Desde el momento que la unidad básica de análisis para planificación del transporte es el movimiento de un vehículo individual, es económicamente inviable desarrollar una base de datos que contenga cada movimiento de cada vehículo en el área de estudio. En respuesta a este problema se han desarrollado métodos que permiten a los planificadores del transporte realizar inferencias confiables acerca de las características de una población entera basada en las características encontradas en una muestra estadísticamente significativa cuidadosamente seleccionada.

El problema crítico para encarar tal muestreo, por supuesto, consiste en cómo seleccionar

una muestra representativa de las características de la población entera.

Un texto desarrollado por W.G. Gochran, John Wiley, New York ha establecido los pasos a seguir en la planificación y ejecución de una encuesta de este tipo:

1) Establecer un listado claro de los objetivos de la encuesta.

2) Definir la población a ser muestreada y los grupos objetivo sobre los que focalizar la atención.

3) Identificar los datos específicos que resultan relevantes para los propósitos de la encuesta.

4) Especificar el grado de precisión requerido para los resultados de la encuesta (por ej. el error tolerable en los resultados).

- \* muestreo simple al azar
- \* muestreo secuencial
- \* muestreo estratificado
- \* muestreo agrupado

5) Determinar los métodos a ser utilizados para obtener los resultados de la encuesta.

El muestreo simple al azar es un procedimiento para la separación de unidades de la población de tal modo que cada unidad de la misma tenga la misma probabilidad de ser escogido. Las unidades de muestreo se escogen al azar entre la población.

6) Dividir la población en unidades de muestreo y listar aquellas de las que se extraerá la muestra.

7) Seleccionar el procedimiento de muestreo y el tamaño de la muestra.

El muestreo secuencial toma una muestra de cada enésimo elemento de la población. Este procedimiento se basa en el supuesto que la población objetivo ha sido listada con un ordenamiento al azar.

8) Ensayar la encuesta y procedimientos de campo para asegurar que los procedimientos son operables y la encuesta entendible.

9) Establecer una estructura de supervisión adecuada para el manejo de la encuesta.

El muestreo estratificado divide la población en subpoblaciones de acuerdo a diferencias en relación a alguna característica definitoria. Muestras al azar son tomadas luego de cada uno de los estratos.

10) Determinar los procedimientos para analizar y resumir los datos.

11) Almacenar los datos y resultado de los análisis como referencia futura.

El muestreo grupal involucra la agrupación de unidades de muestreo, usualmente sobre una base espacial o geográfica. Los grupos son luego elegidos en forma aleatoria para el muestreo. A pesar de que el muestreo grupal es más barato de encarar que otros procedimientos, el análisis estadístico asociado con el mismo tiende a ser más complicado.

Existen dos tareas en el procedimiento de selección de y tamaño de la muestra que ameritan especial atención;

- (1) selección de los procedimientos a ser utilizados; y
- (2) determinar el tamaño de la muestra a sacar.

Cada uno de estos procedimientos de muestreo constituye un intento para reducir el sesgo en los resultados proveniente de:

#### Procedimiento de muestreo

Comúnmente se utilizan cuatro tipos principales de procedimientos para la obtención de datos:

- \* error de medición
- \* selección de una muestra no representativa,
- o
- \* interpretaciones disímiles de las preguntas.

En cada caso, el costo del muestreo es diferente y puede ser comparado con el grado de precisión requerido.

### Tamaño de la muestra

El segundo componente importante de la estrategia de muestreo es la selección del tamaño de la muestra.

A pesar de que la precisión de las estimaciones aumentará con el tamaño de la muestra, existe siempre un punto en el cual la precisión adicional no justifica los costos asociados a la recolección de los datos y sus análisis.

En la planificación del transporte, la determinación de un tamaño adecuado de muestra puede ser muy difícil porque los datos rara vez se recogen estrictamente para un sólo propósito. Por ejemplo, los mismos datos podrían ser utilizados tanto para validar estadísticas existentes (por ejemplo, tasas de generación de viajes) y para calibrar modelos de pronóstico de viajes. Pueden entonces resultar necesarios distintos niveles de precisión (y diferentes tamaños de muestra) dependiendo de los propósitos para los cuales se utilicen los datos. El desafío del planificador es entonces el de decidir la manera que los datos recolectados serán (o podrían ser) utilizados y luego determinar el tamaño de muestra necesario para proveer el nivel de precisión requerido para el más sensible de los usos.

La determinación del tamaño de la muestra involucra dos pasos principales:

(1) Desde el momento en que el muestreo tiene por objeto conseguir información sobre

la naturaleza de la distribución de los elementos en una determinada población, deben hacerse supuestos acerca de la forma de distribución de esos elementos cuando se selecciona el tamaño de muestra. Uno de los supuestos básicos es que la población está normalmente distribuida. Una característica importante de la distribución normal es que cualquiera sea la medida  $\mu$  o la desviación estándar  $\sigma$  de una distribución normal en particular, la proporción de observaciones entre la media y un número especificado de desvíos estándar será siempre la misma. Así, 68.26 por ciento del área bajo la curva de distribución estará siempre dentro de un desvío y 96.46 por ciento dentro de dos desvíos para cualquier variable normalmente distribuida.

(2) Deben tomarse algunas decisiones respecto de los límites de error aceptable de la muestra. Esto se hace comúnmente especificando que la media de la muestra para una variable debe estar dentro de un margen  $d$  del valor verdadero para un cierto porcentaje de muestras. Este último porcentaje (es decir el porcentaje de muestras que caen dentro de un determinado límite de error) se llama *nivel de confianza*. *El nivel de confianza se define como  $100(1-\alpha)$  donde  $\alpha$  es la fracción del área bajo la curva de distribución normal que cae fuera de los límites de confianza. Se puede especificar que la precisión de una variable normalmente distribuida en particular debe estar comprendida por ejemplo entre más - menos dos unidades de la media verdadera al nivel del 95%, esto es, el intervalo estimado 95 por ciento de las veces.*

Una vez que se hecho el supuesto relativo a la distribución de los elementos de la

población y la precisión deseada seleccionada, puede determinarse el tamaño de muestra requerido. Por ejemplo, si se asume que los elementos de una población son normalmente distribuidos, puede demostrarse que el tamaño de muestra requerido para lograr una precisión de  $d$  unidades con un porcentaje de confianza  $100(1-l)$  es:

$$n = \frac{Z_{1-(1/2)l} \sigma}{d}$$

donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$d$  = margen de error tolerable del valor medio

$\sigma$  = desviación estándar de la población

$l$  = fracción del área bajo la curva que representa los eventos *no* incluidos dentro del nivel de confianza (así,  $1-l$  representa el nivel de confianza deseado).

$Z_{1-(1/2)l}$  = estadístico normal correspondiente al nivel de confianza  $1-l$  (se encuentra tabulado).

Por ejemplo, supóngase que un organismo quiere estimar la proporción de un cierto tipo de vehículos (por ejemplo, camiones) dentro de una tolerancia de  $\pm 0.025$  con un nivel de confianza del 95 por ciento. También supóngase que un muestreo previo mostró que la desviación estándar de la distribución de este tipo de vehículos es 0.04. El tamaño de la muestra puede entonces calcularse como:

$$n = \frac{Z_{1-(1/2)0.05} \cdot 0.04}{0.025} = 9.8 = 10$$

Así, los datos de clasificación de vehículos deben recogerse en 10 días aleatoriamente

seleccionados para alcanzar la precisión requerida.

Uno de los problemas de utilizar la expresión dada es el hecho de que  $\sigma$  es menudo desconocida. Pueden utilizarse muestras existentes o preliminares para estimar  $\sigma$  y así determinar el tamaño de muestra apropiado. Otra distribución, la tipo  $t$  de Student, permite utilizar la media y desvío estándar de la muestra en lugar de los valores correspondientes a la población. Cuando el tamaño de la muestra se incrementa, la distribución  $t$  se aproxima a la forma de la curva de distribución normal. La distribución  $t$  se utiliza, por ejemplo, en muestreos de tránsito donde la variable analizada es el número de viajes de colectivos por ruta por hora y donde el tamaño de la muestra es pequeño (por ejemplo, menor de 30 viajes).

Otro enfoque, basado en un estimado de la proporción de la variable en la población, es también utilizado por los planificadores. La ecuación para la determinación de este tamaño de muestra es:

$$n = \frac{Z_{1-(1/2)l}^2 (p)(1-p)}{d^2}$$

donde:

$p$  es el valor observado de la proporción de una variable en la población (por ejemplo, porcentaje por tipo de viaje en el total de viajes realizados en el área), y

$n$  = tamaño de la muestra

$d$  = margen tolerable de error en la media

$\sigma$  = desviación estándar de la población

$l$  = fracción del área bajo la curva normal que representa los eventos no incluidos dentro del

nivel de confianza (así,  $1-l$  representa el nivel de confianza deseado).

$Z_{1-(1/2)l}$  = estadístico normal correspondiente al nivel de confianza  $1-l$  (se encuentra tabulado)

Una versión modificada de la ecuación anterior se utiliza cuando los planificadores están interesados en el error relativo  $r$  del valor verdadero de la media en lugar del valor

absoluto  $d$ . Por ejemplo, los planificadores pueden querer estimar una variable con un error no mayor del 5% del valor verdadero de la media. Para hacer esta estimación, la ecuación se modifica para sustituir  $d$  por  $r.p$ . La fórmula resultante es:

$$n = \frac{(Z_{1-(1/2)l})^2 (p)(1-p)}{rp^2} \quad n = \frac{(Z_{1-(1/2)l})^2 (p)(1-p)}{r^2 p}$$

donde  $r$  es el margen de error o precisión, expresado como una fracción del valor medio, y el resto de los símbolos tiene el mismo significado anterior.

### APÉNDICE 7.3 PRECISIÓN DE LOS CONTEOS DE TRÁFICO

Desde el momento que no es posible contar cada vehículo que se mueve sobre un camino durante todo el año, es necesario realizar conteos de muestreo para hacer inferencias acerca de la totalidad de los viajes a lo largo de los 365 días del año basado en las características encontradas mediante el muestreo.

#### Muestreo de tráfico

Para obtener total precisión en la medición de los volúmenes de TMDA a lo largo de la red de un camino, sería necesario contar vehículos continuamente en cada punto en todo el camino. Desde el momento que esto no es posible (tanto económicamente como físicamente), se utilizan muestreos de tráfico basados en conteos de corto plazo para obtener estimaciones de los volúmenes de TMDA con el grado de precisión necesario y a un costo razonable de tiempo y mano de

obra.

Una vez realizados los conteos de corto plazo, los mismos se expanden mediante la aplicación de factores para producir los estimados del TMDA; los ajustes incluyen:

- \* factores de corrección por ejes para compensar el hecho de que los equipos de muestreo cuentan ejes en lugar de vehículos, es decir, para tener en cuenta vehículos con más de dos ejes;
- \* factores estacionales para compensar el hecho de que los volúmenes varían a lo largo de los meses del año.

Los factores de ajuste están sujetos a errores que deben ser considerados en una evaluación de la confiabilidad de la precisión de un muestreo de tráfico. Otras consideraciones que afectan la precisión del muestreo incluyen:

- \* el error del equipo o datos faltantes debidos a mal funcionamiento;
- \* características dinámicas tales como el clima, actividades de construcción de carreteras, condiciones económicas, etc.; y
- \* error de muestreo debido a la variación aleatoria diaria de los volúmenes de tránsito.

#### Precisión y niveles de confianza

Tradicionalmente las estimaciones de tráfico han sido consideradas con una precisión de  $\pm 10$  por ciento. Más precisión requeriría grandes tamaño de muestra que involucrarían costosos programas de recolección de datos, mientras que una menor precisión reduciría la utilidad de los datos para propósitos de toma de decisiones.

Una precisión de  $\pm 10$  por ciento puede ser establecida con alto o bajo nivel de confianza; cuanto más alto el nivel de confianza deseado mayor el tamaño de muestra requerido. La Federal Highway Administration (FHWA) de U.S. Department of Transportation recomienda niveles de confiabilidad con  $\pm 10$  por ciento de precisión juntamente con niveles de confianza de 95 por ciento.

Lo que sigue describe cada una de las consideraciones que afectan la precisión de los muestreos de tráfico y, para cada consideración, provee una indicación de los impactos sobre la precisión de los mismos al nivel del 95%.

Una estimación de la precisión total de los conteos de tráfico, al nivel del 95%, se calcula con:

$$E = \sqrt{E^2_a + E^2_m + E^2_e + E^2_s}$$

donde:

$E$  = precisión como % del TMDA

$E_a$  = error máximo al nivel del 95% del factor de corrección por ejes

$E_m$  = error máximo al nivel del 95% del factor de ajuste mensual

$E_e$  = error máximo del equipo al nivel del 95%

$E_s$  = error máximo de muestreo (variación día a día) al nivel del 95%

Con valores de los errores máximos al nivel del 95% debidos a cada una de las consideraciones de

$E_a = 1,5\%$ ,  $E_m = 7\%$ ,  $E_e = 3,6\%$

el error máximo en el TMDA sería del 8.9% al nivel de confianza del 95%.

#### Correcciones por número de ejes

Las correcciones por número de ejes compensan el hecho de que los equipos de medición cuentan ejes en lugar de vehículos. Para muestreos de tráfico, pueden utilizarse dos tipos de máquinas de registro automático (Automatic Traffic Recorder ATR): (1) el primer tipo cuenta vehículos y (2) el segundo tipo registra pares de ejes en cuyo caso se necesita aplicar los factores de corrección por número de ejes.

#### Variaciones por día de semana

Típicamente, los volúmenes de tráfico varían de acuerdo al día de la semana, es decir, los sábados, domingos y en algunos casos los viernes los volúmenes de tráfico son diferentes del resto de los días laborales.

Si los conteos se llevan a cabo por un período continuo de 7 días de manera tal que la

variación en los volúmenes diarios pueda ser observada y el tránsito medio diario (TMD) calculado incluyendo todos los días de la semana, no sería necesario aplicar factores de ajuste por día de la semana a los conteos.

Sin embargo, para conteos de períodos más cortos que 7 días es necesario aplicar los factores de ajuste.

#### Variaciones estacionales

Los factores estacionales tienen en cuenta el hecho de que los volúmenes de tránsito varían en los distintos meses del año.

Para tomar en consideración las variaciones estacionales en los volúmenes de tráfico, el procedimiento usual consiste en realizar conteos continuos, tomados los 365 días del año, en una localización seleccionada a partir de las cuales se puedan analizar los factores estacionales para expandir los conteos de corto plazo.

Los factores de ajuste estacional se determinan calculando en primer lugar el tránsito medio diario mensual (TMDM) y el tránsito medio diario anual (TMDA) en la localización preestablecida calculando luego las relaciones del TMDM al TMDA para cada mes durante el año.

El análisis de variaciones estacionales se lleva a cabo sobre una base mensual porque los estudios han demostrado que los patrones basados en variaciones diarias o semanales reducen la veracidad de los factores de ajuste estacional resultantes.

Los valores de ajuste típicos (variación mensual) para áreas urbanas varían de 0.90 a

1.10, mientras que aquéllos correspondientes a áreas rurales pueden tener un rango mayor de 0.75-1.25; las variaciones por encima de este rango son indicativas de patrones de viaje altamente variables, que se denominan patrones recreacionales pero que pueden ser debidos a otras razones.

Contando con conteos de tráfico extendidos a un cierto número de años, es posible estimar la estabilidad de los factores de ajuste estacional en el tiempo.

#### Error del equipo de muestreo

Las consideraciones relativas al error del equipo incluyen imprecisiones debidas al equipo mismo o a pérdida de datos por mal funcionamiento.

En cada localización, el equipo de conteo (máquinas ATR) deben ser revisadas con frecuencia para asegurar que las mangueras de goma no hayan sido dañadas y que las máquinas han estado detectando y registrado los vehículos correctamente.

Deben realizarse conteos periódicos manuales de corto plazo y compararlos con el número de vehículos registrados por las máquinas ATR.

#### Características dinámicas

Los errores debidos a las características dinámicas incluyen imprecisiones que pueden ocurrir por condiciones de clima inusuales, interrupción de los patrones de tránsito por actividades de construcción de carreteras, eventos infrecuentes que afecten los viajes, condiciones económicas, etc.

## Sección 8: Encuestas de tráfico

En esta sección se proporciona una guía para diversos tipos de encuestas de tránsito destinadas al estudio de proyectos de mejoramiento de caminos.

Algunas de las encuestas que se describen ya han sido llevadas a cabo por la SECOPT, mientras que otras no han sido efectuadas regularmente.

Para aquellos tipos de encuestas ya realizadas por la SECOPT y para las cuales existe un manual de instrucciones, los métodos y procedimientos a seguir se referirán a los ya existentes.

El alcance de las encuestas de tráfico que se proponen se refieren a:

### (1) Encuestas de volumen de tráfico

Estaciones permanentes de conteo  
Registros automáticos de tráfico (ATR)  
Censos de clasificación de vehículos  
Conteo de vehículos en circulación  
Conteo de vehículos que giran

### (2) Encuestas de origen y destino

### (3) Censos de carga por eje

### (4) Encuestas de tiempo de viaje y demoras

### (5) Encuestas sobre tráfico generado

### (6) Encuestas domiciliarias

### (7) Encuestas a usuarios de transporte público

### (8) Encuestas a usuarios de taxis

### (9) Encuestas de estacionamiento

Inventario de playas de estacionamiento existentes

Encuestas sobre demanda de estacionamiento  
Encuestas sobre las características del uso del estacionamiento

### (10) Otras encuestas

## 8.1 Encuestas de volumen de tráfico

### 8.1.1 Estaciones permanentes de conteo de tráfico

Actualmente no existen estaciones permanentes de conteo en Honduras. Considerando la valiosa información que mediante las mismas se obtiene (coeficientes estacionales, variaciones y tendencias en el tráfico, etc.) es de esperar que la SECOPT se preocupe por instalar dichas estaciones de conteo en un futuro cercano.

Los recursos necesarios para lograr un buen funcionamiento y un mantenimiento regular de las mismas son:

- equipo y repuestos;
- lugar para un taller donde guardar el equipo, repuestos y herramientas, así como también para efectuar el mantenimiento y reparación del equipo de conteo;
- personal de apoyo para: verificar el funcionamiento del equipo en el campo y recopilar los datos de los conteos y mantener y

- reparar el equipo en el campo y en el taller; y
- personal de apoyo para tabular y analizar los resultados de los conteos.

Cada estación permanente de conteos debe ser visitada por lo menos una vez cada dos semanas para:

- recolectar los resultados de los conteos completos correspondientes a las dos semanas precedentes,
- verificación completa y precisa del equipo de conteo (mediante observación y manualmente se registra el número de vehículos pasantes por la estación durante un corto período de tiempo, más o menos quince minutos, para compararlo con el número de vehículos detectado y registrado por el equipo durante el mismo lapso).
- efectuar cualquier ajuste que requiera el equipo;
- efectuar cualquier reparación o cambio de piezas, y
- tomar nota de cualquier observación pertinente al equipo y de las acciones a tomar para ajustarlo o repararlo.

### 8.1.2 Registros automáticos de tráfico (ATR)

Los contadores ATR consisten en tubos detectores de goma presurizados (mangueras con aire a presión), fijados a la superficie del camino y conectados a un artefacto registrador (batería de 6 a 12 volts). Cada vez que un vehículo de peso suficiente pasa sobre el tubo, se registra en el contador; como también se indican los tiempos, se pueden computar los volúmenes hora.

Donde se cuenta con una superficie pavimentada se pueden utilizar otro tipo de contadores ("loops" inductores), que son los que normalmente se instalan en las estaciones de conteo permanente.

Los equipos ATR son propensos a algunas fallas y por lo tanto debe ponerse especial cuidado cuando se utilizan. Los principales problemas que se presentan son:

- (1) Detectan y registran el paso de vehículos livianos (bicicletas, carros, etc.), aunque no se pretenda incluirlos en el conteo;
- (2) registran en forma intermitente o no registran el peso de motocicletas, aunque se pretenda registrar el 100 %;
- (3) el pasaje de camiones multiejes se registra como pasada de dos vehículos y
- 4) las fallas de tipo mecano-eléctricas que se presentan, generadas por el manipuleo del ATR.

### 8.1.3 Censos de clasificación manual de vehículos.

Se registran los vehículos de acuerdo a su clase o tipo y dirección; cuando el vehículo pasa el operario (censista) lo registra. Es fundamental que el censista esté familiarizado con los distintos tipos de vehículo, especialmente cuando estos censos van a ser usados para complementar la información proveniente de los censos de origen y destino. Continuamente deberá haber un supervisor verificando la tarea de los censistas y corrigiendo sus errores si los hubiera. Primeramente se utilizarán fotografías de las distintas clases de

vehículos y luego se procederá al reconocimiento de los mismos en el terreno, para los casos de censistas sin experiencia.

Las estaciones censales se deben ubicar evitando el tráfico local, escuelas, mercados, etc. La distancia de visibilidad a ambos lados debe permitir reconocer a los distintos tipos de vehículos, es importante proveer algún tipo de sombra a fin de evitar el daño del sol.

El número de censistas requeridos dependerá del flujo de tránsito existente. Hasta 300 vehículos/hora en ambas direcciones pueden ser clasificados por un solo censista. Más de 300 vehículos/hora necesitan dos operario, uno en cada dirección. Más de 600-700 vehículos/hora requerirán un mayor número de censistas, uno para la clasificación de los camiones y otro para el resto de los vehículos, en cada dirección. Un alto volumen, que corresponda a una intersección de 4 vías (más de 1000 vehículos/hora en cada mano) requerirá más de 12 operadores, a fin de aislar cada movimiento de giro. Es necesario contar con uno o dos censistas de repuesto, disponibles para cualquier emergencia o para cortos períodos de tiempo.

Debe haber un supervisor (ingeniero) en cada estación, salvo que las mismas se encuentren muy próximas. El supervisor será responsable de:

- (1) suministrar las planillas o formatos para las encuestas;
- (2) iniciar y finalizar las encuestas;
- (3) indicar cuando se completa cada hora;

- (4) recolectar y verificar las planillas en el sitio;
- (5) registrar las condiciones anormales (y los tiempos en que ocurren) que puedan afectar la afluencia de tránsito (altas precipitaciones, accidentes, etc.);
- (6) verificación y mantenimiento de los equipos ATR, si están ubicados en los mismos sitios.

Al final de cada jornada de conteo se recolectarán las planillas, una vez verificadas el resumen de los conteos se transcribirá a la Hoja Resumen. Si esta tarea no se realiza diariamente, pueden no repararse errores evidentes, que en ocasiones obligan a extender el período de censos.

#### 8.1.4 Conteo de vehículos en circulación

El conteo del tráfico en movimiento proporciona una rápida estimación del volumen/horario a lo largo del camino y brinda una grosera aproximación del ADT. Este tipo de conteo se lleva a cabo durante los relevamientos preliminares del tramo y antes de efectuar estudios de tránsito de mayor detalle. Sin embargo, ya es una práctica standard que el personal de apoyo de los estudios de factibilidad, realice estos conteos en todas las visitas que haga al tramo, a fin de verificar las variaciones estacionales y prestar atención a cualquier anomalía que pudiera requerir una mayor investigación.

Los datos obtenidos podrán utilizarse para:

- una estimación preliminar del uso del

- camino,
- el standard para el que el camino debe ser mejorado,
- la ubicación adecuada para las estaciones de encuestas de tránsito,
- vehículos típicos representativos.

Ingenieros, economistas y técnicos deberían tener como práctica llevar a cabo este tipo de censo cada vez que recorren el proyecto.

El vehículo desde el que se efectúa el conteo debe trasladarse a una velocidad uniforme, tan cerca como fuera posible a la velocidad promedio del tráfico del tramo. Desde el vehículo del censista se registran todos aquellos vehículos (por clase) que se encuentran viniendo de la dirección opuesta (A), se registran también todos aquellos vehículos que son sobrepasados (P), así como aquellos que sobrepasan al vehículo del operador (O). Se deben anotar los tiempos de inicio (T1) y de finalización (T2) del viaje. El volumen horario (HV) total en ambas direcciones, se calculará como:

$$HV = (A + O - P) \times 60 / (T2 - T1) \text{ minutos}$$

Mediante este procedimiento, el tiempo de viaje y el volumen de tráfico se utilizan para estimar la velocidad y el volumen de tráfico actual en una sección o segmento del camino. Este método proporciona valores razonablemente certeros, una muestra de 30 minutos en un camino de 300 vehículos/hora, tiene un error standard de 10% con respecto al volumen real.

La red de caminos a ser censados se divide en secciones de una longitud L(km), de modo que cada sección tenga aproximadamente un tráfico uniforme y características físicas

similares. Los vehículos destinados a los conteos circularán en ambas direcciones, a la velocidad promedio estimada para el tránsito.

El recorrido de estos vehículos podrá incluir varias secciones en un solo viaje. Cada vehículo contará con dos operadores, uno de los cuales podrá conducir si se cuenta con un medidor de tiempo de viaje o un grabador. Se registrarán los siguientes datos:

- (1)  $T_i$ : tiempo de viaje (en horas) utilizado por el vehículo de prueba para recorrer una sección del camino en dirección  $i$ ; dirección opuesta a la denominada  $j$ .
- (2)  $N_i$ : número de vehículos circulando en dirección  $i$ , encontrado por el vehículo de prueba cuando circula en la dirección opuesta  $j$ .
- (3)  $F_i$ : número de vehículos moviéndose en la dirección  $i$ , que sobrepasaron al vehículo de prueba, cuando circulaba en la dirección  $i$ .
- (4)  $S_i$ : número de vehículos moviéndose en la dirección  $i$ , que son sobrepasados por el vehículo de prueba, cuando se mueve en la dirección  $i$ .

Por lo menos se requieren 6 recorridos para cada sección, para cada período del día en que se haga el estudio. Si la suma de las diferencias entre los tiempos de los viajes individuales y los valores promedio resultara mayor que el valor promedio se harán 4 ó 6 recorridos adicionales y sus registros se combinarán con los correspondientes a los primeros recorridos. Con los promedios de  $T$ ,

$N$ ,  $F$  y  $S$ , se calculan los valores que se indican.

El volumen de tráfico para la dirección  $i$ ,  $q_i$ , de una sección del camino se computa mediante la fórmula:

$$q_i = \frac{N_i + F_i - S_i}{T_i + T_j}$$

y la velocidad promedio ( $U_i$ ), para ese flujo de tránsito, se calcula mediante la fórmula:

$$U_i = \frac{L}{\frac{N_i + F_i - S_i}{q_i}}$$

## 8.2 Censos de origen y destino

Para muchos estudios de factibilidad se requiere entrevistar a los conductores. En estas encuestas, todo el flujo o una muestra representativa del tránsito, se detiene en estaciones seleccionadas para las encuestas y los conductores son interrogados sobre sus viajes y sus vehículos. La información usualmente obtenida versa sobre:

- tipo de vehículo;
- ocupación del vehículo;
- motivo del viaje;
- origen del viaje;
- destino del viaje;
- paradas intermedias; y
- mercadería transportada, tipo, cantidad y peso.

Se requiere información suplementaria si el

tipo de vehículo censado se registra con frecuencia, por lo que se lo utilizará como representativo de alguna de las varias clases y será el seleccionado para el cálculo del VOC.

Las encuestas de origen y destino (O & D) se requieren normalmente cuando:

- (1) El volumen del tránsito desviado llega a ser alto porque:
  - hay rutas alternativas a la del proyecto
  - hay modos alternativos de efectuar el transporte
  - el proyecto corresponde a un camino nuevo.
  - el proyecto corresponde a un by-pass.
- (2) No hay otra información adecuada disponible sobre las características del tránsito en el área de estudio (tipo de vehículo, tipo de viaje, ocupación del vehículo, etc.)

La información recolectada en cada estación de encuestas de O & D, consistirá en:

- Conteo del volumen de tráfico usando el equipo ATR, por un período de 7 días consecutivos.
- Entrevistas de O-D.
- Clasificación manual de los vehículos, durante el día en que es llevada a cabo la entrevista.

Los conteos del volumen del tráfico durante 24 horas y la clasificación horaria de los vehículos proveerá de un control total para ampliar la muestra de los conductores entrevistados.

Los datos a registrarse en las encuestas de O-D incluirán información sobre edad, sexo, características socio-económicas de las personas que viajan, origen y destino del viaje, propósitos y características de los servicios de transporte, tales como tiempo de viaje y costos.

Con la asistencia y el apoyo de la policía de tránsito, los vehículos circulantes se acercarán a la estación de la encuesta de O-D por ambas direcciones, donde serán detenidos (en cada sentido) y por lo menos para una muestra de cada tipo de vehículo será entrevistado el conductor.

Con respecto a como planear las entrevistas de O-D en las estaciones destinadas a las encuestas, hay dos maneras de manejarse con el tráfico:

- (1) Los entrevistados son conducidos hacia uno de los carriles, contándose con un número de encuestadores trabajando alineados en un carril en cada sentido. Todos los vehículos deben acercarse lentamente y formar cola dentro del carril que les corresponda.
- (2) Los entrevistados son conducidos hacia los hombros de la calzada, mediante la policía de tránsito que selecciona los vehículos a ser entrevistados y dirige a los conductores para que se ubiquen en los hombros ordenadamente para las encuestas.

Las personas que conducen las entrevistas se colocan alineadas en dos o más filas en cada sentido del tráfico. A fin de guiar a los

conductores, utilizan conos que se ubican delineando el lugar en que se efectuará la entrevista.

El primer entrevistador de la fila de los encuestadores (para cada sentido del viaje) deberá indicar, mediante una clara señal manual, que el primer vehículo que se aproxima deberá detenerse en ese lugar (primer entrevistador) para la entrevista. El próximo vehículo que se aproxima deberá detenerse directamente frente al segundo encuestador y así sucesivamente el tercer y cuarto vehículo. Una vez completada cada entrevista, el conductor dejará el área manteniendo su dirección de viaje y proporcionando un carril despejado delante de él.

El proceso así se repite para un nuevo grupo de vehículos, en realidad, las entrevistas de los conductores se cumple "en pelotón".

El tiempo insumido se espera que permita interpelar a 30-40 vehículos por hora, por cada encuestador.

A fin de informar al público y contar con la cooperación de los conductores, se emitirán mensajes mediante algún servicio público (radio, televisión, diarios), similares al que se indica:

"Durante las próximas 6 semanas, la SECOPT (o DGC si correspondiera) realizará encuestas de tráfico en las rutas principales correspondientes al área \_\_\_\_\_ .

El tipo de encuestas corresponde a los censos de origen y destino.

Como conductor de vehículo, a usted se le

requerirá que responda a un reducido cuestionario relativo al viaje en particular que está llevando a cabo, a la hora y en el lugar en que se realice la encuesta, la información obtenida por estos medios será utilizada por la SECOPT para analizar la demanda de viajes y planear los mejoramientos que sean requeridos.

De este modo, su participación en esta encuesta contribuirá a mejorar los caminos de Honduras".

### **Instrucciones para las formas o planillas a usar en las encuestas**

Los items del 1 al 9, ubicados en la parte inferior de la forma o planilla, identifican dónde, cuándo y por quién fue efectuada la entrevista.

- (1) Número de página. Cada entrevistador numerará cada hoja o planilla de entrevista en forma consecutiva, comenzando con el número 1 al inicio de la jornada de trabajo.
- (2) Número de estación. A cada estación de la encuesta se le asignará un número, a cada entrevistador se le informará este número al comienzo de cada día y lo transcribirá en todas las planillas que utilice durante ese día.
- (3) Dirección. Para cada estación y para cada dirección de viaje se designará si corresponde Norte, Este, Sur u Oeste. Todos los encuestadores, trabajando a cada lado del camino, deben tener la dirección registrada y

todos aquellos ubicados en un mismo sentido del camino, tendrán igual dirección.

- (4) Día. Día de la semana (domingo, lunes, etc.).
- (5) Fecha. Se debe registrar día, mes y año de la encuesta.
- (6) Hora de inicio. Por ejemplo, todos los encuestadores comienzan entre las 10 hs. y las 11 hs., se aotará como Hora de Inicio las 10 hs, el supervisor notificará el comienzo de cada hora. El sistema de 24 horas puede utilizarse registrando 1pm como la hora 13.
- (7) Entrevistador. Nombre o iniciales de la persona que conduce la entrevista.
- (8) Codificado por. Nombre o iniciales de la persona que codifica la planilla completada en la entrevista.
- (9) Verificado por. Nombre o iniciales del supervisor que controló las planillas completadas y verificadas.

Cada planilla contiene lugar para registrar dos encuestas. Los items 10 a 17 se aplican a todos los tipos de vehículos y los items 18 y 19 sólo a los vehículos de carga.

- (10) Tipo de vehículo. De acuerdo a lo observado, el entrevistador marcará en la planilla con un círculo el número de código apropiado al vehículo de que se trate.
- (11) Número de ocupantes. De acuerdo a

lo observado el encuestador registrará en la planilla el número de ocupantes incluyendo al conductor y si tuviera a su ayudante.

Información Original. Los ítems 12 a 14 corresponden a preguntas relativas al origen del viaje. Estas preguntas se requieren para determinar el tráfico en la zona analizada, donde se inicia el viaje, propósitos del mismo, uso de la tierra en la zona que se atraviesa, etc. El análisis de las respuestas, juntamente con las correspondientes a las preguntas 15 a 17, permitirá determinar para distintos propósitos de viaje, la cantidad de vehículos que se trasladan de un punto a otro en el área en estudio.

(12) ¿Desde dónde viene usted? El propósito de esta pregunta será determinar y registrar el lugar (zona) desde donde el entrevistado comenzó su viaje. En el espacio previsto en la planilla para tal fin, se escribirá claramente el nombre de la municipalidad, ciudad, vecindario o barrio, o reconocidos edificios, fábricas, oficinas gubernamentales, escuelas reconocidas, etc.

(13) ¿Por qué usted está allí? Esta pregunta, juntamente con la número 16 se utiliza para clasificar los viajes de los vehículos según sus propósitos. Basándose en las respuestas obtenidas, el entrevistador marcará con un círculo el número de código apropiado; si la respuesta no correspondiera a ninguna de aquellas indicadas en la lista, se marcará con un círculo al código 10, otras, y se describirá con 2 ó 3 palabras el

propósito del viaje definido por el conductor del vehículo.

- 1 Residencia usual.
- 2 Detención durante la noche.
- 3 Lugar normal de trabajo.
- 4 Trabajo en relación de dependencia.
- 5 Negocios personales.
- 6 Compras.
- 7 Sociales / recreación.
- 8 Educación.
- 9 Negocios con la armada.
- 10 Otros.

(14) ¿Qué es el lugar? La respuesta a esta pregunta será utilizada para ampliar el análisis de los distintos tipos que se le dan al uso de la tierra. Basándose en las respuestas obtenidas, el encuestador pondrá un círculo en el número de código apropiado; si no estuviera en la lista la respuesta adecuada, se marcará 10, otros, y se describirá con pocas palabras (de 1 a 3) la respuesta dada por el conductor.

- 1 Residencia.
- 2 Hotel.
- 3 Oficina.
- 4 Tienda.
- 5 Fábrica / almacén.
- 6 Obra en construcción.
- 7 Puerto.
- 8 Estación de policía.
- 10 Otros.

Información sobre el destino. Los ítems 15 a 17 corresponden a preguntas similares a los ítems 12 a 14, pero atañen al destino del viaje.

(15) ¿Dónde está usted yendo? Esta pregunta es similar a la 12), excepto que se refiere al destino final del viaje. En el espacio previsto se escribe claramente el nombre de la municipalidad, ciudad, vecindad (barrio), reconocido edificio, fábrica, oficina gubernamental, escuela, etc.

(16) ¿Por qué está usted yendo allí? Se utilizan los mismos números de código que en el ítem 13.

(17) ¿Qué es el lugar? Se utilizan igual números de código que para la 14).

Vehículos de carga. Los ítems 18 a 19 atañen sólo a los vehículos de carga, no se aplican a autos particulares, taxis, buses, etc. (tipos de vehículos del 1 al 5).

(18) Carga. El propósito de este ítem es definir por simple observación o mediante preguntas hechas al conductor, si el vehículo está transportando carga, y en caso positivo se solicita una descripción aproximada del tamaño de la misma, en relación al tamaño o capacidad de carga del vehículo. El encuestador marcará con un círculo el número de código que corresponda.

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1 | Vacío.                 |
| 2 | 1/4 cargado.           |
| 3 | 1/2 cargado.           |
| 4 | 3/4 cargado.           |
| 5 | Completamente cargado. |

(19) Tipo de carga. El propósito de este ítem es definir por simple observación o mediante preguntas

hechas al conductor, qué tipo de mercadería se transporta. El encuestador escribirá en el espacio previsto de la planilla, una descripción del tipo de mercadería que está siendo transportada.

### **Apoyo al equipo de encuestas**

El equipo de encuestas consistirá en:

- El supervisor para el equipo de encuestas.
- Un supervisor para los entrevistadores de cada dirección de viaje.
- Un clasificador de tráfico para cada dirección de viaje.
- Entrevistadores, 4 ó más para cada dirección.
- Policía de tránsito para el control del mismo.

### **Responsabilidad del equipo de encuestas**

A continuación se indican los deberes de los miembros del equipo.

Supervisor del equipo de encuestas

- seguir el programa completo, de cada lugar, cada jornada de trabajo
- seleccionar los lugares con exactitud, a lo largo del camino, donde se ubicarán las estaciones de encuestas
- asegurarse que los demás miembros del equipo entienden y ejecutan correctamente sus tareas específicas
- establecer un programa diario de viajes, desde y para los lugares de las encuestas
- supervisar a los conductores de los

vehículos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dirigir el tráfico.</li> <li>• dirigir el tráfico para detener a los entrevistados (cuando el flujo de tránsito supere a aquel que se pueda entrevistar, la policía dirigirá e indicará a algunos de los vehículos que no se detengan en las estaciones)</li> </ul>
Conductores de los vehículos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• transportar a los miembros del equipo para y desde el lugar de la encuesta</li> <li>• operar y ejecutar diariamente el mantenimiento de los vehículos</li> </ul>	
Supervisor de la cuadrilla	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• supervisar el trabajo de la cuadrilla en el lugar de operación de la encuesta</li> <li>• garantizar la seguridad de la operación</li> <li>• supervisar el uso de los equipos y elementos adecuados y las planillas requeridas</li> <li>• garantizar que los datos recolectados estén apropiadamente tomados y registrados</li> <li>• coleccionar y verificar las planillas completas, con todos los datos</li> <li>• garantizar la tenencia de agua potable y asegurarse que los miembros de la cuadrilla no se verán perjudicados por el calor y el sol</li> </ul>	<p><b>Pasos a seguir para la organización de las encuestas de origen y destino</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encontrarse con el cliente para explicarle el objetivo de la encuesta, la ubicación de las estaciones, los procedimientos a aplicar, las planillas para la recolección de datos y las instrucciones.</li> <li>2. Llegar a un acuerdo en lo relativo a las asignaciones personales, transporte para y desde los lugares de trabajo y equipos y elementos necesarios.</li> <li>3. Conducir las reuniones y prácticas de entrenamiento.</li> </ol>
Clasificador del tráfico	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• observar, clasificar y registrar a todos los vehículos que pasen por la estación encuestadora, en cada dirección de viaje durante cada hora</li> </ul>	
Entrevistadores	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• obtener y registrar la información descripta en la entrevista de cada vehículo que se ha detenido</li> </ul>	
Policía de tránsito	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vehículo para el transporte del personal de las encuestas, equipo y elementos necesarios</li> <li>• equipos contadores de tráfico y herramientas para su ubicación</li> <li>• señales de advertencia para prevenir a los motoristas que se aproximan, que deberán detenerse para las encuestas</li> <li>• planillas para las encuestas, incluyendo las de O-D y las requeridas para la clasificación de</li> </ul>

- tránsito
- lápices, sacapuntas, clips, etc.
- sobres para guardar las planillas completadas
- relojes, relojes personales pertenecientes a miembros de la cuadrilla para usar en la determinación de los cambios de hora durante las encuestas

### 8.3 Censos de carga por eje

Generalmente estos censos se limitan a pesar camiones medianos y pesados y buses pesados (turistas), ya que son los que producen un mayor efecto en la vida de un pavimento.

Usualmente se utilizan básculas portátiles para determinar las cargas por eje. Dichas básculas se ubican adyacentes al camino, en lugares seleccionados. Los vehículos se deben ubicar sobre estas básculas, de modo que cada eje quede centrado sobre la plataforma, registrándose así las cargas, tanto para determinar la carga total, como para obtener el porcentaje soportado por cada eje. Durante el curso de la encuesta, se debe registrar el tipo de mercadería que transporta generalmente cada clase de camión y el alcance de la carga, determinado midiendo el volumen de carga transportado y la capacidad total del camión, a fin de determinar futuros posibles niveles para carga de distintas mercaderías.

Donde no sea posible llevar a cabo los censos de carga por eje, puede hacerse mediante los censos de O & D o encuestas similares, registrándose el nivel de carga (25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, etc.) y el tipo de mercadería que usualmente se transporta. Un

espectro de carga por eje puede obtenerse usando la gravedad específica acorde con el tipo de mercadería y la geometría típica del vehículo.

### 8.4 Tiempo de viaje y demoras

A fin de obtener una base para relacionar las velocidades de las distintas carreteras que conforman una red, los tiempos de viaje y las demoras, con las dimensiones físicas y características de diseño de los caminos existentes (incluyendo el impacto de las intersecciones), las mediciones de los tiempos de viaje y demoras se harán durante el día en las horas en que se esperan distintos grados de congestión de tráfico (horas pico y fuera de dichas horas). La información correspondiente a los tiempos de viaje será tabulada, analizada y posteriormente utilizada para establecer las relaciones a utilizarse en el modelo de tráfico, que relacionará los tiempos de viaje y demoras del sistema, con el nivel de tráfico usado y la capacidad de la calzada y de las intersecciones.

La información de las mediciones de los tiempos de viaje se utilizarán también para:

- (1) Proveer de una indicación sobre la magnitud de los potenciales beneficios de los usuarios, generados por un específico proyecto de mejoramiento.
- (2) Evaluar la mayor o menor adecuación de los métodos aplicados para relacionar la velocidad de los viajes con la capacidad de la calzada y el volumen de tráfico.

Mediante un vehículo de prueba se

registrarán los tiempos de viaje (hora, minutos y segundos) requeridos entre puntos seleccionados para ese control.

La cuadrilla para la encuesta consistirá en un conductor y en un jefe de la cuadrilla, para observar y registrar los tiempos de viaje.

El jefe de la cuadrilla será el responsable de dar las instrucciones al conductor sobre el itinerario y si fuera necesario darle las recomendaciones del caso, sobre la velocidad a utilizar en el viaje con el vehículo de prueba, a fin de asegurar la validez de la encuesta. El jefe de la cuadrilla observará la hora en que el vehículo de prueba pasa por los puntos seleccionados para control y registrará dichos tiempos (hora, minutos y segundos), en la planilla de encuestas. Siempre que el vehículo deba detenerse (por ejemplo al acercarse a una intersección) se debe registrar esa cantidad de tiempo (minutos, segundos) como una demora. Cualquier detenimiento y demora ocurridas entre las intersecciones del camino deben ser registradas o incluidas como comentarios.

El conductor deberá circular a una velocidad tal, que en su opinión sea representativa de la velocidad del tránsito de pasajeros, en ese tramo del camino y en ese momento. Generalmente a la velocidad tomada como representativa, el número de vehículos sobrepasados por el vehículo de prueba será aproximadamente igual al número de vehículos que sobrepasaron al vehículo de la encuesta. El conductor del vehículo será responsable de manejar con seguridad y de seguir las instrucciones y guías de velocidad de viaje dadas por el observador/registrator.

Cada una de las carreteras sometidas a

estudio de tiempos de viaje (seleccionadas y asignadas), que deben ser recorridas y registrados los tiempos de paso por los controles seleccionados, deben ser recorridas tres veces en cada dirección durante los períodos de hora pico y durante los períodos de menor flujo de tránsito.

### **8.5 Encuestas sobre las demoras en las intersecciones**

El objetivo de analizar el funcionamiento de una intersección es determinar la relación entre el volumen de tráfico (de ramas y el total) ingresando a la intersección y la demora promedio resultante (segundos/vehículo). Esto puede llevarse a cabo en un número limitado de empalmes o bifurcaciones a fin de proporcionar una base para calibrar la demora en las intersecciones para el nivel del tipo de empalme existente. En el Apéndice III del Manual de Capacidad de Calzada (página 9-105) se describe como proceder para observar y medir la demora en las intersecciones.

Las observaciones de dichas demoras pueden efectuarse mediante una cuadrilla de operadores que registren en el campo mediante un video (film) el flujo de tránsito en la intersección, posteriormente en gabinete se tabularán dichas demoras en base a lo observado, filmado y registrado.

### **8.6 Encuestas sobre tráfico generado**

Uno de los estudios necesarios para análisis de tránsito es el conocimiento de la potencial generación de viajes asociados con los distintos tipos de utilización de la tierra. De tal modo constituye una base, que también puede evaluarse la influencia del impacto del

tráfico sobre el uso potencial de la tierra.

El propósito de este tipo de encuestas radica en obtener información a fin de establecer la proporción de viajes (número de vehículos entrando y saliendo en un período de tiempo) asociada con variadas actividades relativas al uso de la tierra, dichos valores pueden usarse en el estudio de tránsito, para proyecciones futuras, así como también para evaluar el impacto del tráfico en lugares específicos. Los resultados de las encuestas proporcionan también una base de información relativa a la generación de tráfico de vehículos portadores de determinadas mercaderías y además permiten conocer la posible demanda de playas de estacionamiento; tal como la utilización de parqueos por hora, durante el día, tasa de beneficio, distribución - frecuencia del tiempo de ocupación, etc.

El planeamiento de una encuesta de tránsito generado involucra:

- (1) seleccionar un número de lugares específicos de distintas categorías del uso de la tierra,
- (2) obtener medidas de la intensidad de la actividad relacionada al uso de la tierra en el lugar, y
- (3) hacer conteos de tráfico (número de vehículos que entran y salen del lugar en un determinado período de tiempo).

Los sitios seleccionados deben contemplar usos de la tierra tales como:

- Areas residenciales con diversos tipos de viviendas

- Institutos educacionales (distintos niveles)
- Oficinas gubernamentales
- Industrias
- Areas comerciales con playas de estacionamiento
- Estaciones terminales de transporte, incluyendo aeropuertos, puertos, terminales de buses, camiones, etc.
- Hoteles
- Sitios religiosos (templos)
- Sitios de recreo (parques, cines, teatros, estadios deportivos, etc.)

Para seleccionar los lugares, el objetivo debe contemplar sitios accesibles (tráfico de vehículos), con un número limitado de entradas - salidas y que no tengan caminos que los crucen, de tráfico no generado por el lugar y que pasen a través del mismo. Dado que los conteos se realizan sobre todos los vehículos que entran y salen, a fin de seleccionar los lugares es muy ventajoso que el lugar tenga un número limitado de entradas y salidas.

Para la encuesta puede seleccionarse un número de lugares que respondan a distintas categorías de uso de la tierra. Para algunos tipos de áreas puede seleccionarse solamente un lugar adecuado para la encuesta.

El siguiente paso corresponde a obtener medidas del uso de la tierra, variable descrita en cada sitio de encuesta. Para este

fin cada lugar debe ser visitado y evaluado, ya sea mediante entrevistas u observaciones, que permitan valorizar la intensidad del uso de la tierra en ese lugar.

Para lugares residenciales (la producción de viajes se basa en los vehículos que salen o llegan al hogar), el uso de la tierra variará con la proporción de viajes, de acuerdo al número de residencias y a la categoría de las viviendas.

Para otros tipos de uso de tierra, la proporción de viajes generados podrá estar relacionada con el uso intrínseco de la tierra, ya sea como superficie de terreno, espacio construido, número de empleados, volumen de producción de mercadería, u otra posible magnitud vinculable con el uso de la tierra y su intensidad.

Finalmente los censos de tráfico se harán por el número de cada tipo de vehículo (auto privado, taxi, etc.) que entran y salen del lugar. El observador de tráfico registrará en un período de 15 minutos los conteos en las planillas de datos.

### 8.7 Encuestas domiciliarias

La información obtenida podrá usarse para los siguientes propósitos:

- Análisis del nivel de motorización. Determinar la relación de propiedad de un automotor y la disponibilidad característica de la familia, incluyendo los ingresos personales, el número de miembros de la familia y los empleados de la casa.
- Análisis de generación de viajes. La proporción de viajes generados por

personas trasladándose por medios de transporte con diferente propósito, podrá relacionarse con las características del grupo familiar, incluyendo el número de miembros, de empleados de la casa y de estudiantes, y la disponibilidad de un vehículo privado.

- Distribución de viajes. Mediante las entrevistas domiciliarias, se obtendrá información que proporcionará datos para la calibración de un modelo que permita predecir zona por zona, el origen y destino de los viajes de las personas, de acuerdo con el propósito de los mismos.
- Distribución modal. Se obtienen datos que permiten analizar y tabular la elección del modo de viajar y por lo tanto, se facilita el desarrollo y la calibración del modelo de distribución modal.

Los pasos claves para programar, organizar y llevar a cabo las encuestas domiciliarias incluyen las siguientes etapas:

- Determinar el universo de familias del cual la muestra será seleccionada. Mediante el estudio de mapas ilustrando el análisis de tránsito por zona, se pueden ubicar todas las familias existentes y el número de familias dentro de cada zona determinada.
- Luego se identificarán las familias seleccionadas para ser entrevistadas. Puede basarse en una muestra que corresponda a un 5% , en cuyo caso

después de seleccionar la primera familia a entrevistar, la siguiente será la familia vigésima y así sucesivamente.

- Generalmente al público se lo informará por radio, televisión y diarios, que anunciarán el comienzo de las entrevistas domiciliarias, a cada familia seleccionada se le adelantará el aviso de que un encuestador visitará su domicilio. Las familias a entrevistar serán informadas sobre las preguntas que les harán los censistas.
- Los encuestadores que llevarán a cabo las entrevistas, serán contratados y organizados y entrenados para efectuar la tarea.
- Se debe establecer el procedimiento a seguir para supervisar y controlar las encuestas.
- Las entrevistas deberán responder a un programa.
- Los supervisores de las encuestas verificarán regularmente el trabajo de los encuestadores, prestando especial atención a la corrección de cualquier error o falla que se detecte en la obtención de la información.
- Los resultados de las encuestas serán ingresados a un procesador de datos, a fin de verificar su consistencia y detectar cualquier error que se podría haber generado. Los resultados se organizan en cuatro tipos de registros: registros de familia (uno

por cada familia), registros de personas (uno por cada miembro de la familia), registro de vehículos (uno por cada vehículo propio o disponible para un miembro de la familia) y registros de viaje (uno por cada viaje hecho por un miembro de la familia mayor de 5 años).

- Factor de expansión calculado y aplicado a los resultados de la encuesta.
- El resultado de la encuesta expandido se comparará con otras informaciones de encuestas independientes, tales como censos de población, tamaño de las familias, disponibilidad de vehículos, etc. Se comparará también con conteos de tráfico obtenidos mediante la información disponible.

La reciente entrevista domiciliaria efectuada en el país sirve como guía para proporcionar el diseño de planillas para la recolección de datos específicos, las instrucciones para los entrevistadores y otros detalles relativos al planeamiento, organización y conducción de las encuestas domiciliarias ("Mejoramiento del sistema vial urbano en Tegucigalpa", conducido por la Alcaldía Municipal del Distrito Central, METRO PLAN, Rca. de Honduras, financiado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón, JICA).

### **8.8. Encuestas a los usuarios de transporte público**

En aquellos caminos en que el tránsito de buses es significativo, es frecuentemente útil llevar a cabo encuestas a los pasajeros de los buses. Dicha encuesta se efectuará donde:

- (1) el flujo de tránsito esté conformado por una importante parte de buses;
- (2) haya posibilidad de cambio en el origen o destino del viaje en bus;
- (3) se estime que se requiere generar un mejor tráfico de buses;
- (4) se está por desarrollar un modelo de generación modal.

Las encuestas se llevarán a cabo entrevistando a los pasajeros; si es posible en el bus o si no en la parada del bus. Las entrevistas en el bus proporcionarán mayor tiempo para ser completadas, que las efectuadas en las paradas o terminal del bus. El encuestador abordará al bus en un extremo del viaje (o área del proyecto) y continuará hasta el otro, llevando a cabo las entrevistas durante el viaje.

La información incluirá:

- origen y destino del viaje;
- maneras alternativas para efectuar ese viaje;
- tiempo de viaje y costo;
- frecuencia de viajes en esa ruta;
- razón del viaje; y

- razón de utilizar el bus, en lugar de otro vehículo o medio de transporte.

Proyectos individuales pueden requerir encuestas adicionales (por ejemplo: ¿Utilizaría usted el bus si el costo se duplicara?).

El número de pasajeros entrevistados dependerá del número total de pasajeros y de la disponibilidad de operadores para la encuesta. Si todos los pasajeros no pueden ser entrevistados, se efectuará la encuesta sobre una muestra (cada 3 personas, por ejemplo). Las entrevistas deben llevarse a cabo en el período en que el bus esté en servicio, siendo como mínimo de un día y recomendándose por lo menos 3 días si fuera posible.

Los datos recolectados pueden utilizarse para determinar un patrón de viaje, costos de viaje y deseos de viaje, los cuales serán utilizados para predecir el futuro tráfico de los buses. La información también resultará útil para determinar el itinerario óptimo del bus y su capacidad adecuada, especialmente en estudios suburbanos.

**SECRETARIA DE ESTADO EN LOS DESPACHOS DE  
COMUNICACIONES, OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE  
DIRRECCION GENERAL DE CAMINOS**

**HOJA DE INTENSIDAD**

ESTACION No. \_\_\_\_\_ CARRETERA: \_\_\_\_\_ Brigada N° \_\_\_\_\_  
 SEMANA No. \_\_\_\_\_ DEL \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ AL \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ 198 \_\_\_\_\_  
 CICLO No. \_\_\_\_\_ VAGON No. \_\_\_\_\_ APARATO No. \_\_\_\_\_

HORAS	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL
0 - 1								
1 - 2								
2 - 3								
3 - 4								
4 - 5								
5 - 6								
6 - 7								
7 - 8								
8 - 9								
9 - 10								
10 - 11								
11 - 12								
12 - 13								
13 - 14								
14 - 15								
15 - 16								
16 - 17								
17 - 18								
18 - 19								
19 - 20								
20 - 21								
21 - 22								
22 - 23								
23 - 24								
TOTAL								
PROMEDIO								

ENCARGADO: \_\_\_\_\_ REVISION: \_\_\_\_\_

NOTA: RECORDAMOS A LOS CONTADORES ANOTAR O EXPLICAR CUALQUIER SITUACION ANORMAL QUE PUDIERA AFECTAR EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DURANTE LOS DIAS DE CONTEO.

**CONTEO VOLUMETRICO ESTACION 1202**

Carretera: Tegucigalpa-San Pedro Sula

Tramo: Tegucigalpa-Comayagüa

HORA	MAQUINA								PROMEDIO DIA SEMANA MAQUINA	PROMEDIO DIA SEMANA CORREGIDO	PROMEDIO FIN SEMANA MAQUINA	PROMEDIO FIN SEMANA CORREGIDO	TPDA
	SAB 10/14/95	DOM 10/15/95	LUN 10/16/95	MAR 10/17/95	MIE 10/18/95	JUE 10/19/95	VIE 10/20/95	SAB 10/21/95					
00-01		15	10	11	16	16	8	19	12	12	17	16	13
01-02		5	10	4	21	16	9	10	12	11	7.5	7	10
02-03		4	14	17	14	13	9	20	13	13	12	11	12
03-04		0	12	10	5	7	16	16	10	10	8	8	9
04-05		0	29	24	56	43	40	39	38	37	19.5	19	31
05-06		0	141	89	74	96	125	100	105	100	50	48	85
06-07	174	0	244	211	183	203	202	180	209	199	118	112	174
07-08	225	0	268	243	226	215	267	214	244	232	146.33333	139	206
08-09	229	0	270	215	223	239	248	190	239	228	139.66667	133	201
09-10	190	36	250	254	230	200	250	218	237	226	148	141	202
10-11	198	174	206	222	226	195	235	224	217	207	198.66667	189	202
11-12	223	147	200	277	218	239	214		230	219	185	176	207
12-13	217	142	209	251	189	248	221		224	213	179.5	171	201
13-14	211	134	235	233	234	274	256		246	235	172.5	164	215
14-15	233	161	225	207	252	243	278		241	230	197	188	218
15-16	265	187	210	264	229	207	284		239	228	226	215	224
16-17	237	209	264	272	309	231	366		288	275	223	213	257
17-18	240	217	204	263	270	317	336		278	265	228.5	218	251
18-19	176	183	208	220	183	268	322		240	229	179.5	171	212
19-20	152	92	233	144	206	175	271		206	196	122	116	173
20-21	96	73	71	123	154	137	170		131	125	84.5	81	112
21-22	56	53	72	82	80	88	80		80	77	54.5	52	70
22-23	32	24	61	66	36	24	65		50	48	28	27	42
23-24	26	19	17	13	31	37	43		28	27	22.5	21	25
00-24	3180	1875	3663	3715	3665	3731	4315	1230	3817	3642	2767.16667	2636	3352

**FACTORES DE CORRECCION DEL TRAFICO**

por estacionalidad	1.2
% de motos	4.23%
por doble contabilidad	-20.77%
por error maquina	-3.82%
<b>Factor de Correccion</b>	<b>0.95</b>

**TRAFICO POR DIA DE SEMANA Y TRAMO DE CARRETERA**

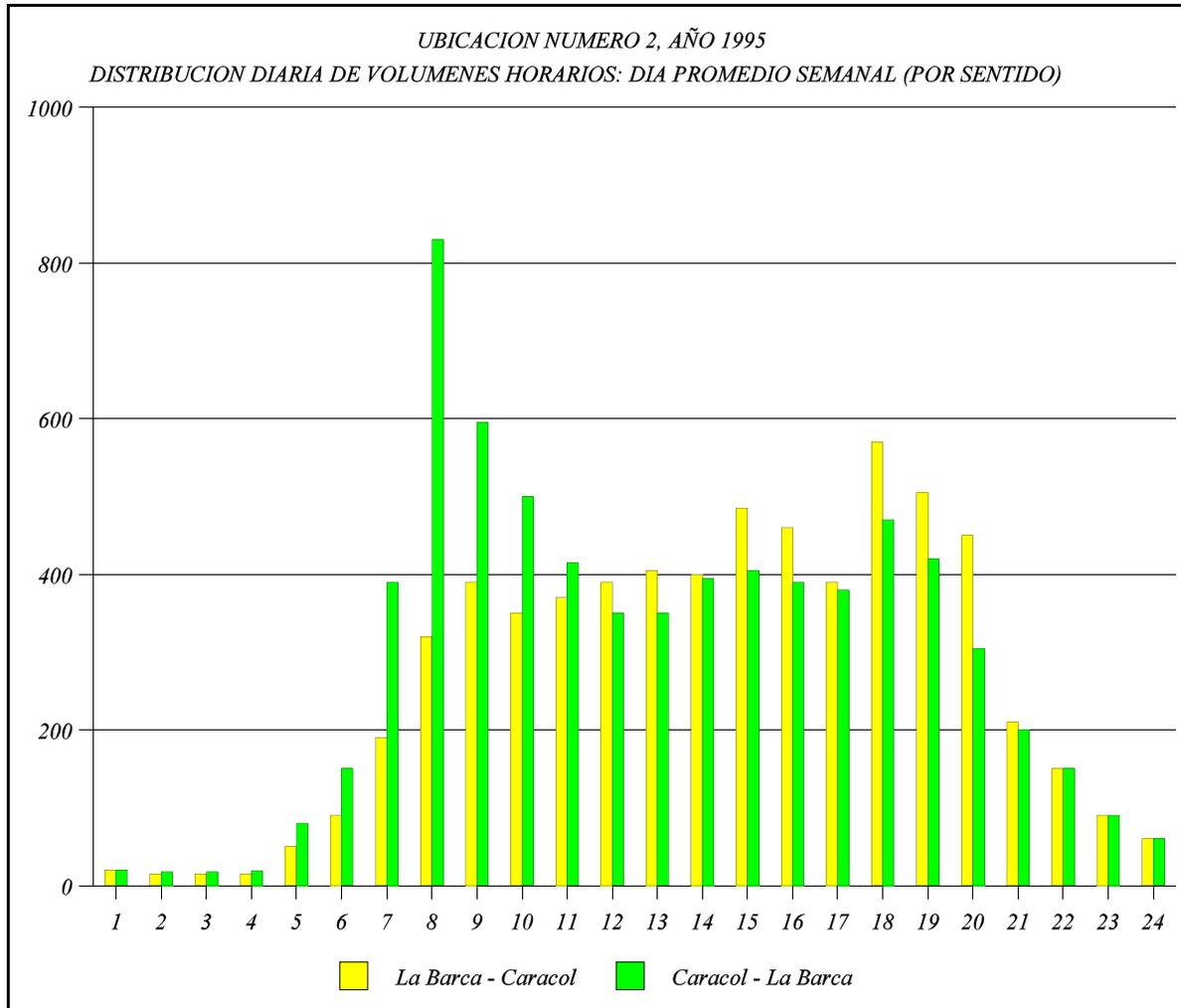
Tramo	Estación	TPDA	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo
Relación Día/Promedio de 7 días									
1	1202	3352	1.04	1.06	1.04	1.06	1.23	0.96	0.53
2	1211	3777	1	1.04	1.03	1.06	1.18	0.93	0.77
3	1205	3996	1.01	1.04	1.05	1.09	1.11	1.01	0.75
4	2400	1201	0.88	1	1.02	1.06	1.15	1.03	1.12
5	2406	950	0.85	0.99	0.98	1.05	1.09	0.96	1.08
Relación Día/Promedio de 5 Días									
1	1202	3639	0.96	0.97	0.96	0.98	1.13	0.89	0.49
2	1211	3990	0.94	0.98	0.97	1	1.12	0.88	0.72
3	1205	4175	0.95	0.98	0.99	1.03	1.05	0.96	0.71
4	2400	1186	0.86	0.98	1	1.04	1.12	1	1.09
5	2406	946	0.85	1	0.98	1.06	1.09	0.97	1.09

**VARIACION HORARIA DEL TRAFICO**

Tramo	Estación	TPDA	Encontrado			Usado		
			Pico Día	Valle Día	Noche	Pico Día	Valle Día	Noche
1	1202	3352	6.84%	6.05%	1.89%	683%	6.16%	1.84%
2	1211	377	6.81%	6.19%	1.83%			
3	1205	3996	6.83%	6.23%	1.80%			
4	2400	1201	7.22%	6.31%	1.57%	8.13%	6.41%	1.06%
5	2406	950	8.39%	6.39%	0.94%			
6	2403	870	8.78%	6.53%	0.68%			

TABLA 2

DISTRIBUCION HORARIA (DIA PROMEDIO) UBICACION 2, AÑO 1995					
HORA	DE LA SEMANA			DEL FIN DE SEMANA	TOTAL
	La Barca-Caracol	Caracol-La Barca	Total		
0 a 1	28	28	56	122	75
1 a 2	20	23	43	85	55
2 a 3	22	26	48	83	58
3 a 4	24	31	55	78	62
4 a 5	50	76	126	129	127
5 a 6	88	150	238	189	224
6 a 7	187	384	571	318	499
7 a 8	335	832	1167	586	1001
8 a 9	389	591	980	768	919
9 a 10	354	500	854	854	854
10 a 11	369	424	793	842	807
11 a 12	391	347	738	607	701
12 a 13	409	346	755	508	684
13 a 14	402	395	797	643	752
14 a 15	481	404	885	848	875
15 a 16	458	383	841	917	863
16 a 17	390	354	744	956	805
17 a 18	565	464	1029	912	995
18 a 19	507	432	939	777	892
19 a 20	344	305	649	528	614
20 a 21	216	200	416	348	396
21 a 22	150	144	294	243	280
22 a 23	88	88	176	184	178
23 a 24	56	56	112	104	109
<b>TOTAL</b>	<b>6323</b>	<b>6983</b>	<b>13306</b>	<b>11629</b>	<b>12825</b>



SECRETARIA DE ESTADO EN LOS DESPACHOS DE  
COMUNICACIONES, OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE  
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS

HOJA DE CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION \_\_\_\_\_ DEL \_\_\_\_\_ AL \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ SENTIDO \_\_\_\_\_  
SEMANA \_\_\_\_\_ DIA \_\_\_\_\_ MES \_\_\_\_\_ AÑO \_\_\_\_\_  
CICLO \_\_\_\_\_

HORA	AL B	Vehículo de Pasajeros				VEHICULOS DE CARGA													Eq Pesado		Otros	T.V.L.	T.V.P.	C.T.
		Auto	Cam.	Bus	Total	C.C.	PESADOS										Total	V.A.	V.C.					
							Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7	Tipo 8	Tipo 9	Tipo10				Total				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0-1																								
1-2																								
2-3																								
3-4																								
4-5																								
5-6																								
6-7																								
7-8																								
8-9																								
9-10																								
11-12																								
12-1																								
1-2																								
2-3																								
3-4																								
4-5																								
5-6																								
6-7																								
7-8																								
8-9																								
9-10																								
11-12																								
Total																								
Total																								

CLAVE PARA EL CALCULO

<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>6</td></tr><tr><td>18</td></tr><tr><td>19</td></tr><tr><td>23</td></tr></table>	6	18	19	23	=	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>3</td></tr><tr><td>&gt;</td></tr><tr><td>7</td></tr><tr><td>3</td></tr></table>	3	>	7	3	+	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>4</td></tr><tr><td>8</td></tr><tr><td>18</td></tr><tr><td>7</td></tr></table>	4	8	18	7	+	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>5</td></tr><tr><td>17</td></tr></table>	5	17
6																				
18																				
19																				
23																				
3																				
>																				
7																				
3																				
4																				
8																				
18																				
7																				
5																				
17																				

<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>25</td></tr><tr><td>24</td></tr></table>	25	24	=	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>2</td></tr><tr><td>4</td></tr></table>	2	4	+	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>22</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	22	5	+	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>23</td></tr><tr><td>18</td></tr></table>	23	18	+	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>24</td></tr><tr><td>20</td></tr></table>	24	20	+	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"><tr><td>21</td></tr></table>	21
25																					
24																					
2																					
4																					
22																					
5																					
23																					
18																					
24																					
20																					
21																					

Abreviaturas Usadas: C.C. - Camiones de Carga    V.C. - Vehículos de Construcción    T.V.P. - Total de Vehículos Pesados    M. - Motos    Aut. - Autos  
V.A. - Vehículos Agrícolas    T.V.L. - Total de Vehículos Livianos    C.T. - Carga Total    B. - Bicicletas    Cam. - Camionetas

CONTEO CLASIFICADO ESTACION 1202  
Martes 17/10/95

HORA	TEGUCIGALPA - COMAYAGUA															VEHICULO AGRICOLA	OTROS	TOTAL						
	PASAJEROS					CARGA																		
	MOTO	AUTO	CAMIONETA	BUS	TOTAL	CAMIONETA	C2	C3	T2S1	T2S2	T3S1	T3S2	C2R2	C3R1	C3R2				T3S3	TOTAL				
00 - 01								2								1				3			3	
01 - 02																								
02 - 03							1	3								1				5	1		6	
03 - 04							2	1								1				4			4	
04 - 05		1	1		2			2											2				4	
05 - 06		3	2	3	8		4	8								4			1	17			25	
06 - 07	2	6	5	8	21		11	9	3						9				32	2	1	56		
07 - 08	10	18	9	7	44		19	8	1	2					7				37			81		
08 - 09	4	31	8	9	52		22	10							1	1			35			87		
09 - 10	2	29	15	8	54		28	14	1						6				49			103		
10 - 11	2	20	14	12	48		16	8							9				34		1	82		
11 - 12	5	26	13	9	53		24	13	2						19				58	1		112		
12 - 13	18	31	6	8	63		23	8	3						9				43		1	107		
13 - 14	5	22	20	10	57		19	8	1						15			2	45		1	103		
14 - 15	1	30	9	7	47		19	9	1						8				37	1		85		
15 - 16	6	19	14	10	49		28	11	2	1					1				43			92		
16 - 17	3	27	14	6	50		19	12	1	1					5				38		1	89		
17 - 18	5	27	19	9	60		31	8	2						9			1	51			111		
18 - 19	2	31	17	6	56		21	11							9				41			97		
19 - 20		18	22	2	42		23	6							8				37			79		
20 - 21		17	9	4	30		19	6							5				30			60		
21 - 22		5	9	5	19		9	11							6				26			45		
22 - 23		2	1	5	8		6	2							1				9			17		
23 - 24		1	4		5		3	2	2						1				8			13		
00 - 24	65	364	211	128	768		347	172	19	4					135	1			684	5	4	1461		
HORA	COMAYAGUA - TEGUCIGALPA															VEHICULO AGRICOLA	OTROS	TOTAL						
	PASAJEROS					CARGA																		
	MOTO	AUTO	CAMIONETA	BUS	TOTAL	CAMIONETA	C2	C3	T2S1	T2S2	T3S1	T3S2	C2R2	C3R1	C3R2				T3S3	TOTAL				
00 - 01						2		1	1										4			4		
01 - 02		1			1			2											2			3		
02 - 03								2											3			3		
03 - 04								1	1										2			2		
04 - 05		4	2	1	7	3	3								1				7			14		
05 - 06	1	7	8	7	23	4	6	3							2				16		1	40		
06 - 07	11	23	10	12	56	18	6	1							13				38			94		
07 - 08	12	43	29	12	96	31	5	2							3				41	1		138		
08 - 09	5	50	20	6	81	21	3	2							3				30			111		
09 - 10	5	29	18	9	61	21	7	1							10				39		1	101		
10 - 11	2	19	16	8	45	33	11	2							6				53	1	1	100		
11 - 12	1	26	12	11	50	18	5	4							12				39			89		
12 - 13	5	22	12	12	51	27	10								9				49			100		
13 - 14	2	24	10	7	43	19	17	1							6				43			86		
14 - 15	1	21	10	8	40	24	7	3	2						5				41	1		82		
15 - 16	7	42	18	9	76	27	36	2							5				70	1	1	148		
16 - 17	5	24	20	9	58	20									18				38			96		
17 - 18	2	24	18	10	54	24	6								8				38			92		
18 - 19	1	21	12	5	39	12	8	1	1						9				31			70		
19 - 20		14	7	1	22	5	3	2							6				16			38		
20 - 21		6	3	1	10	12	3	1							8				24			34		
21 - 22		2	5	8	15	6	8								1				15			30		
22 - 23		3	4		7	2	2								7				11			18		
23 - 24			2		2																	2		
00 - 24	60	405	236	136	837	329	152	27	3						133				650	4	4	1495		

HORA	TOTAL																			VEHICULO AGRICOLA	OTROS	TOTAL
	PASAJEROS					CARGA																
	MOTO	AUTO	CAMIONETA	BUS	TOTAL	CAMIONETA	C2	C3	T2S1	T2S2	T3S1	T3S2	C2R2	C3R1	C3R2	T3S3	TOTAL					
00 - 01					2	3	1				1						7		7			
01 - 02		1			1	2											2		3			
02 - 03					1	5					2						8	1	9			
03 - 04					2	2	1				1						6		6			
04 - 05		5	3	1	9	3	5				1						9		18			
05 - 06	1	10	10	10	31	8	14	3			6			1	1		33	1	65			
06 - 07	13	29	15	20	77	29	15	4			22						70	2	150			
07 - 08	22	61	38	19	140	50	13	3	2		10						78	1	219			
08 - 09	9	81	28	15	133	43	13	2			4	1		1	1		65		198			
09 - 10	7	58	33	17	115	49	21	2			16						88	1	204			
10 - 11	4	39	30	20	93	49	19	2			15			1	1		87	1	182			
11 - 12	6	52	25	20	103	42	18	6			31						97	1	201			
12 - 13	23	53	18	20	114	50	18	3			18				3		92	1	207			
13 - 14	7	46	30	17	100	38	25	2			21			2			88	1	189			
14 - 15	2	51	19	15	87	43	16	4	2		13						78	2	167			
15 - 16	13	61	32	19	125	55	47	4	1		6						113	1	240			
16 - 17	8	51	34	15	108	39	12	1	1		23						76	1	185			
17 - 18	7	51	37	19	114	55	14	2			17			1			89		203			
18 - 19	3	52	29	11	95	33	19	1	1		18						72		167			
19 - 20		32	29	3	64	28	9	2			14						53		117			
20 - 21		23	12	5	40	31	9	1			13						54		94			
21 - 22		7	14	13	34	15	19				7						41		75			
22 - 23		5	5	5	15	8	4				8						20		35			
23 - 24		1	6		7	3	2	2			1						8		15			
00 - 24	125	769	447	264	1605	676	324	46	7		268	1		6	6	1334	9	8	2956			

COMPOSICION VEHICULAR DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO  
( en base al conteo clasificado realizado el Martes 17/10/95)

	PASAJEROS					CARGA													VEHICULO AGRICOLA	
	MOTO	AUTO	CAMIONETA	BUS	TOTAL	CAMIONETA	C2	C3	T2S1	T2S2	T3S1	T3S2	C2R2	C3R1	C3R2	T3S3	TOTAL			
TEGUCIGALPA -COMAYAGUA	65	364	211	128	768	347	172	19	4				135	1		3	3	684	5	
COMAYAGUA-TEGUCIGALPA	60	405	236	136	837	329	152	27	3				133			3	3	650	4	
TOTAL	125	769	447	264	1.605	676	324	46	7				268	1		6	6	1.334	9	

COMPOSICION VEHICULAR PORCENTUAL DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO

TEGUCIGALPA -COMAYAGUA	4.45	24.91	14.44	8.76	52.57	23.75	11.77	1.30	0.27				9.24	0.07		0.21	0.21	46.82	0.34
COMAYAGUA-TEGUCIGALPA	4.01	27.09	15.79	9.10	55.99	22.01	10.17	1.81	0.20				8.90			0.20	0.20	43.48	0.27
TOTAL	4.23	26.01	15.12	8.93	54.30	22.87	10.96	1.56	0.24				9.07	0.03		0.20	0.20	45.13	0.30

UBIC:  
FECHA:

SENTIDO	TOTALES					PORCENTAJE				
	M	A	B	C	TOTAL	M	A	B	C	TOTAL
ES	16	34	8	15	73	21.92	46.58	10.96	20.35	100
EW	22	529	105	108	764	2.88	69.2	13.74	14.14	100
TOTAL E	38	563	113	123	837	4.54	67.26	13.5	14.7	100
SW	9	41	10	14	74	12.16	55.41	13.51	18.92	100
SE	14	44	8	8	74	18.92	59.46	10.81	10.81	100
TOTAL S	23	85	18	22	148	15.54	57.43	12.16	14.86	100
WE	24	583	117	111	835	2.87	69.82	14.01	13.29	100
WS	9	41	9	24	83	10.84	49.4	10.84	28.92	100
TOTAL W	33	624	126	135	918	3.59	67.97	13.73	14.71	100
GRAN TOTAL	94	1272	257	280	1903	4.94	66.84	13.5	14.71	100

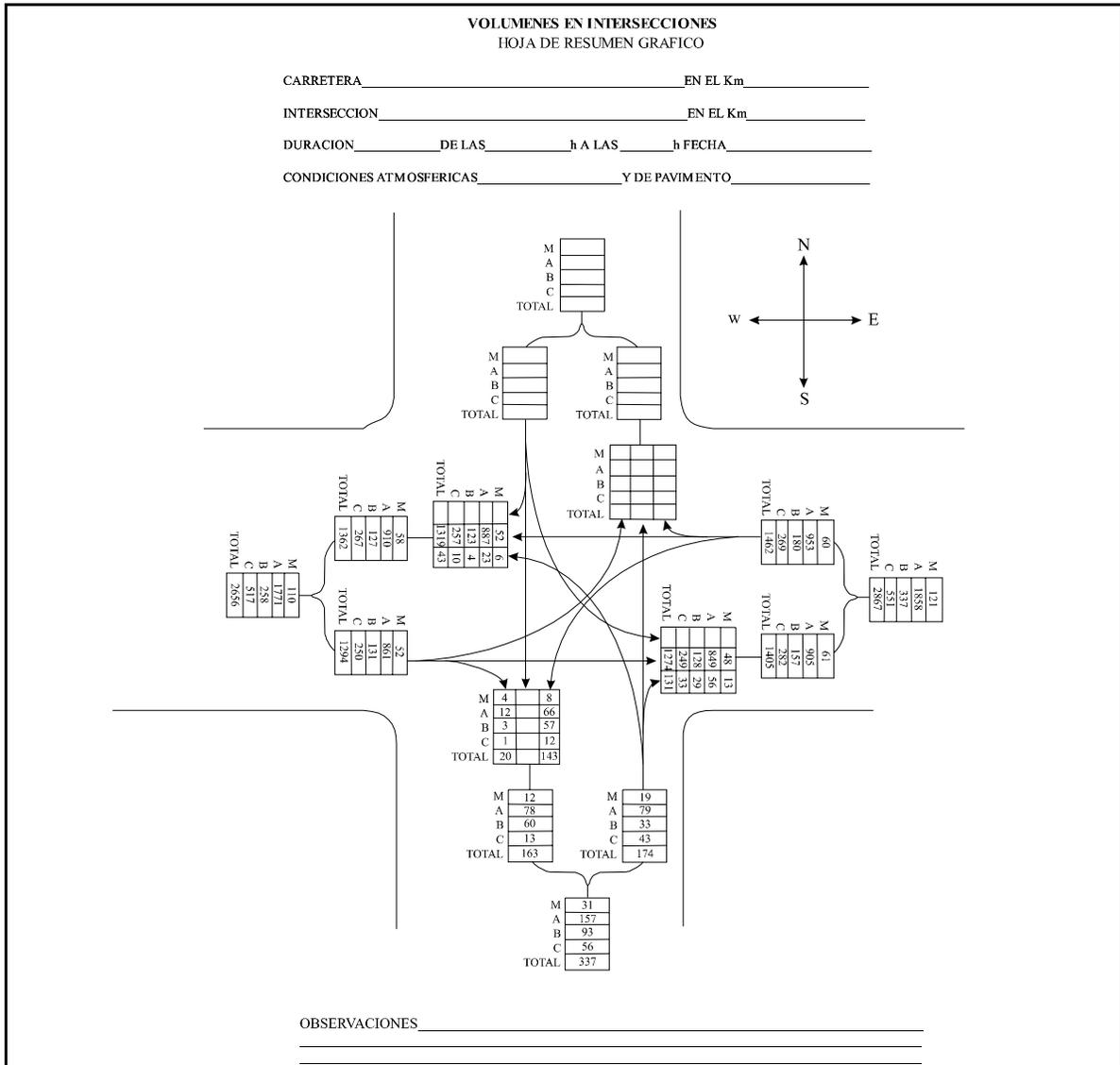
UBIC:  
FECHA:

SENTIDO	TOTALES					PORCENTAJE				
	M	A	B	C	TOTAL	M	A	B	C	TOTAL
ES	8	66	57	12	143	5.59	46.15	39.8	8.39	100
EW	52	887	123	257	1319	3.94	67.25	9.33	19.48	100
TOTAL E	60	953	180	269	1462	4.1	65.18	12.31	18.4	100
SW	6	23	4	10	43	13.95	53.49	9.3	20.26	100
SE	13	56	29	33	131	9.92	42.75	22.14	25.19	100
TOTAL S	19	79	33	43	174	10.92	45.4	18.97	24.71	100
WE	48	849	128	249	1274	3.77	66.64	10.05	19.54	100
WS	4	12	3	1	20	20	60	15	5	100
TOTAL W	52	861	131	250	1294	4.02	66.54	10.12	19.32	100
GRAN TOTAL	131	1893	344	562	2930	4.47	64.61	11.74	19.18	100

UBICACION:

FECHA:

HORA	ES	EW	SW	SE	WE	WS	TOTAL
05:30	5	12		5	13		35
06:00	1	13	2	5	25		46
06:30	1	16	1	3	24		45
07:00	3	29	1	4	26	2	65
07:30	2	54		5	15	1	77
08:00	7	43	3	1	32	2	88
08:30	5	42		6	36		89
09:00	3	39	2	3	28		75
09:30	5	44	2	7	26		84
10:00	3	60	3	12	44		122
10:30	4	61	2	4	32		103
11:00	6	53	2	5	41		107
11:30	2	48	1	4	38		93
12:00	3	45	2	3	44		97
SUB TOTAL	50	559	21	67	424	5	1126
12:30	6	49	3	2	47	3	110
13:00	1	68	5	3	52		129
13:30	3	28	2	1	49		83
14:00	5	42	1	2	27		77
14:30	3	61	1	2	40		107
15:00	6	42		1	68		117
15:30	7	47	2	7	64		127
16:00	8	37		5	61		111
16:30	18	48		2	48		116
17:00	6	46		3	51		106
17:30	2	41	4	4	61	1	113
18:00	5	36	2	6	63		112
18:30	7	51		1	39	2	100
19:00	6	42	1	6	49		104
19:30	5	41		5	37	4	92
20:00	3	33	1	6	36	2	81
20:30	2	24		4	26	2	58
21:00		24		4	32	1	61
SUB TOTAL	93	760	22	64	850	15	1804
GRAN TOTAL	143	1319	43	131	1274	20	2930



ENCUESTA DE ORIGEN Y DESTINO																		
1 TARJETA TIPO <input type="checkbox"/>	ENTREVISTADOR <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	CUESTIONARIO N° <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																
2 FECHA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	DIA DE SEMANA <input type="checkbox"/>	ESTACION <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																
3 HORA _____ SENTIDO DE TRAFICO DE _____	<b>RESERVADO PARA LA OFICINA</b>																	
4 ORIGEN DE DESTINO _____	HORA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	17 18																
5 DESTINO DEL VIAJE _____	SENTIDO <input type="checkbox"/>	19																
6 MOTIVO DEL VIAJE	ORIGEN <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	21 22 23																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">1 Trabajo Diario Industrial <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 50%;">6 Compras <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2 Trabajo Diario Público <input type="checkbox"/></td> <td>7 Negocios <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3 Trabajo Diario Privado <input type="checkbox"/></td> <td>8 Paseo <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4 Trabajo Ocasional <input type="checkbox"/></td> <td>9 Otros <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>5 Educación <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>	1 Trabajo Diario Industrial <input type="checkbox"/>	6 Compras <input type="checkbox"/>	2 Trabajo Diario Público <input type="checkbox"/>	7 Negocios <input type="checkbox"/>	3 Trabajo Diario Privado <input type="checkbox"/>	8 Paseo <input type="checkbox"/>	4 Trabajo Ocasional <input type="checkbox"/>	9 Otros <input type="checkbox"/>	5 Educación <input type="checkbox"/>		DESTINO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	25 26 27						
1 Trabajo Diario Industrial <input type="checkbox"/>	6 Compras <input type="checkbox"/>																	
2 Trabajo Diario Público <input type="checkbox"/>	7 Negocios <input type="checkbox"/>																	
3 Trabajo Diario Privado <input type="checkbox"/>	8 Paseo <input type="checkbox"/>																	
4 Trabajo Ocasional <input type="checkbox"/>	9 Otros <input type="checkbox"/>																	
5 Educación <input type="checkbox"/>																		
7 USO DEL VEHICULO	MOTIVO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	29 30 31 32 33																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">1 Particular <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 50%;">3 Gobierno <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2 Alquiler <input type="checkbox"/></td> <td>4 Otro <input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1 Particular <input type="checkbox"/>	3 Gobierno <input type="checkbox"/>	2 Alquiler <input type="checkbox"/>	4 Otro <input type="checkbox"/>	PROPIEDAD <input type="checkbox"/>	34 35 36 37												
1 Particular <input type="checkbox"/>	3 Gobierno <input type="checkbox"/>																	
2 Alquiler <input type="checkbox"/>	4 Otro <input type="checkbox"/>																	
8 TIPO DE VEHICULO	TIPO <input type="checkbox"/>	38																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">1 Vehículos Livianos</td> <td style="width: 40%;">1 Común</td> </tr> <tr> <td>2 Colectivo</td> <td>2 Tanquero</td> </tr> <tr> <td>3 Bus</td> <td>3 Volqueta</td> </tr> <tr> <td>4 Camión Pequeño</td> <td>4 Otros</td> </tr> <tr> <td>5 Camión Liviano</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 Camión Pesado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7 Semi - Remolque</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8 Remolque</td> <td></td> </tr> </table>	1 Vehículos Livianos	1 Común	2 Colectivo	2 Tanquero	3 Bus	3 Volqueta	4 Camión Pequeño	4 Otros	5 Camión Liviano		6 Camión Pesado		7 Semi - Remolque		8 Remolque		CLASE <input type="checkbox"/>	39
1 Vehículos Livianos	1 Común																	
2 Colectivo	2 Tanquero																	
3 Bus	3 Volqueta																	
4 Camión Pequeño	4 Otros																	
5 Camión Liviano																		
6 Camión Pesado																		
7 Semi - Remolque																		
8 Remolque																		
9 NUMERO DE EJES (Solo para camiones) _____	EJES <input type="checkbox"/>	40																
10 COMBUSTIBLE	COMBUSTIBLE <input type="checkbox"/>	41																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">1 Gasolina <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>2 Diesel <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table>	1 Gasolina <input type="checkbox"/>		2 Diesel <input type="checkbox"/>		PASAJEROS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	42 43												
1 Gasolina <input type="checkbox"/>																		
2 Diesel <input type="checkbox"/>																		
11 NUMERO DE PASAJEROS EN EL VEHICULO (incluso chofer) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	CARGA <input type="checkbox"/>	43																
12 CARGA ESTIMADA	MERCADERIA <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	44 45 46 47																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">1 Lleno <input type="checkbox"/></td> <td style="width: 50%;">3 Casi Vacío <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2 1/2 Lleno <input type="checkbox"/></td> <td>4 Vacío <input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1 Lleno <input type="checkbox"/>	3 Casi Vacío <input type="checkbox"/>	2 1/2 Lleno <input type="checkbox"/>	4 Vacío <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	48 49 50 51												
1 Lleno <input type="checkbox"/>	3 Casi Vacío <input type="checkbox"/>																	
2 1/2 Lleno <input type="checkbox"/>	4 Vacío <input type="checkbox"/>																	
13 PRINCIPALES PRODUCTOS TRANSPORTADOS	PESO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	52 53 54 55																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">MERCADERIA</th> <th style="width: 33%;">PESO (QUINTALES)</th> <th style="width: 33%;">CANTIDAD Y UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	MERCADERIA	PESO (QUINTALES)	CANTIDAD Y UNIDAD													<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	56 57 58 59	
MERCADERIA	PESO (QUINTALES)	CANTIDAD Y UNIDAD																
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	60 61 62 63																

CENSO DE ORIGEN Y DESTINO

CENSISTA \_\_\_\_\_

PUESTO LUGAR \_\_\_\_\_

Proyecto			Mes			Año		
72	73	74	75	76	77	78	79	80

1 - 8								9 - 18										19 - 28										29 - 31			32 - 37				38 - 40			41 - 43													
Puesto	Día	Hora	Dirección	Tipo de Vehículo	Nº de Ejes de la Unidad Tractora	Nº de Ejes de la Unidad Remolcada	Modelo Año	Marca del Vehículo	Nº de Asientos	Ocupantes Includo del Conductor	Origen - Ciudad o Pueblo	Destino - Ciudad o Pueblo	Motivos	Tara Includo Acoplado en Ton. 00/0	Capacidad de Carga Máxima Includo Acoplado en Ton.00/0	Tipo de Carga y Forma	Peso de la Carga que lleva en Ton.00/0																																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43									



## **CAPÍTULO III**

# **SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN**

### **SEÑALAMIENTO**

#### **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo económico - social de la República de Honduras en los últimos años, ha creado un incremento significativo del tránsito vehicular tanto en ciudades y carreteras existentes como en las vías de vinculación interna e internacional construídas últimamente.

Con el propósito de ofrecer al usuario del sistema de transporte una información adecuada y condiciones de seguridad compatibles con los volúmenes de tránsito, el país ha determinado la necesidad de desarrollar y adoptar un Manual Técnico, cuyas normas de señalización respondan a la política sustentada en numerosos Congresos Internacionales referente a la unificación de los dispositivos para control del tránsito en las ciudades y carreteras.

El diseño de señales es hoy una disciplina en desarrollo acorde con el vertiginoso crecimiento del parque automotor en todo el mundo.

En lo referente a los códigos visuales para el tránsito, desde el proyecto de la Convención de Ginebra de 1949 y el Congreso Internacional de Washington en 1961, el desarrollo de una información metódica de los signos se va imponiendo gradual y paulativamente

Al encarar el tema de señalización, se realizó primeramente una profunda investigación del estado en que se encontraba éste en Honduras, tanto desde el punto de vista del análisis de la señalización existente como de la normativa empleada, evaluándose en conjunto con las autoridades de la SECOPT y profesionales locales involucrados con el tema, la conveniencia de adoptar como marco de referencia el Manual Interamericano de Dispositivos para el Control del tránsito en calles y carreteras- Segunda Edición- aprobado en el XXI Congreso Panamericano de Carreteras, Montevideo, Uruguay en Mayo de 1991 como la espina dorsal para el Manual de Honduras, y adecuarlo a la realidad del país, complementando sus normas en los casos necesarios, las que se incluyen en el presente Capítulo, partiendo de la base que el Manual Interamericano es el mejor instrumento ordenador.

#### **OBJETIVO**

El objetivo principal del Capítulo Señalización es como se indicó complementar y adecuar las normas del Manual Interamericano a fin de establecer los criterios de diseño y métodos constructivos que garanticen el éxito de la señalización en la República de Honduras, reduciendo el número de accidentes e incrementando la seguridad y comodidad de los usuarios por medio de señales y marcas visuales.

## CRITERIOS RECTORES DEL SISTEMA

### Separación de las partes signo y leyenda

Es uno de los aspectos que más importancia se le dió en el comienzo del desarrollo. Se optó por una de las propuestas del Manual Interamericano, la de separar el signo de la leyenda. De esta forma se valoriza más el signo como dato fundamental del mensaje, la intención es también de producir un sistema de elementos que permitiera brindar en un futuro la posibilidad de ir eliminando gradualmente las leyendas para llegar finalmente al código sígnico puro.

### Formas

El sistema adoptado valoriza las formas geométricas en las cuales se circunscriben los signos:

*Círculo:* para señales de reglamentación.

*Cuadrado apoyado en el vértice:* para señales de prevención.

*Cuadrado apoyado en un lado:* para señales de información.

*Triángulo apoyado en el vértice y octógono:* para las señales especiales de Ceda el paso y Alto.

### Estudio integral de pictogramas

Se definieron geoméricamente los signos del Manual Interamericano procurando conectarlos con la imagen mental que el observador tiene del mensaje a fin que la comunicación se pueda transmitir con la

mayor economía de espacio y de tiempo.

En la señal de reglamentación de no girar a la izquierda, se modificó la imagen que dicta el Manual Interamericano en donde se sostiene que la diagonal que denota la prohibición debe atravesar el campo de la señal a 45° y siempre desde el ángulo superior izquierdo al inferior derecho. En el caso particular de esta señal, la diagonal cubre el cuerpo y la punta de la flecha en tal forma que atente gravemente contra su lectura, y obliga a torturar al trazado de la flecha para posibilitar su rápido reconocimiento.

Las falencias de forma son tantas y tan obvias que no se tuvo duda alguna en invertir la posición de la diagonal ya que ello no implica por otra parte destruir la unidad de la norma.

Las flechas - símbolos de significaciones universalmente conocidas y comprensibles-, fueron normalizadas y sistematizadas debido a que son elementos claves de la identificación visual de la sígnica del tránsito. Se adoptó una flecha para las señales de reglamentación y prevención y otra para las señales informativas debido a que las exigencias simbólico - semánticas de unas y otras obligó a buscar distintas figuras. En el primer caso son frecuentes los mensajes que requieren flechas con el cuerpo curva, por lo que se adopta en estos casos la flecha con punta acorazonada a 60° .

En cambio la flecha de punta recta a 90° con sus extremos paralelos al cuerpo se adopta para las señales de información porque la forma es propicia para indicar los desvíos del camino a 45° de la ruta por la cual circula el observador, puesto que permite apoyar ambos lados de la punta de la flecha sobre las

márgenes de la caja tipográfica, manteniéndose el cuerpo en diagonal a 45°.

## **ADECUACIONES Y/O MODIFICACIONES INTRODUCIDAS AL MANUAL INTERAMERICANO**

### **SEÑALIZACIÓN VERTICAL**

A efecto de tener una rápida ubicación y conexión con el Manual Interamericano se adopta idéntica numeración de capítulos del mismo, haciendo referencia a ellos y al número de página en que se encuentra la señal o concepto al cual se realizan las adecuaciones y/o modificaciones respectivas.

#### **2.2 - SEÑALES DE REGLAMENTACIÓN**

##### **2.2.3 Altura** (pág. 19 M. Interam.)

Zona urbana: En caso de haber más de una señal en un poste se tomará siempre un espacio libre de 2 metros entre acera y borde inferior de la señal.

##### **2.2.8 Dimensiones** (pág. 21 M. Interam.)

Las dimensiones para señales circulares serán:

Zona urbana: Diámetro hasta el borde exterior 0.60 metros

Ancho de orla 0.07 metros

Ancho de diagonal 0.05 metros

Zona rural: Diámetro hasta el diámetro exterior 0.75 metros

Ancho de orla 0.07 metros

Ancho de diagonal 0.05 metros

##### **2.2.10.1 Señal de "Alto"** (R-1) (pág. 21 M. Interam.)

Las dimensiones serán de 0.31 metros de

cada lado o sea una distancia de 0.75 metros entre lados paralelos.

##### **2.2.10.2 Señal de "CEDA EL PASO"** (R-2) (pág. 22 M. Interam.)

Las dimensiones serán para el triángulo de 0.80 metros de lado.

La orla roja tendrá 0.10 metros de ancho

Siempre llevará la leyenda inscripta en el triángulo

##### **2.2.11.1 Señal de "PROHIBIDO SEGUIR ADELANTE" o "DIRECCIÓN PROHIBIDA"**

(R-3) (pág. 25 M. Interam.)

Llevará placa adicional debajo de la señal con la inscripción "NO AVANZAR"

##### **2.2.11.2 Señal de "PROHIBIDO GIRAR A LA IZQUIERDA"** (R-4a) (pág. 25 M. Interam.)

En esta única señal como caso excepcional se invertirá la posición de la diagonal colocando la misma a 45° desde el ángulo superior derecho al inferior izquierdo.

##### **2.2.11.5 Señal de "ESTACIONAMIENTO REGLAMENTADO"**(R-6b) (pág.25 M. Interam.)

Se utilizará con la letra "E"

##### **2.2.11.6 Señal de "PROHIBICIÓN DE ESTACIONAMIENTO Y DETENCIÓN"**(R-6c) (pág. 26 M. Interam.)

Se utilizará con la letra "E"

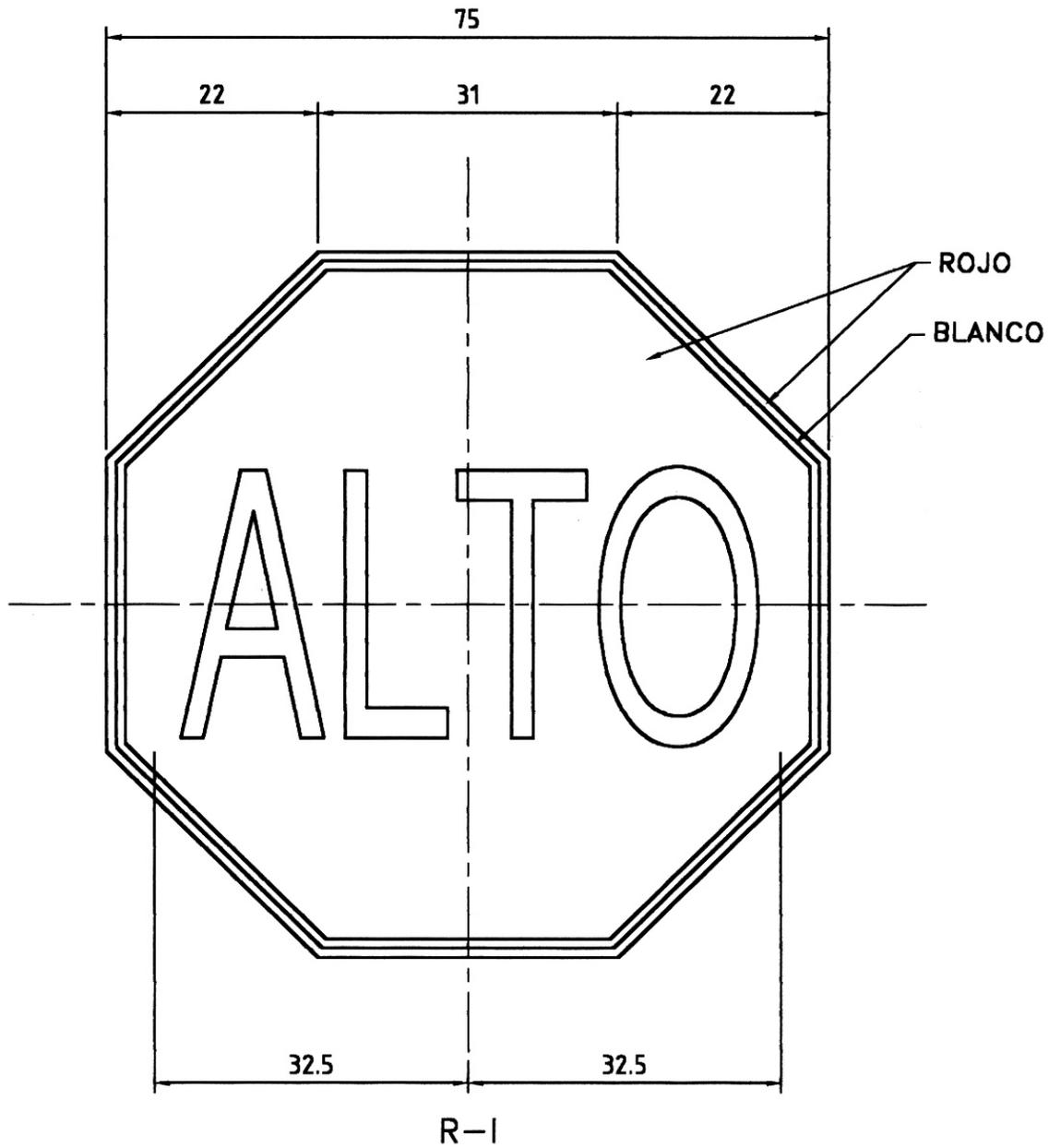
##### **2.2.14.2 Señal de "INSPECCIÓN OFICIAL"** (R-21) (pág. 29 M. Interam.)

Se agregará placa adicional que contenga la palabra "INSPECCIÓN" o "ADUANA"

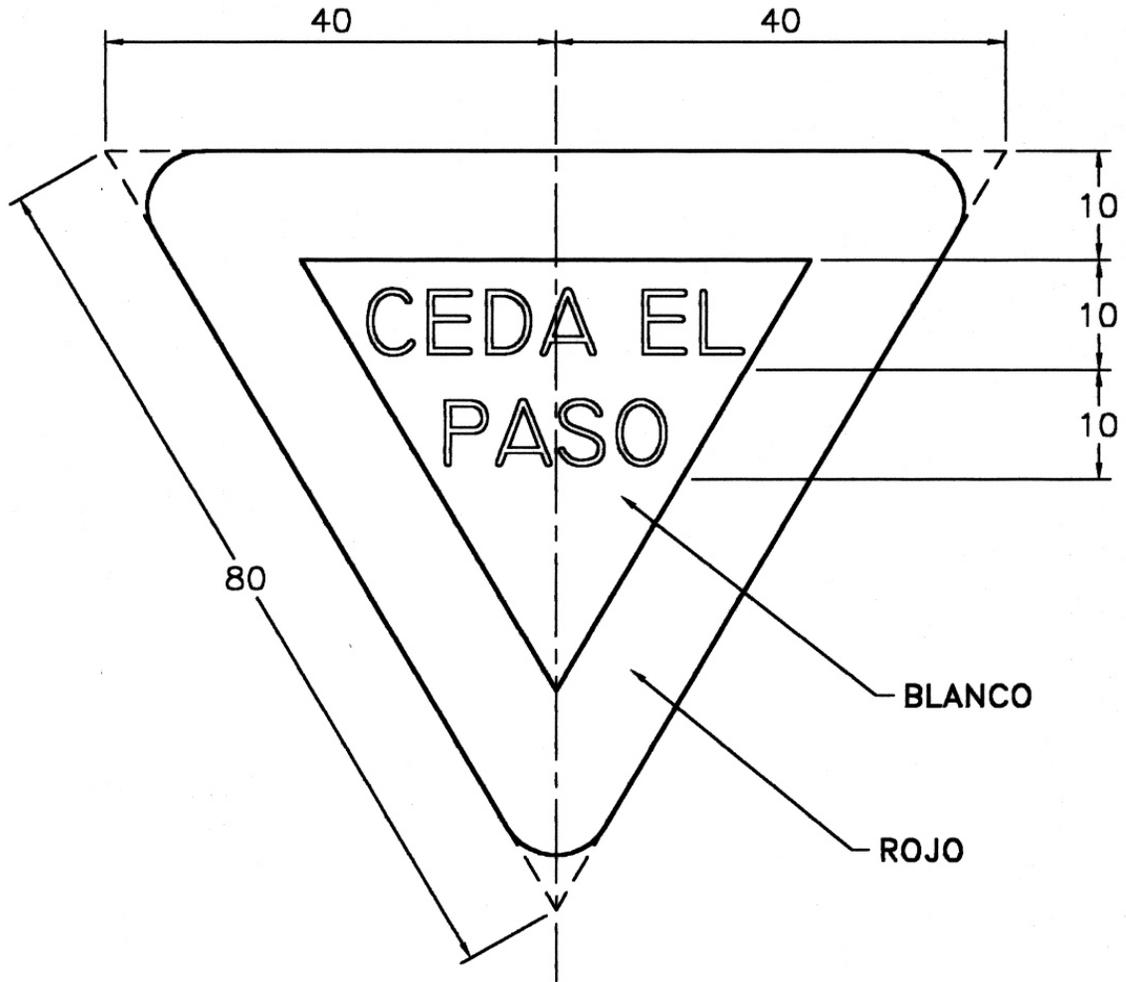
### ESPECIFICACIONES SEÑALES DE REGLAMENTACIÓN

#### Señal de "ALTO" (R-1)

La señal de "Alto" consiste en un octógono de 75cm entre lados paralelos y 31 cm de lado.



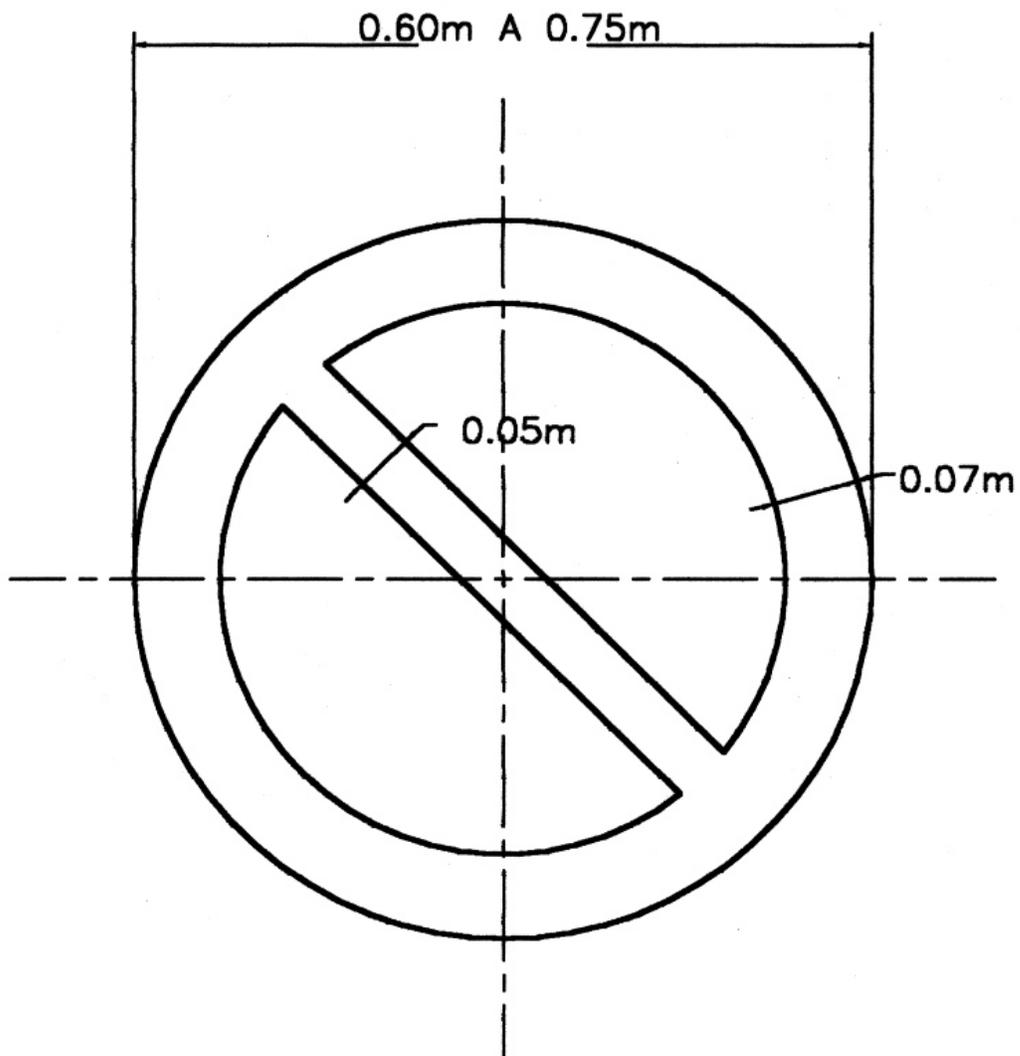
Señal de "CEDA EL PASO" (R-2)



R-2

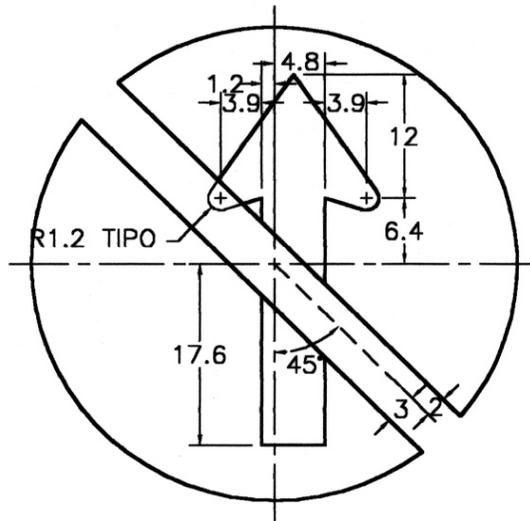
### Señales R3 a R30

Las señales de reglamentación R3 a R30 serán circulares con diámetro de placa de 0.60 metros para zona urbana y 0.75m para zona rural. Ancho de orla 0.07 metros. Diagonal a 45° con ancho de 0.05 metros.

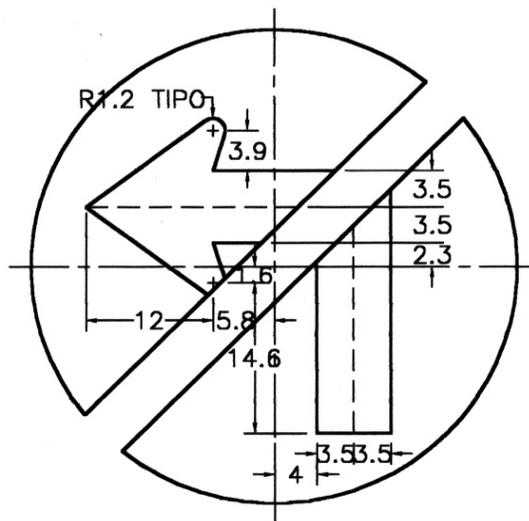


### DIMENSIONES DE LOS SÍMBOLOS

Las dimensiones para pintar los símbolos de las señales se muestran a continuación. Los símbolos de forma rectilínea tienen sus dimensiones en centímetros y los de forma irregular están basados en el sistema de cuadrícula de 2 cm.

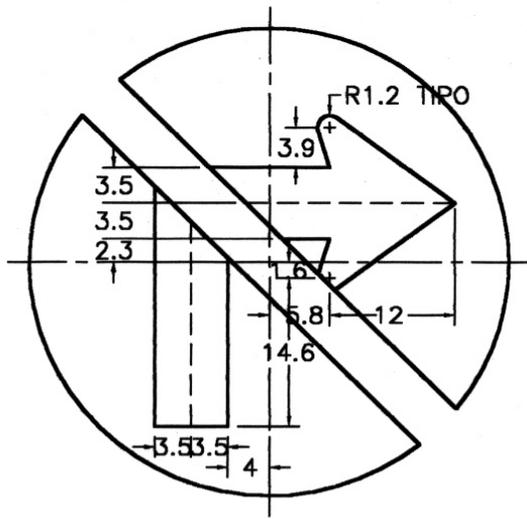


R-3

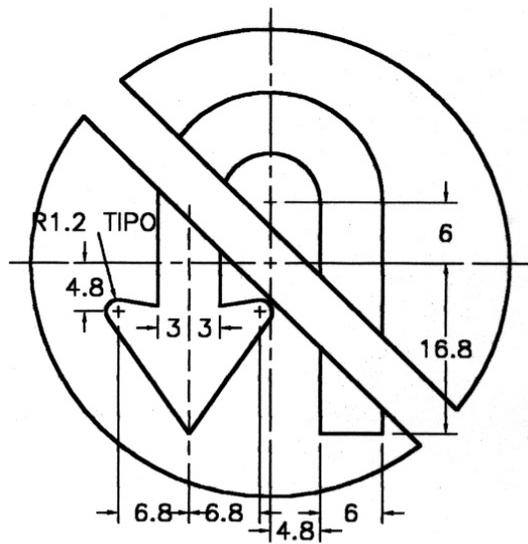


R-4a

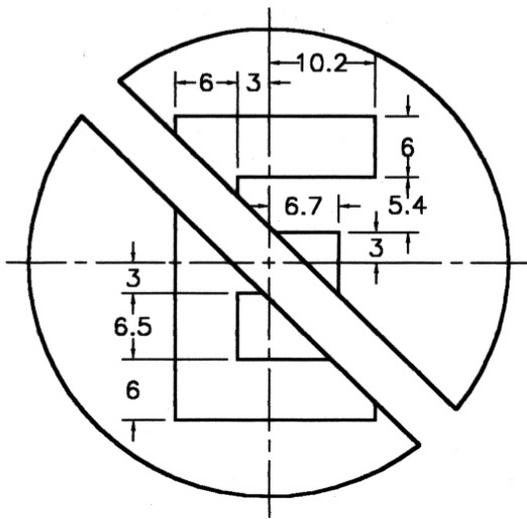
### DIMENSIONES DE LOS SIMBOLOS



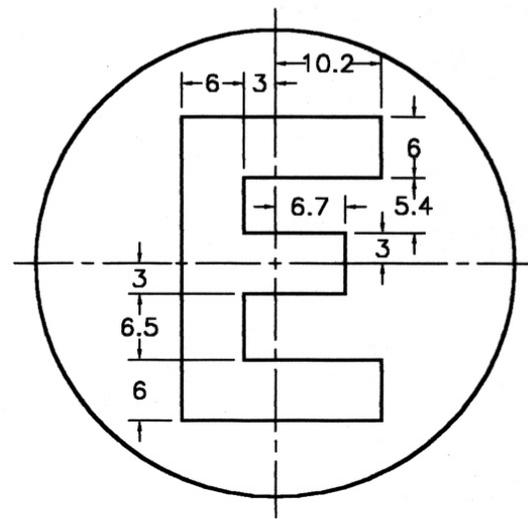
R-4b



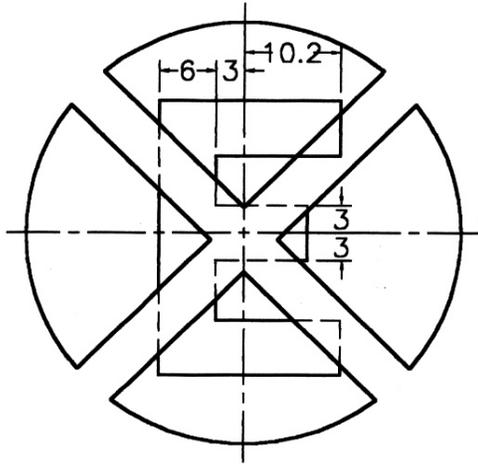
R-5



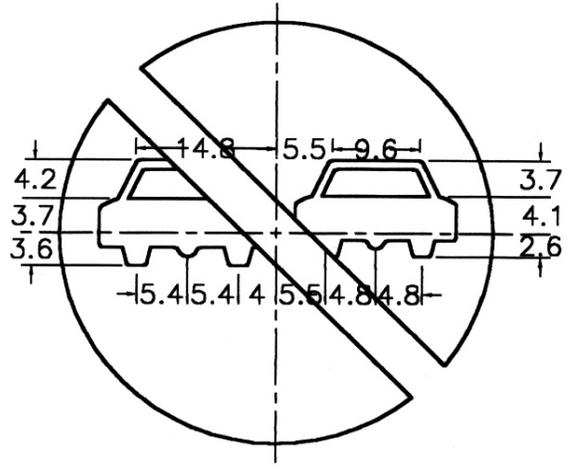
R-6A



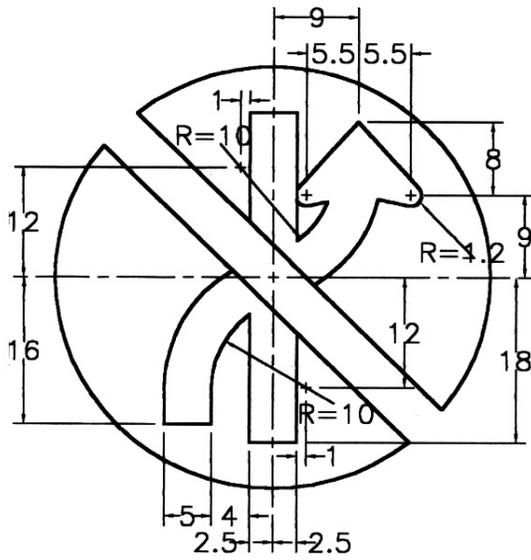
R-6B



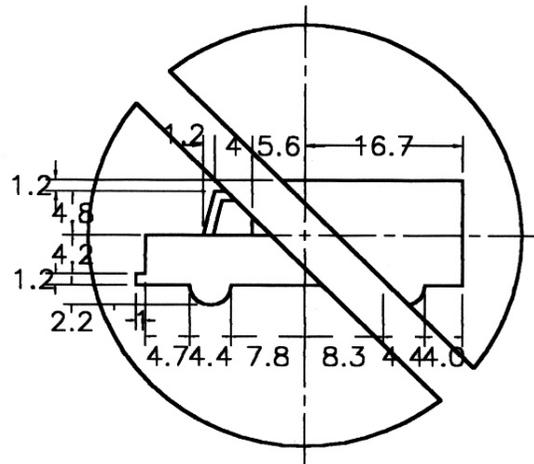
R-6C



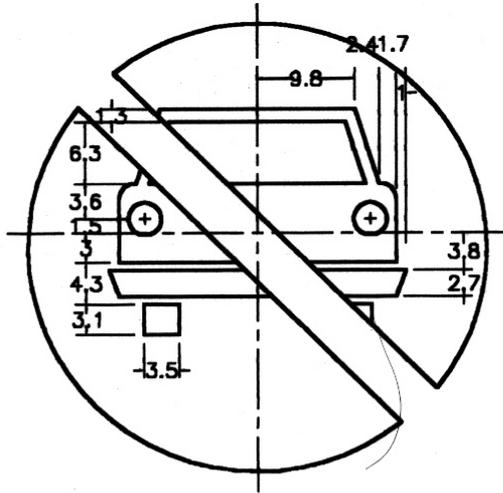
R-7



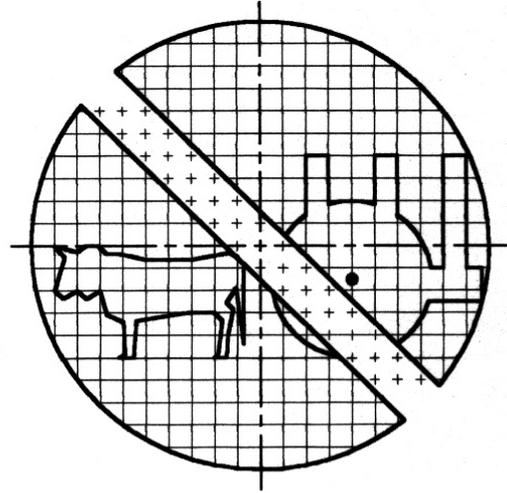
R-8



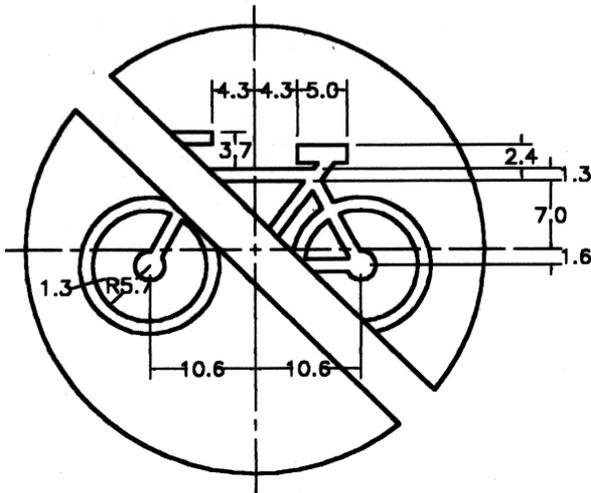
R-9



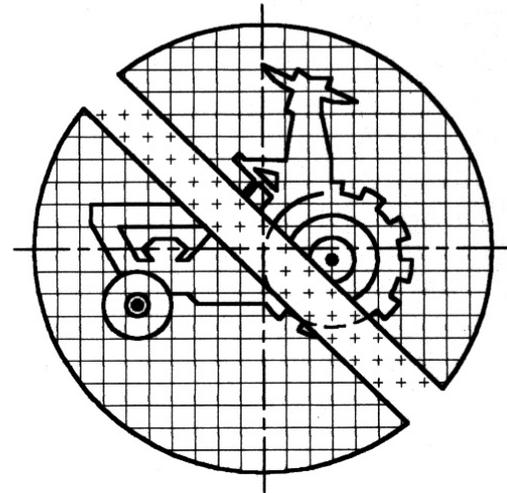
R-10



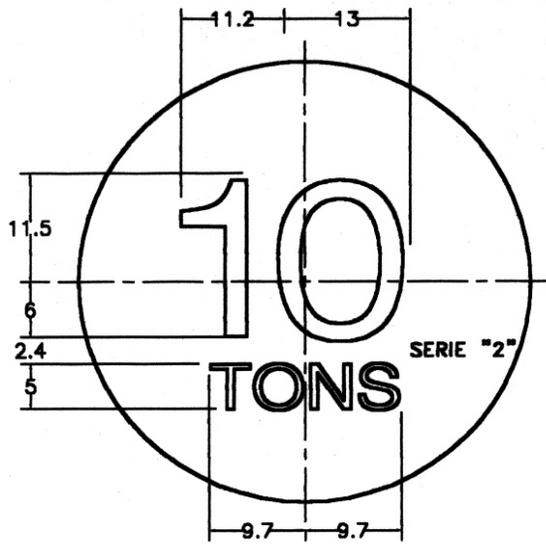
R-11



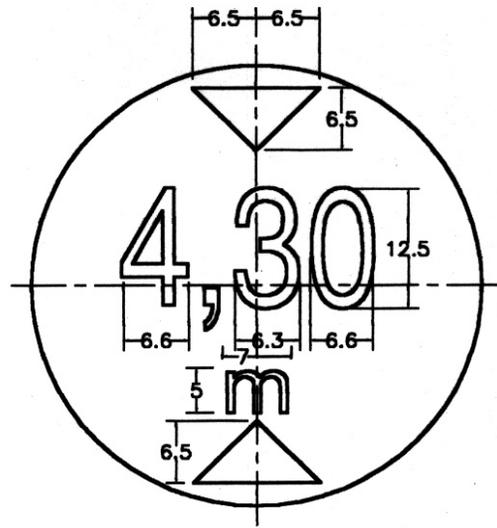
R-12



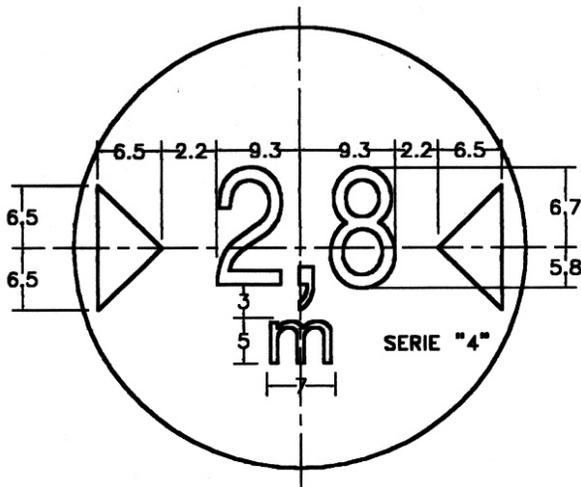
R-13



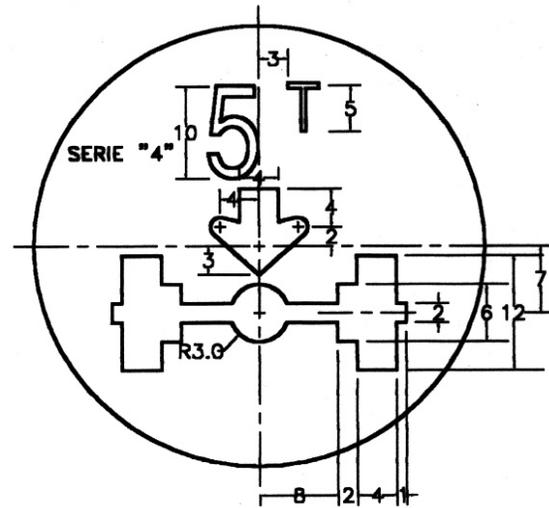
R-3



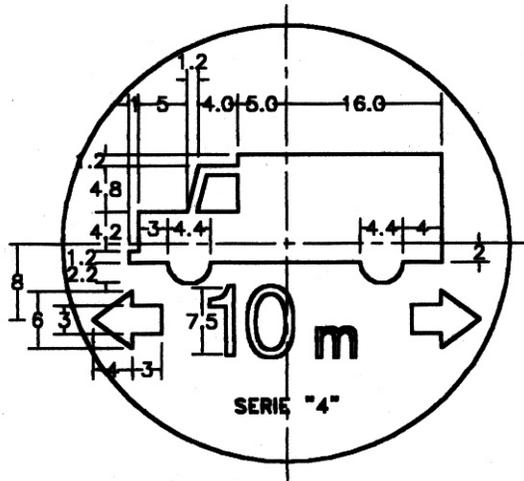
R-15



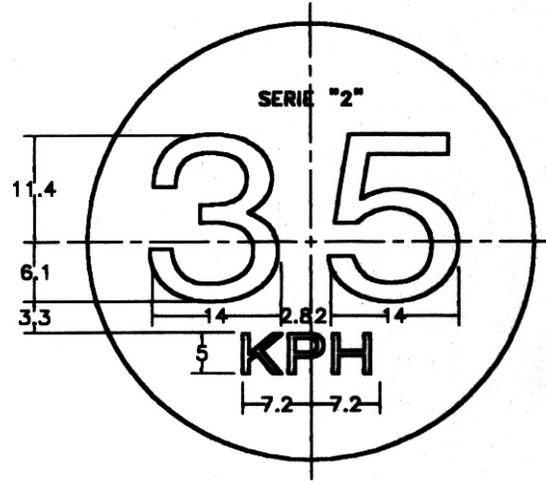
R-16



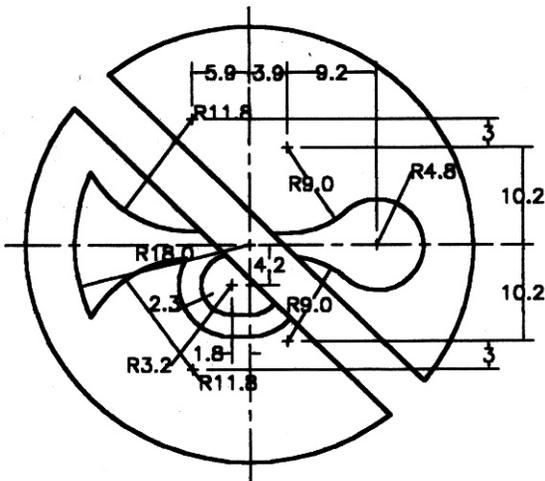
R-17



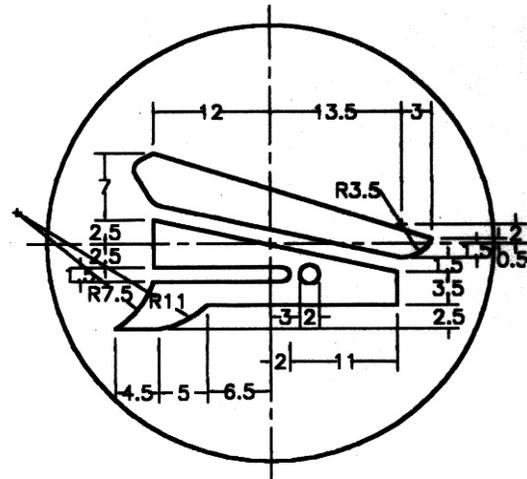
R-18



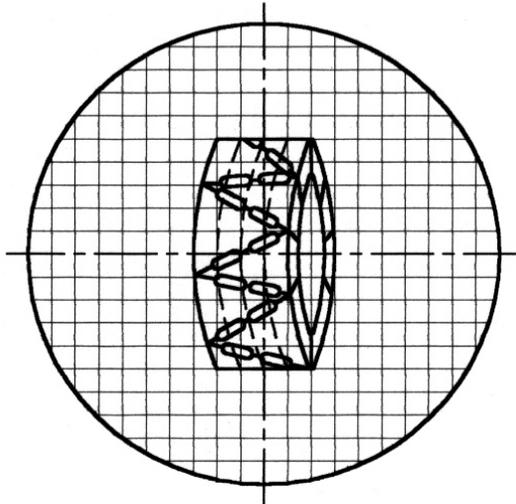
R-19



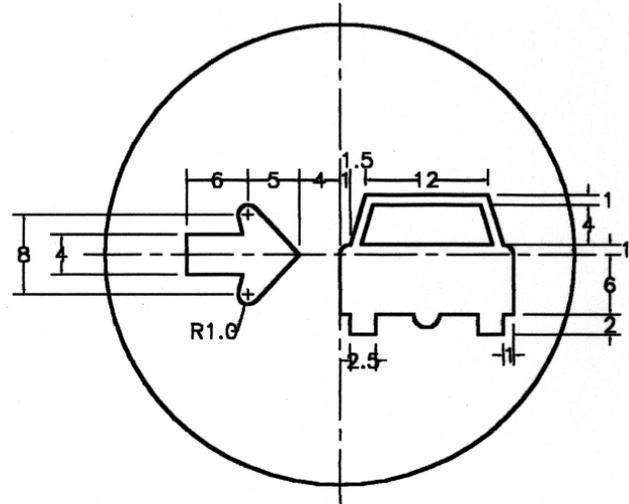
R-20



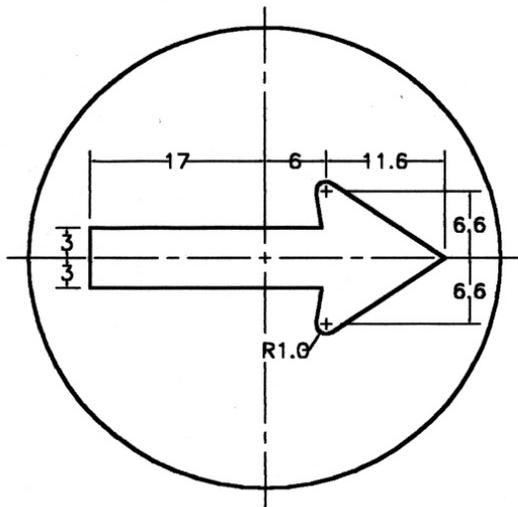
R-21



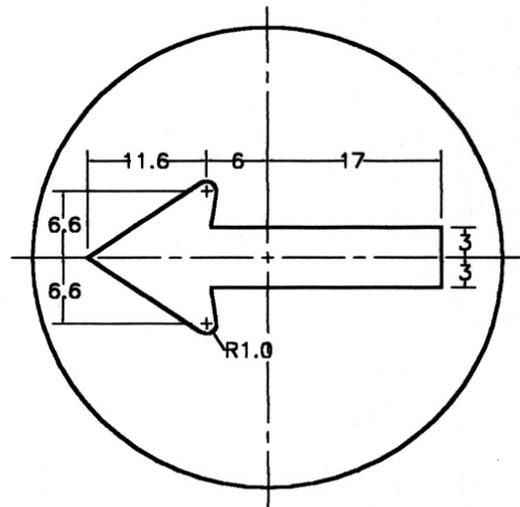
R-22



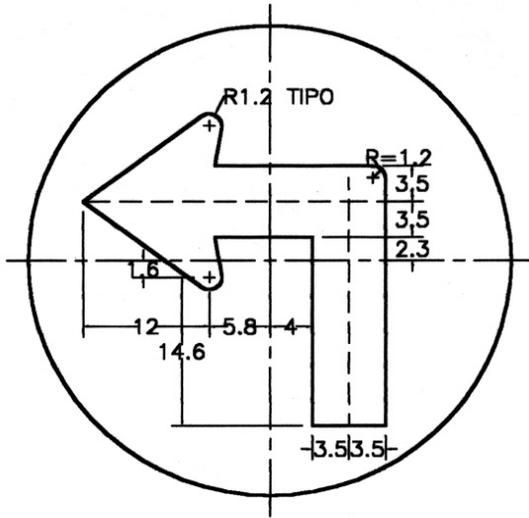
R-23



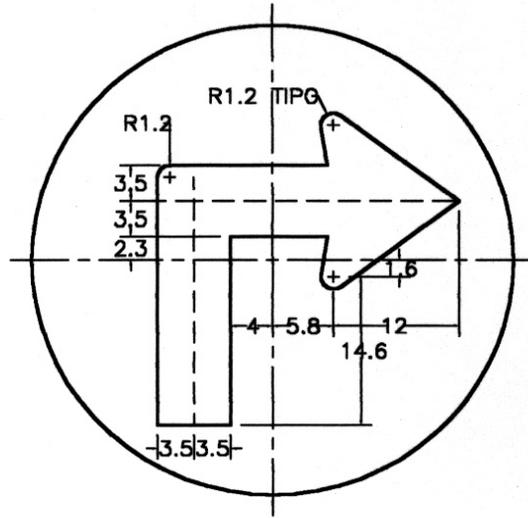
R-24A



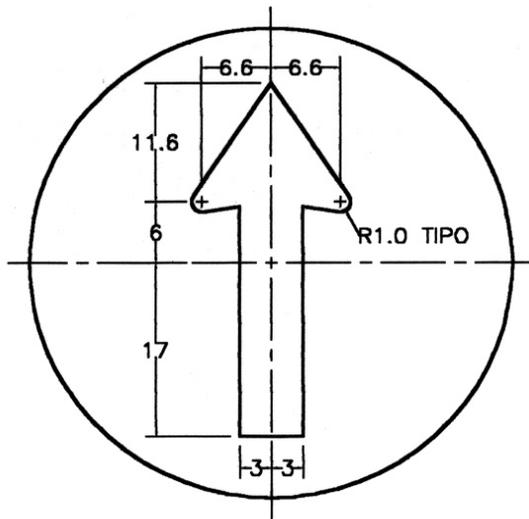
R-24B



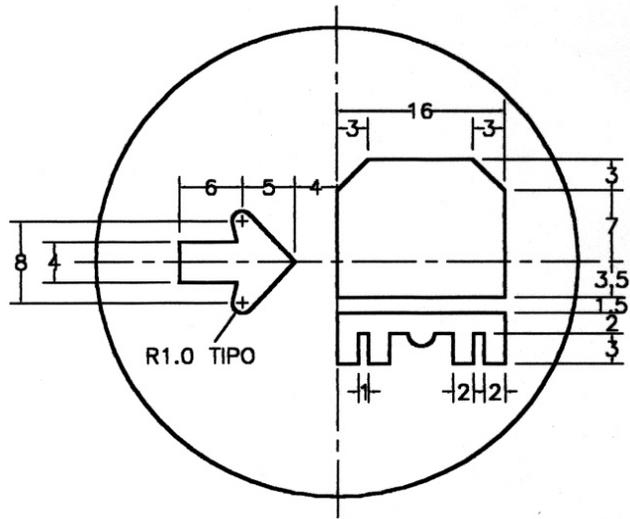
R-25A



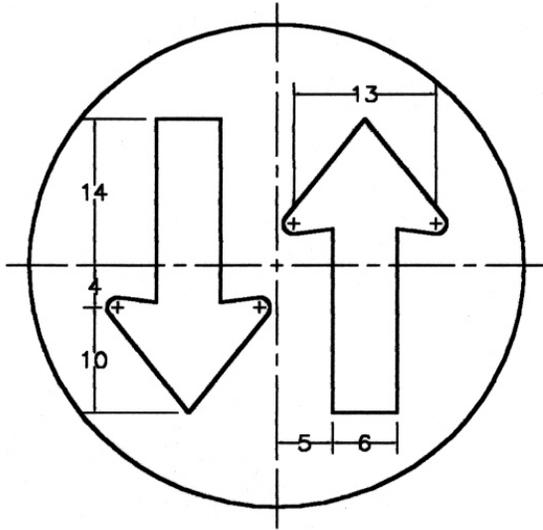
R-25B



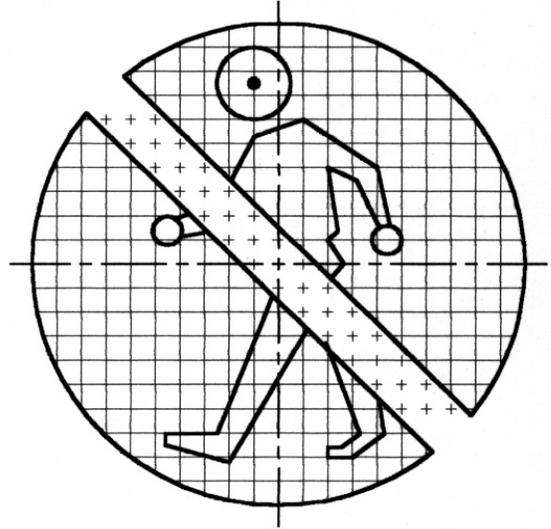
R-26



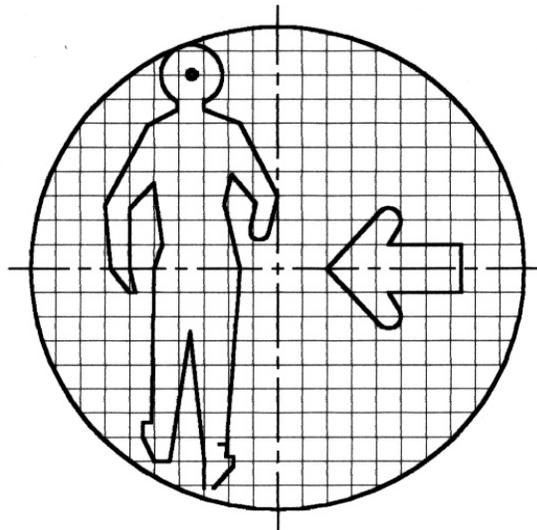
R-27



R-28



R-29



R-30

## 2.3 SEÑALES DE PREVENCIÓN

### 2.3.3 **Altura** (pág.31 M. Interam.)

Zona urbana: En caso de haber más de una señal en un poste se tomará siempre un espacio libre de 2 metros entre acera y borde inferior de la señal.

### 2.3.8 **Dimensiones** (pág. 33 M. Interam.)

La dimensión mínima tanto para zona urbana como rural será de 0.61 metros de lado.

Las dimensiones para las orlas serán:

Amarilla	0.01 metros
Negra	0.02 metros

### 2.3.9 **Leyendas** (pág. 34 M. Interam.)

El tablero adicional que servirá para formar un conjunto, ya sea que lleve ceja perimetral doblada o sea placa plana sin ceja, tendrá las dimensiones de la tabla N° 3.

Tabla N° 3- Dimensiones del tablero adicional de las señales preventivas

Dimensiones de la señal (cm)	Dimensiones del tablero (cm)		Altura de las letras mayúsculas (cm)	
	1 renglón	2 renglones	1 renglón	2 renglones
61x61 sin ceja	25x85	40x85	10	10
71x71 con ceja	30x100	50x100	12.5	12.5
86x86 con ceja	35x122	61x 122	15	15
117x117 con ceja	35x152	61x 152	15	15

### 2.3.11.8. Señal de "PROXIMIDAD DE SEMÁFORO" (P-14) (pág. 37 M. Interam.)

Llevará placa adicional debajo de la señal con la indicación de la distancia en metros que la separa del semáforo.

### 2.3.11.9 Señal de "PROXIMIDAD DE ALTO" (P-15) (pág. 37 M. Interam.)

Llevará placa adicional debajo de la señal con la indicación de la distancia en metros que la separa de la señal octogonal de "ALTO".

### 2.3.14.2 Señal de "OBRAS" (P-24) (pág. 39 M. Interam.)

Llevará placa adicional debajo de la señal con la indicación de la distancia en metros que la separa de la primer señal específica de obras (PC-1).

### 2.3.16.2 Señal de "ZONA ESCOLAR" (P-32) (pág. 41)

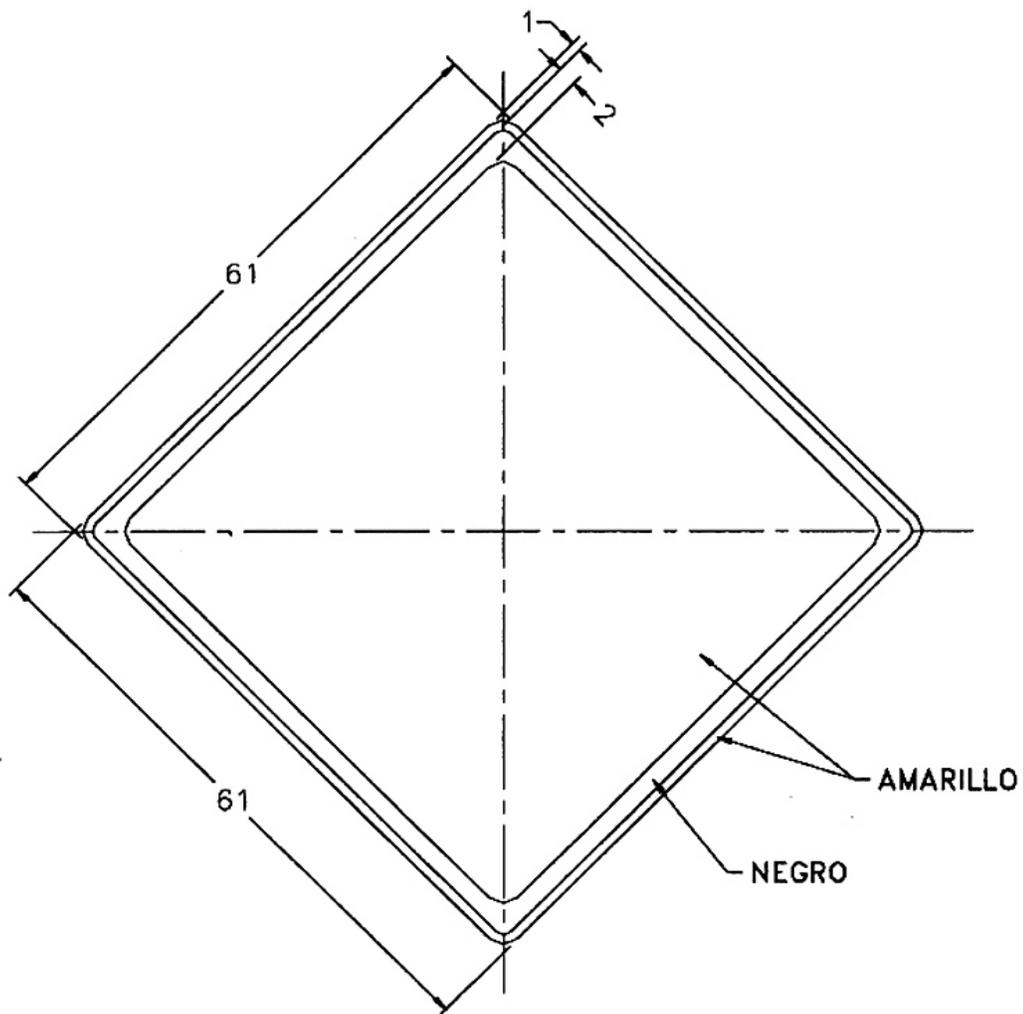
Llevará placa adicional debajo de la señal con la indicación de la distancia en metros que la separa de la zona escolar y el agregado de la palabra "Escolares".

## ESPECIFICACIONES

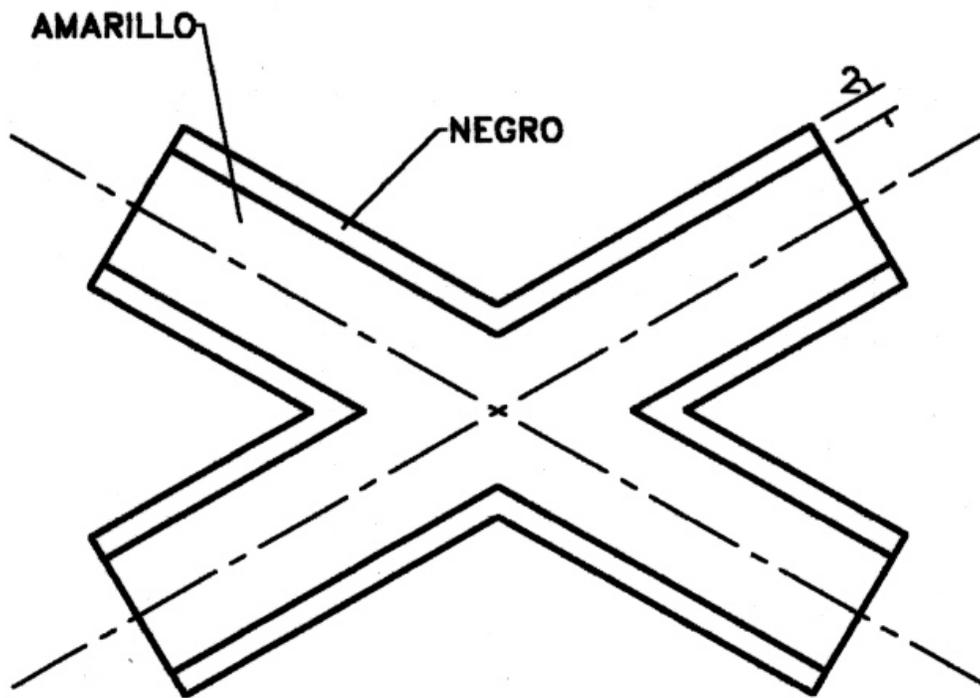
### SEÑALES PREVENTIVAS

#### Dimensiones de las placas

- Las señales de prevención P1 a P43, excepto P40 son de forma cuadrada y sus dimensiones serán según lo establecido en la página 34 del Manual Interamericano de Disposiciones para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras.



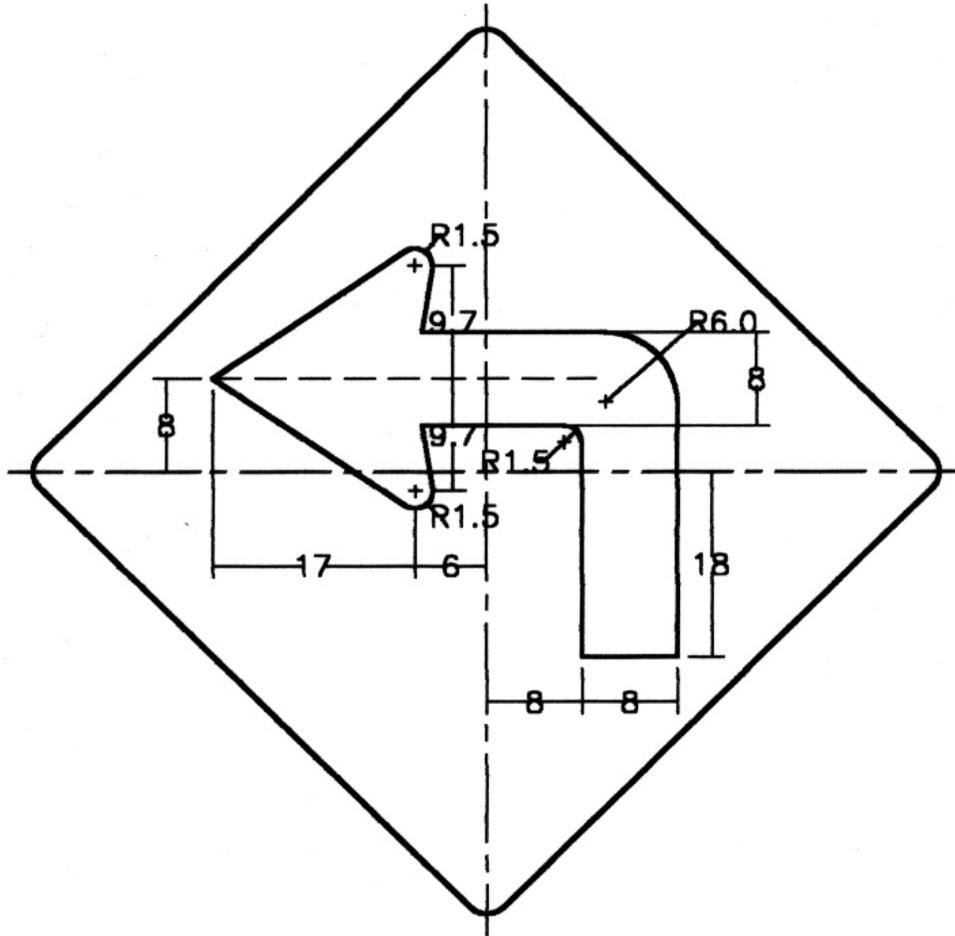
- La señal Cruz de San Andrés (P40).



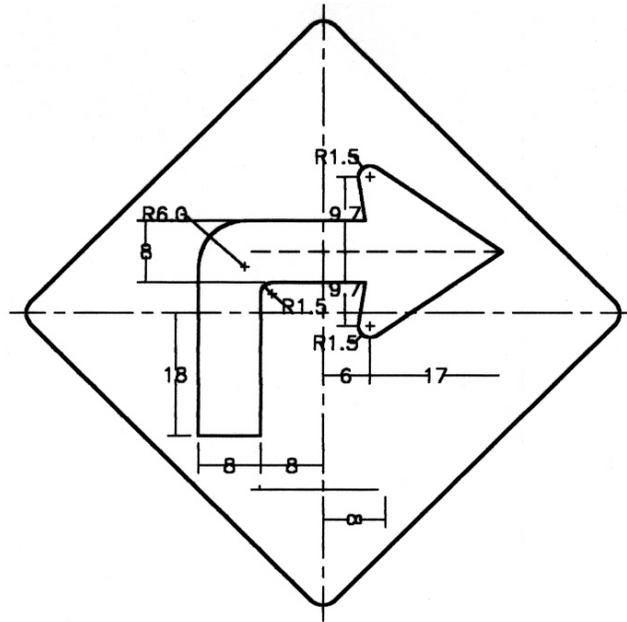
**CRUZ DE SAN ANDRES**

### DIMENSIONES DE LOS SÍMBOLOS

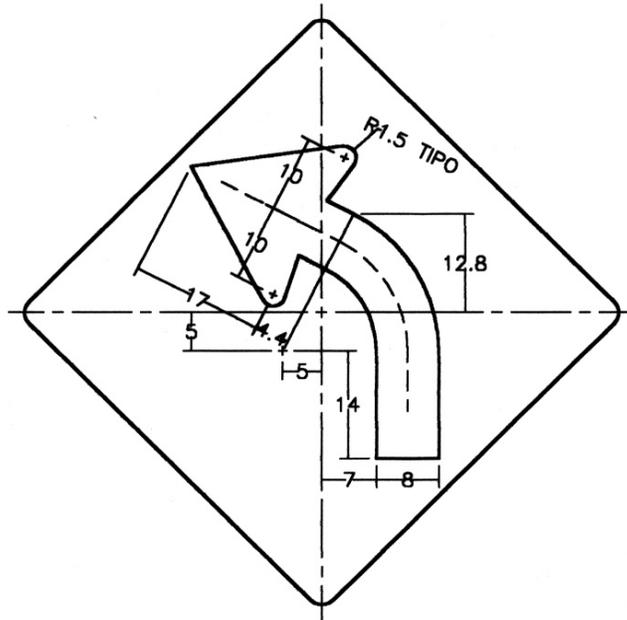
Las dimensiones para pintar los símbolos de las señales se muestran a continuación. Los símbolos con formas rectilíneas tienen sus dimensiones en centímetros y los de forma irregular están basados en el sistema de cuadrícula de 2 cm.



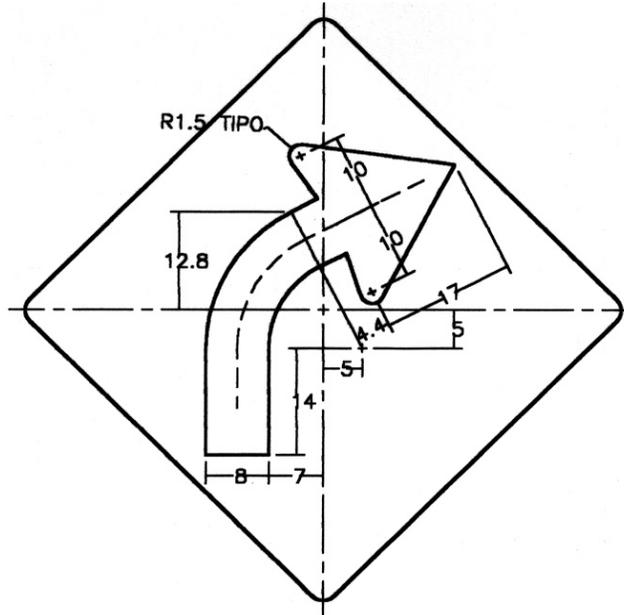
P-1A



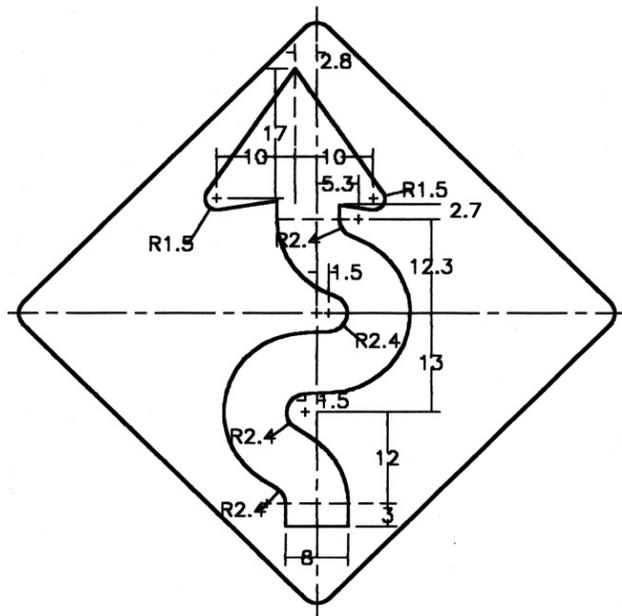
P-1B



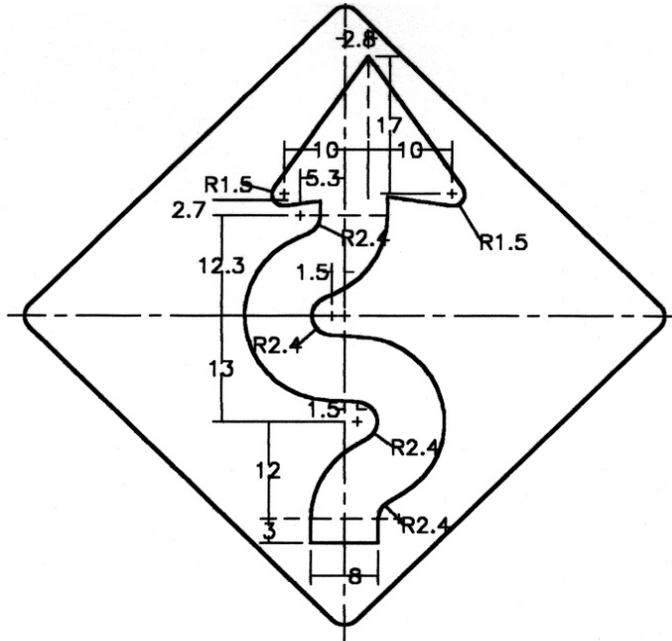
P-2A



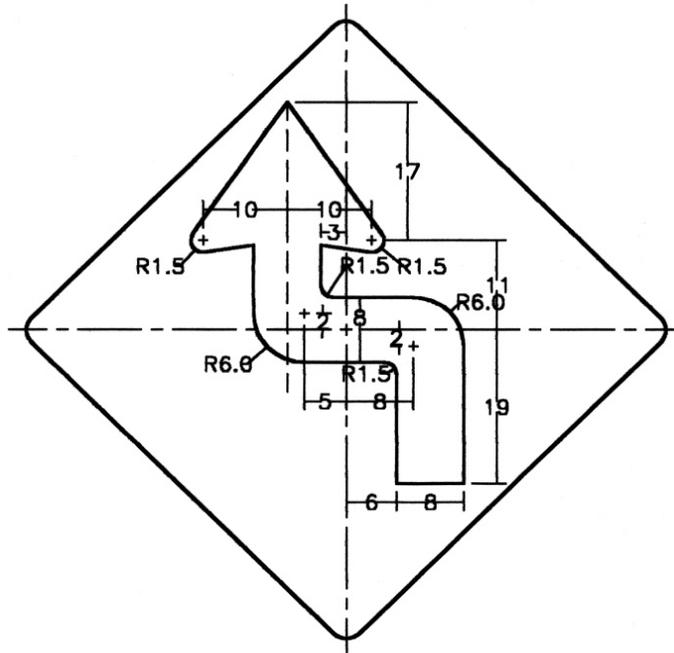
P-2B



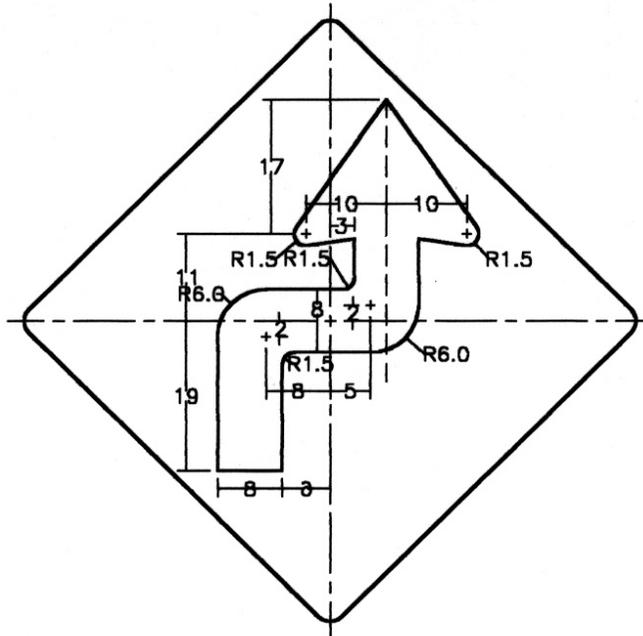
P-3A



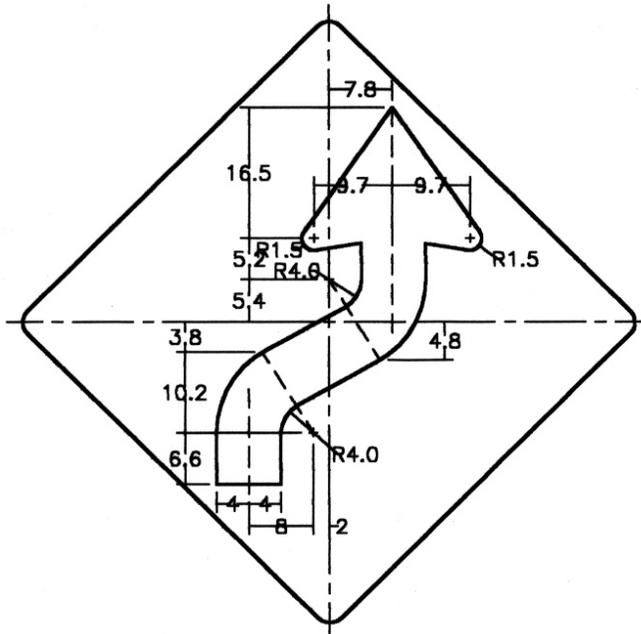
P-3B



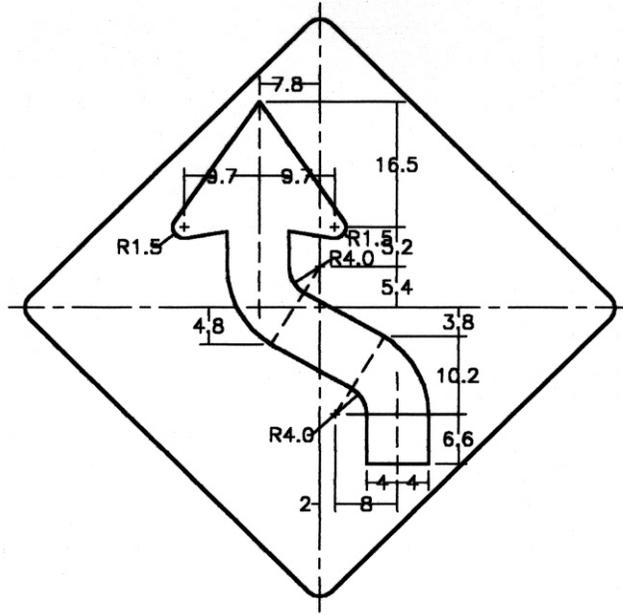
P-4A



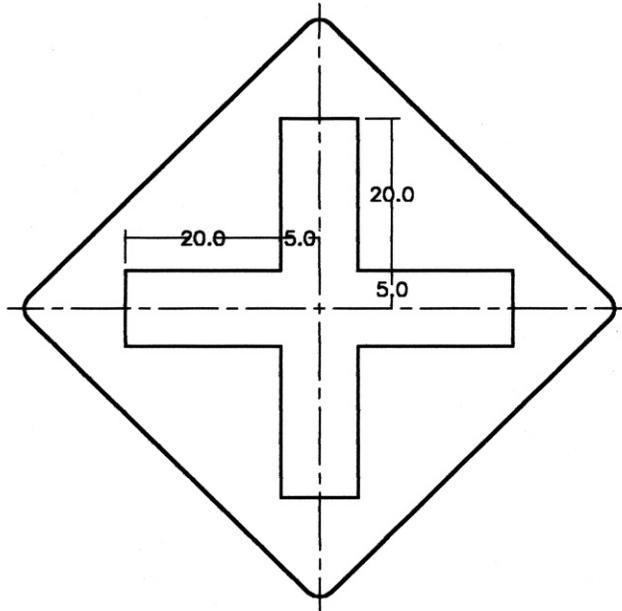
P-4B



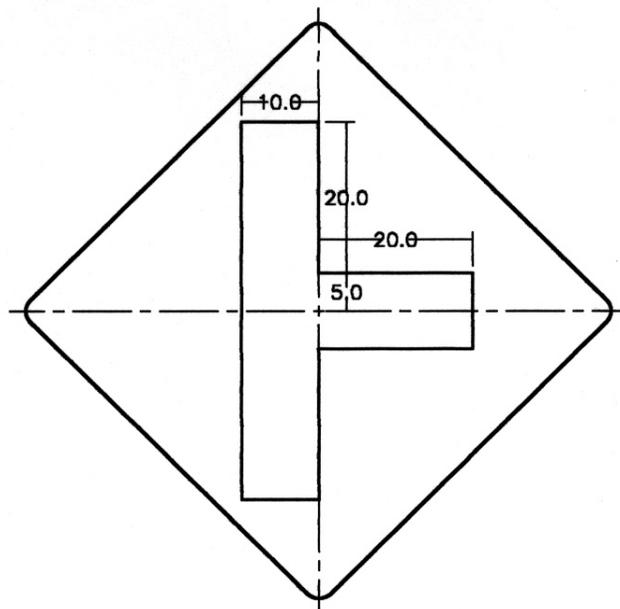
P-5A



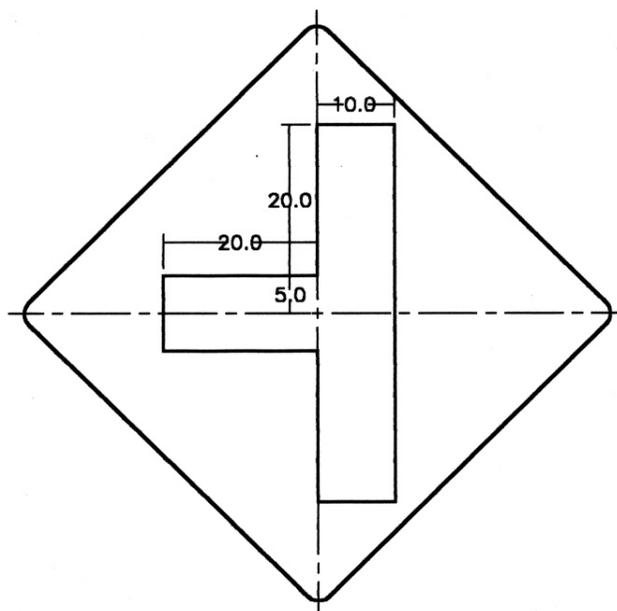
P-5B



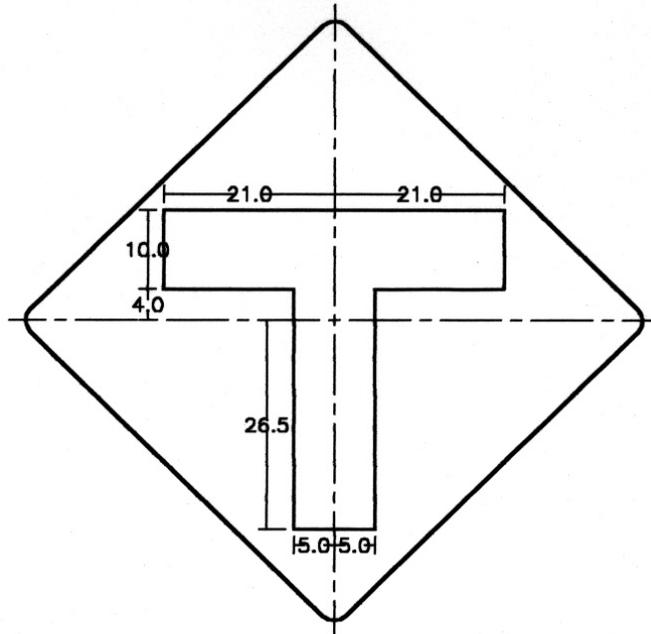
P-6



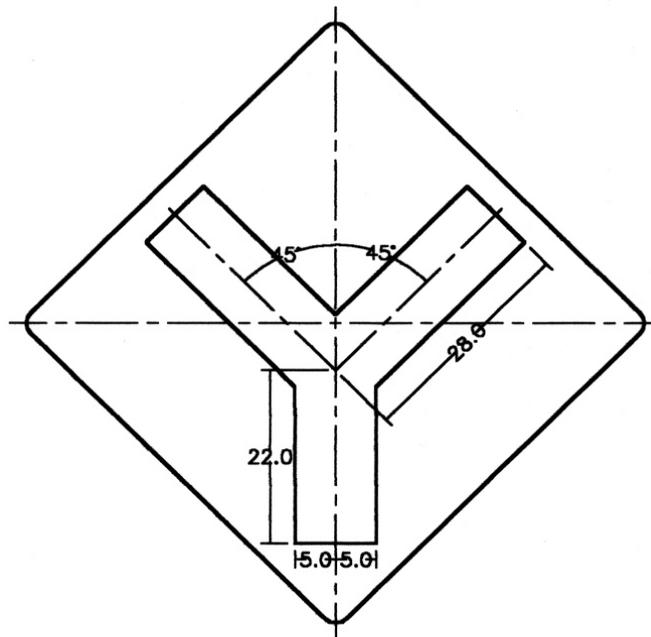
P-7A



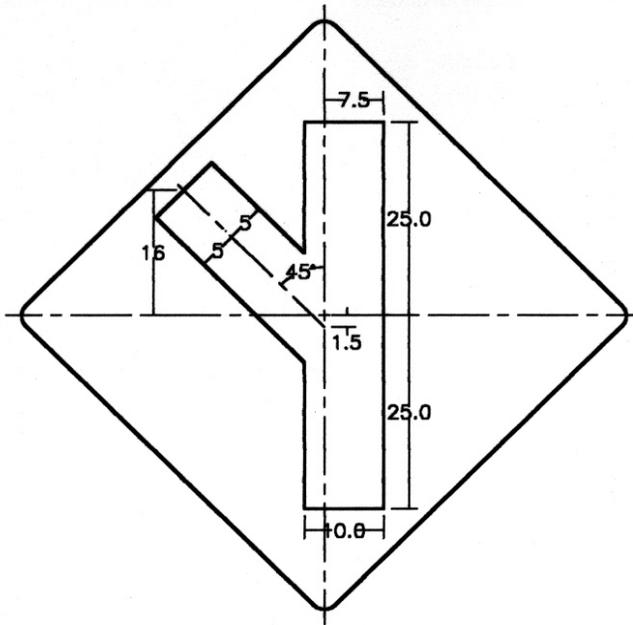
P-7B



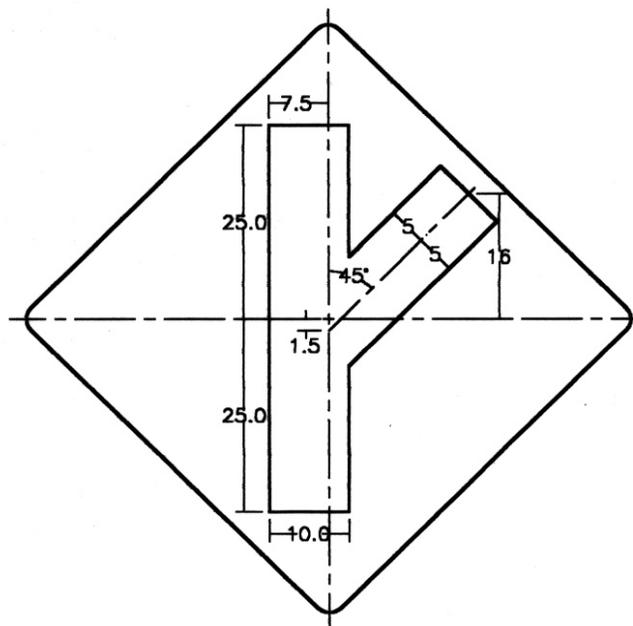
P-8



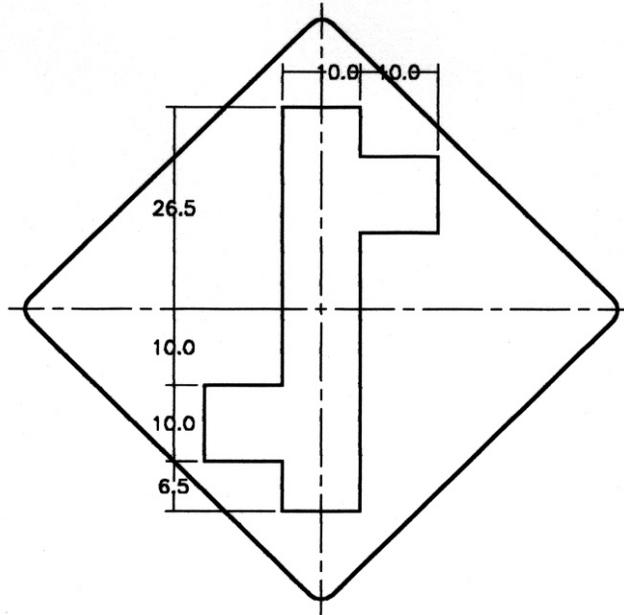
P-9



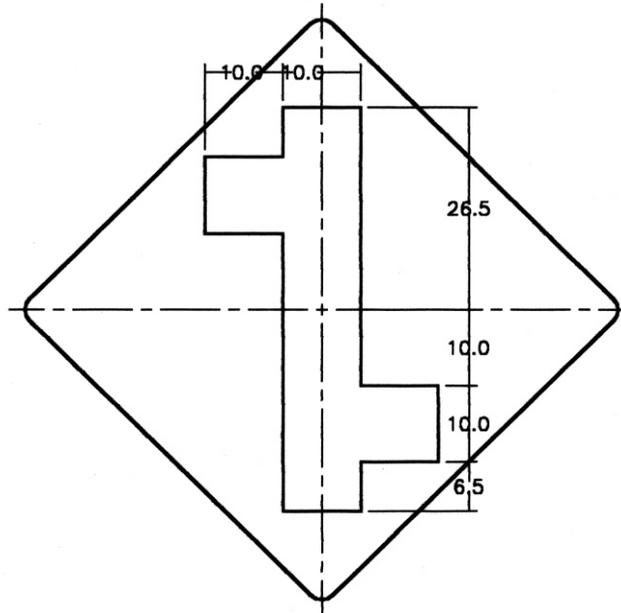
P-10A



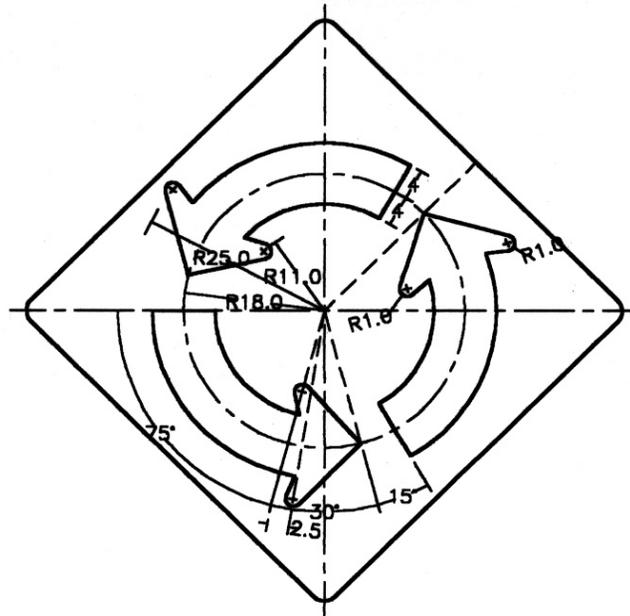
P-10B



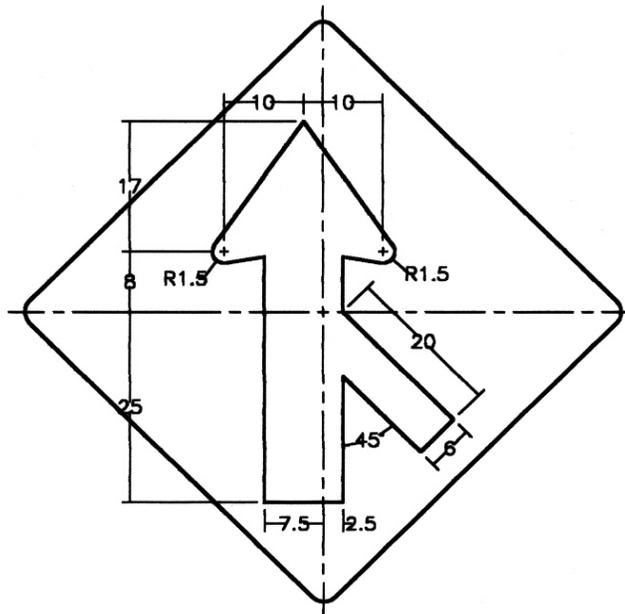
P-11A



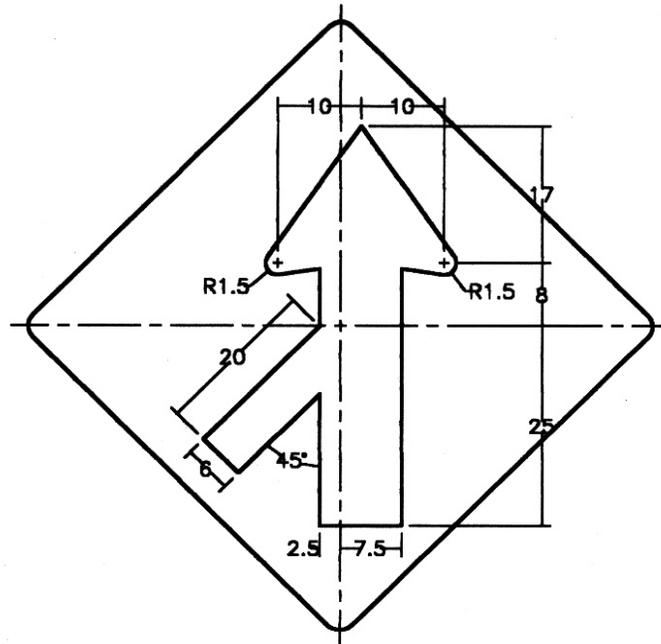
P-11B



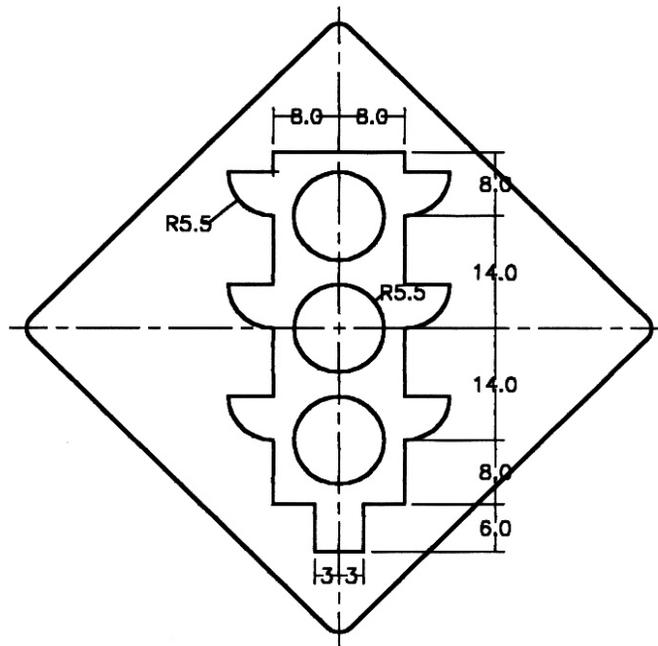
P-12



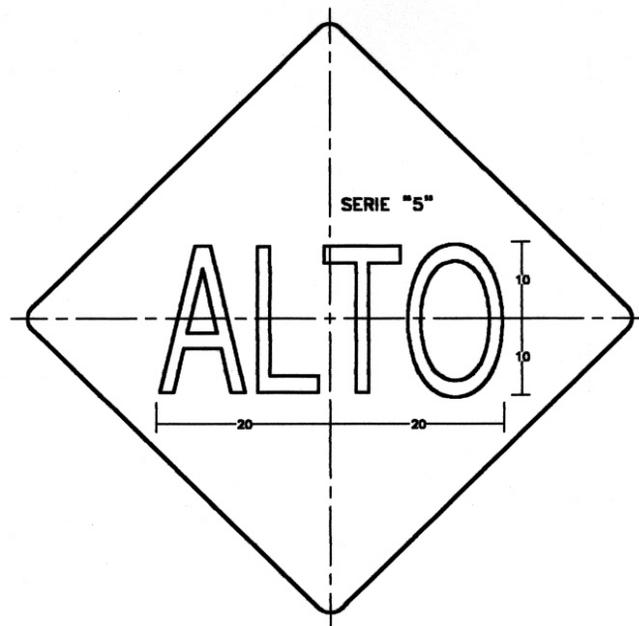
P-13A



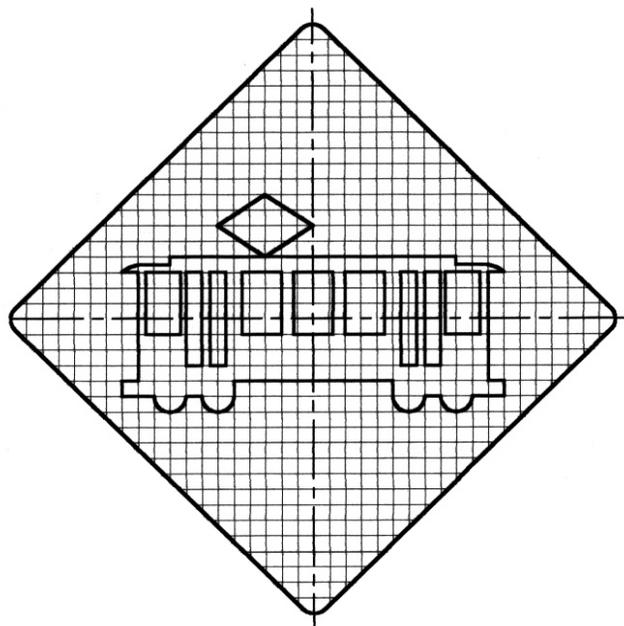
P-13B



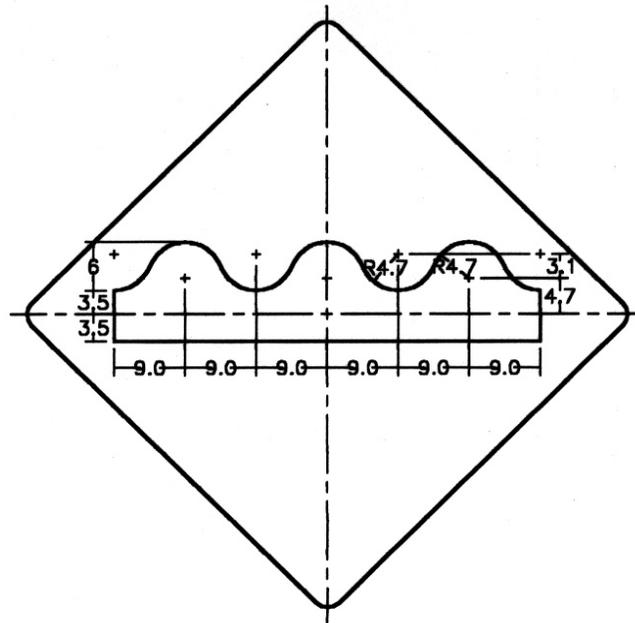
P-14



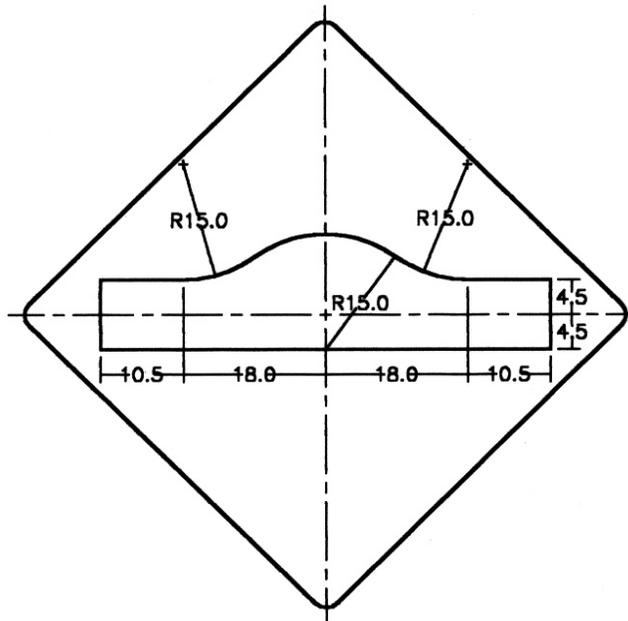
P-15



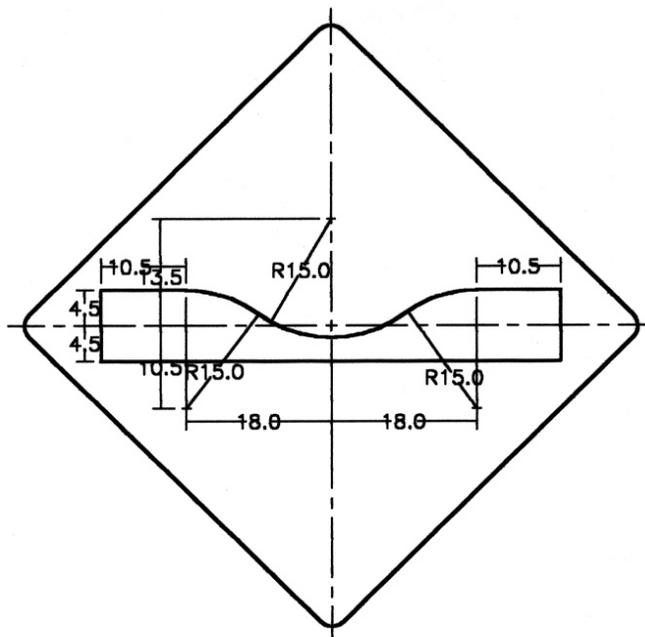
P-16



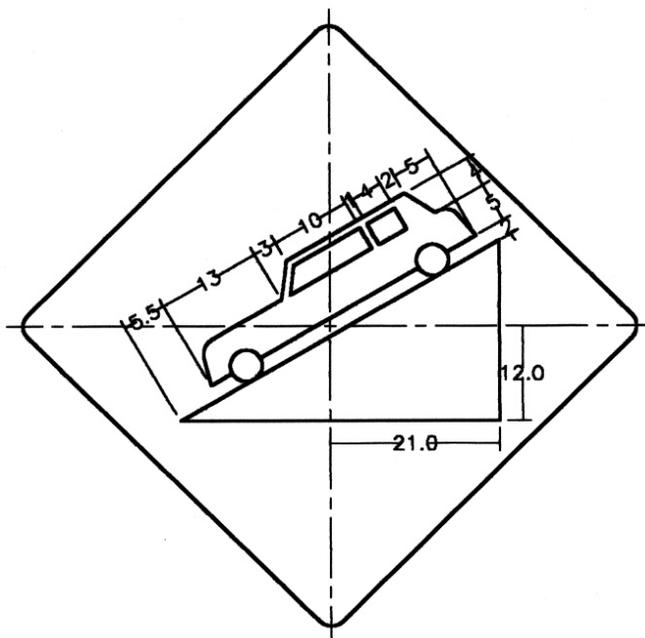
P-17



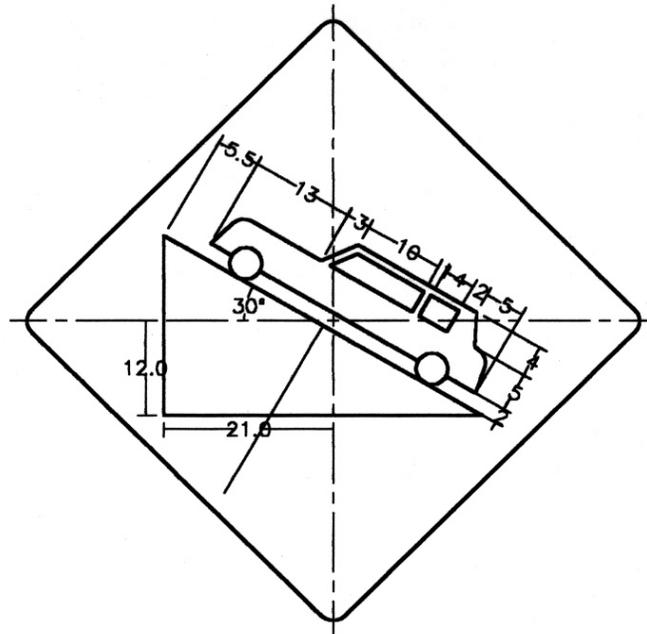
P-18



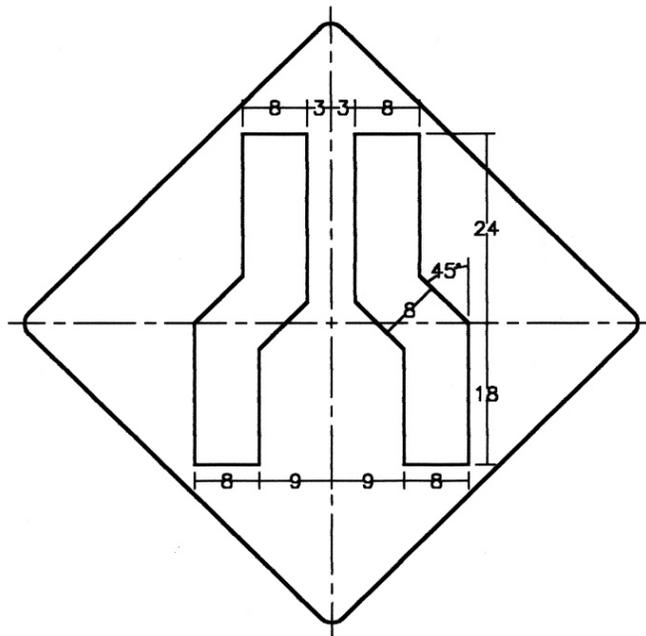
P-19



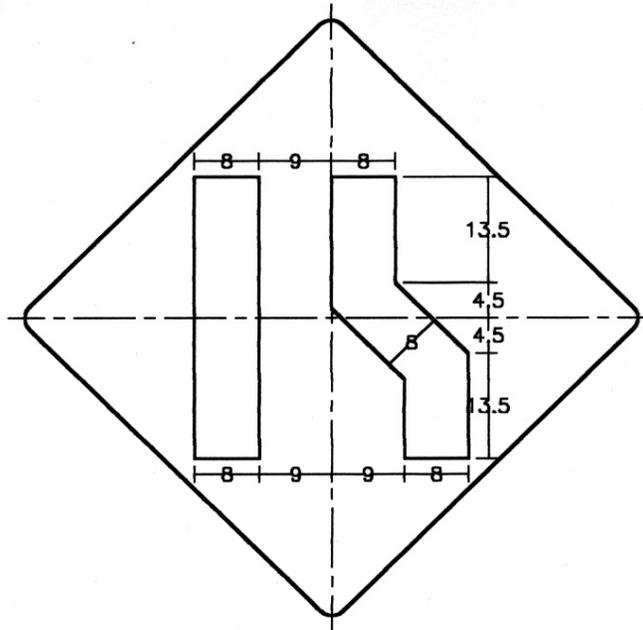
P-20A



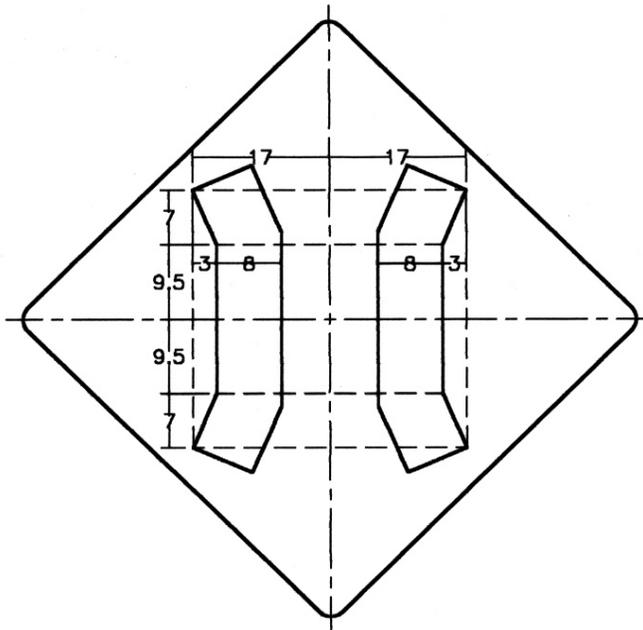
P-20B



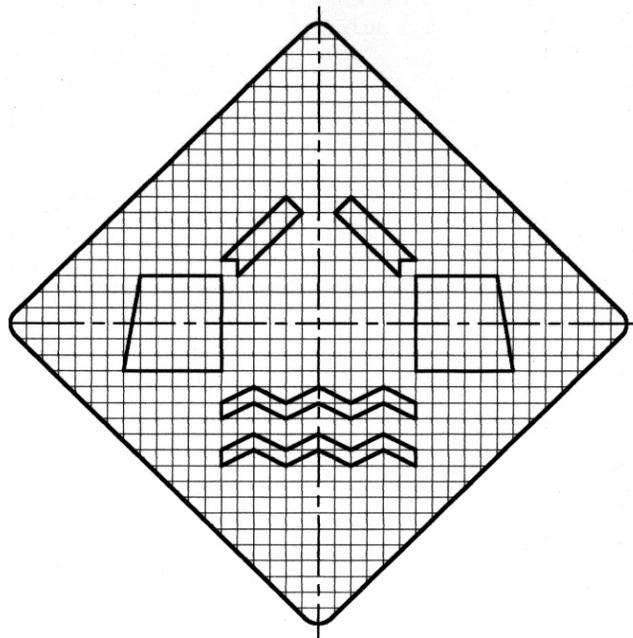
P-21A



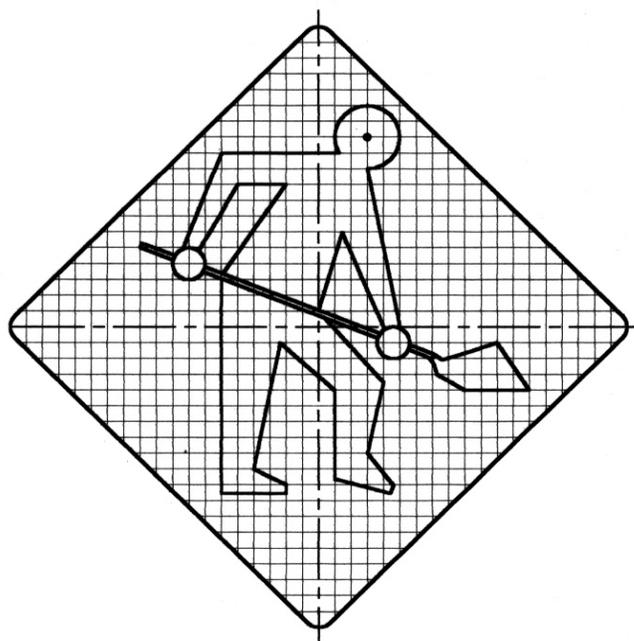
P-21B



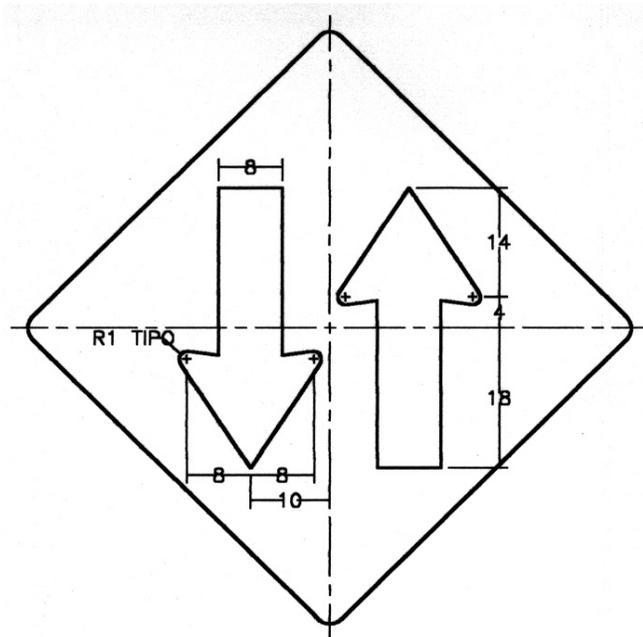
P-22



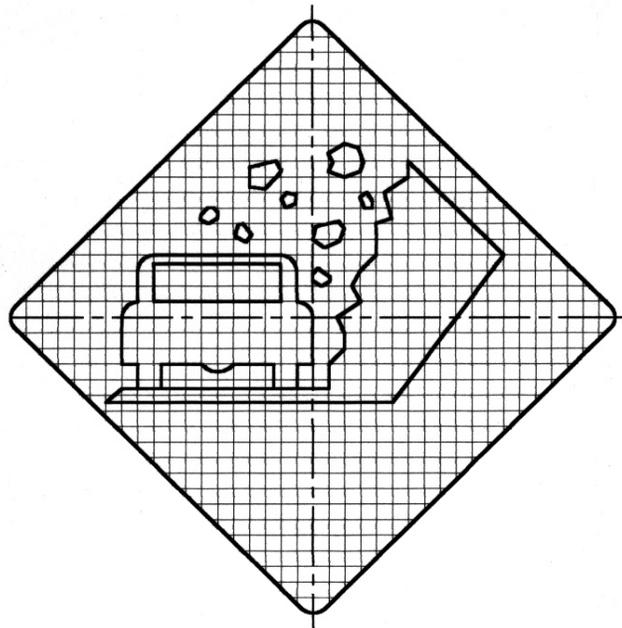
P-23



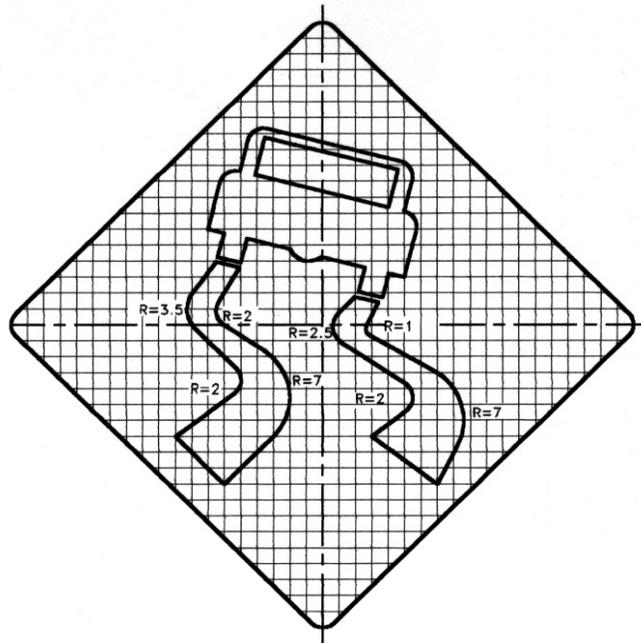
P-24



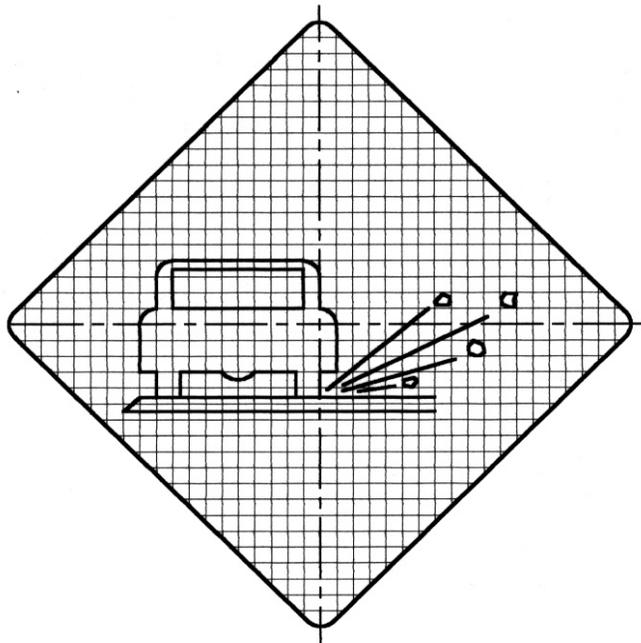
P-25



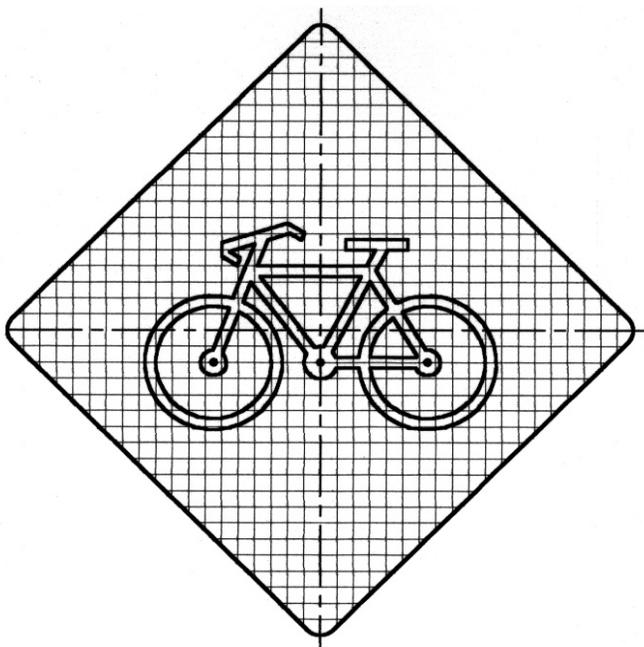
P-26



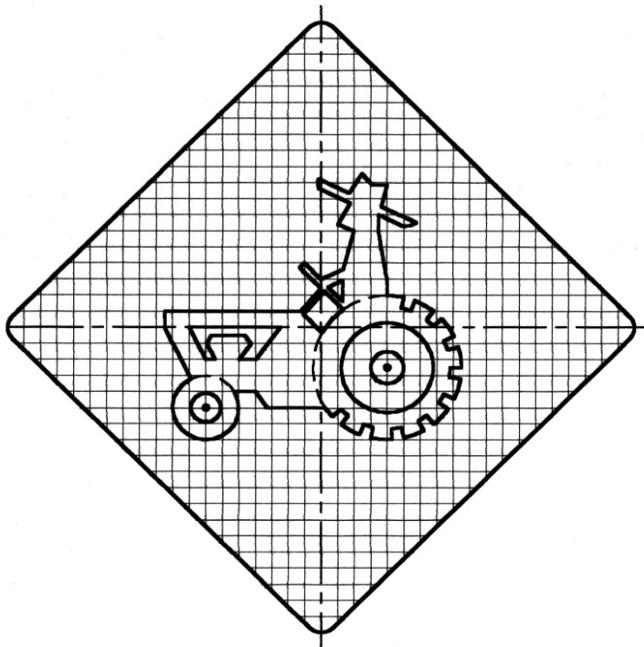
P-27



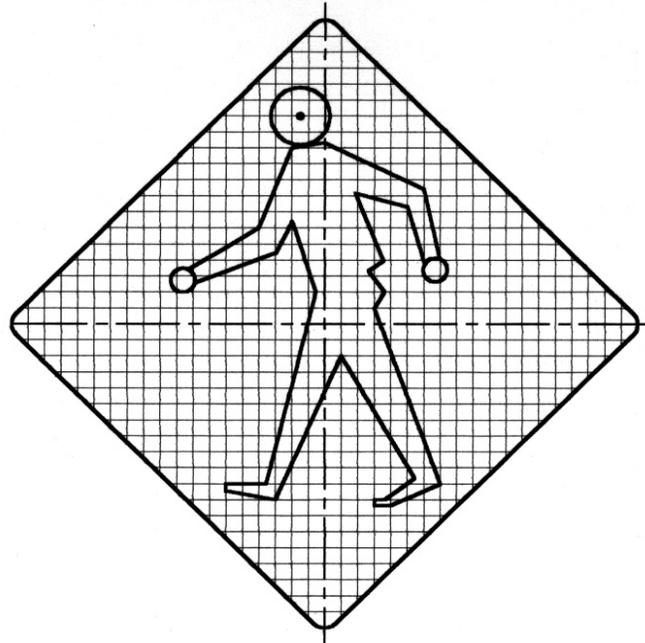
P-28



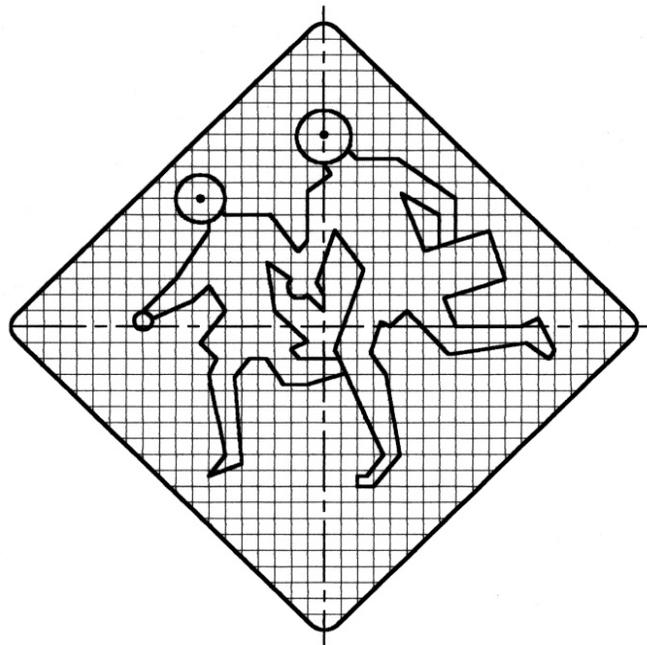
P-29



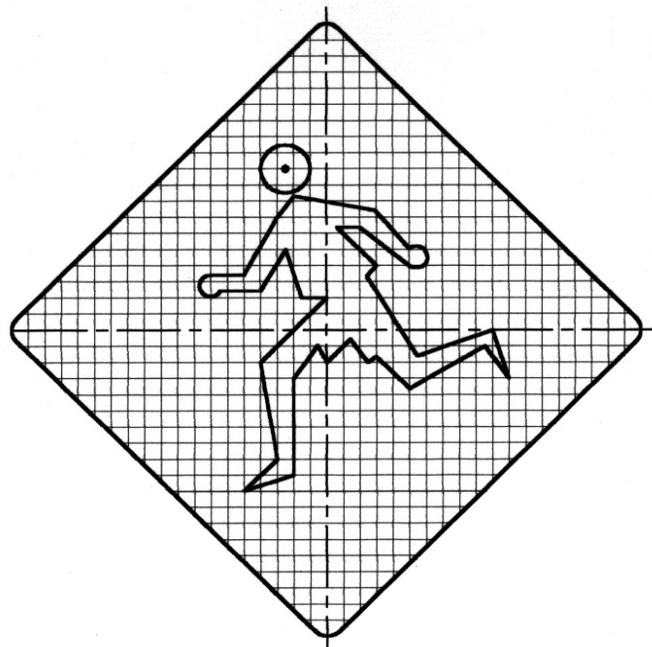
P-30



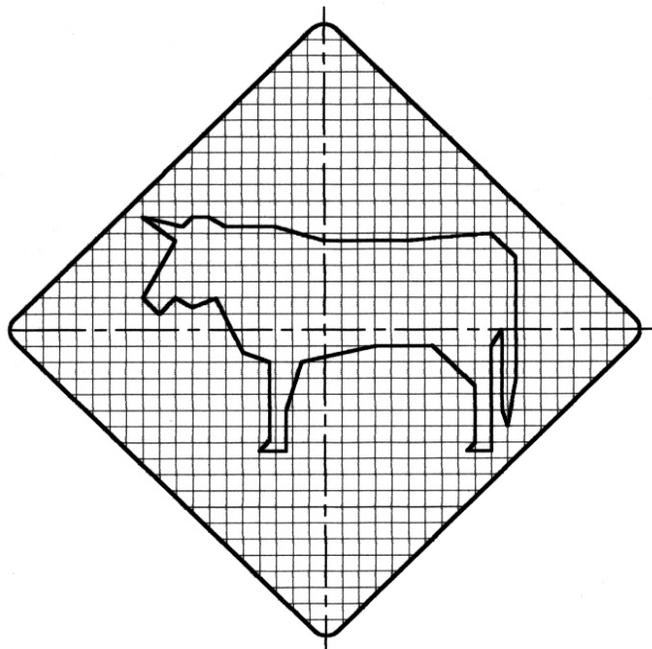
P-31



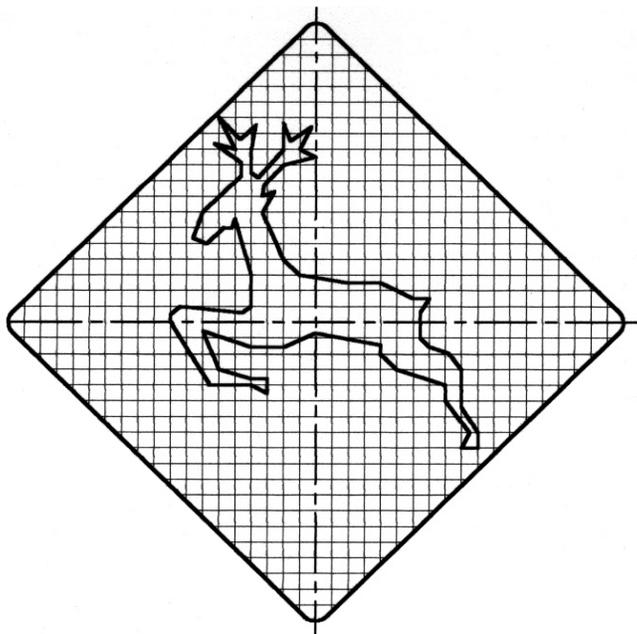
P-32



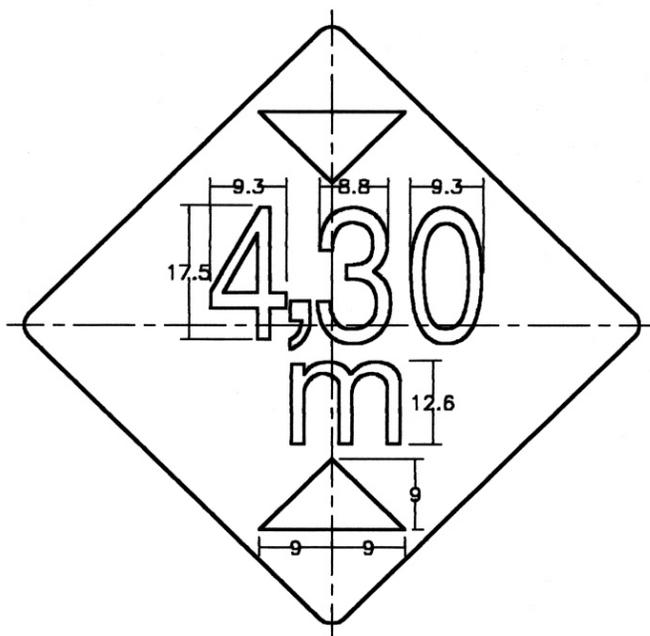
P-33



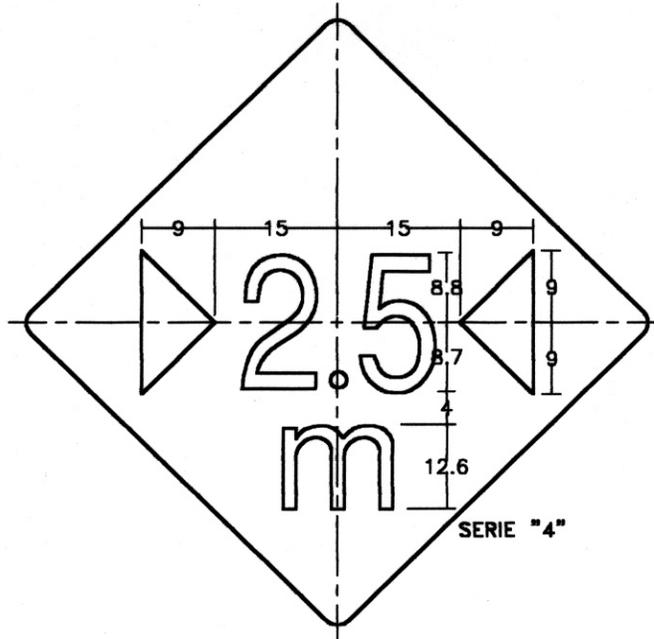
P-34



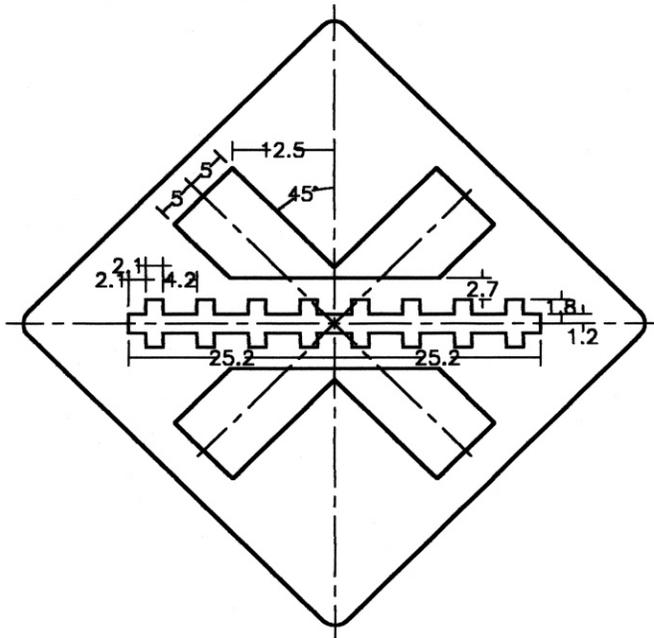
P-35



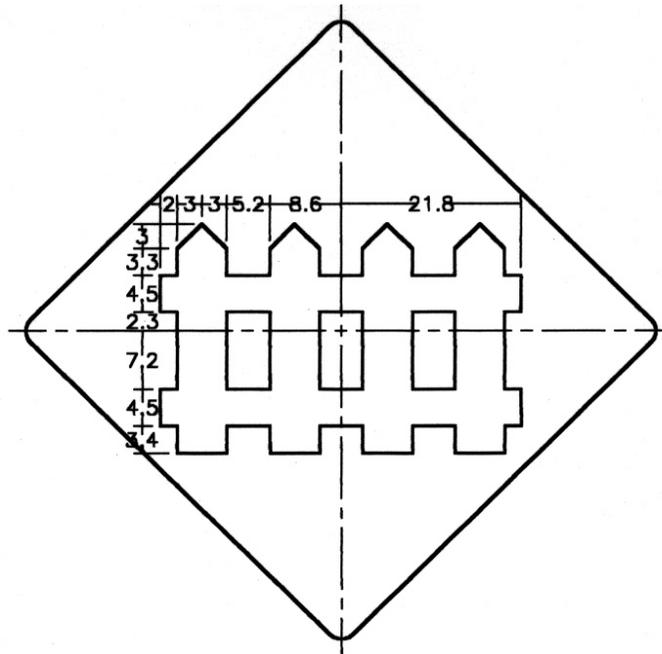
P-36



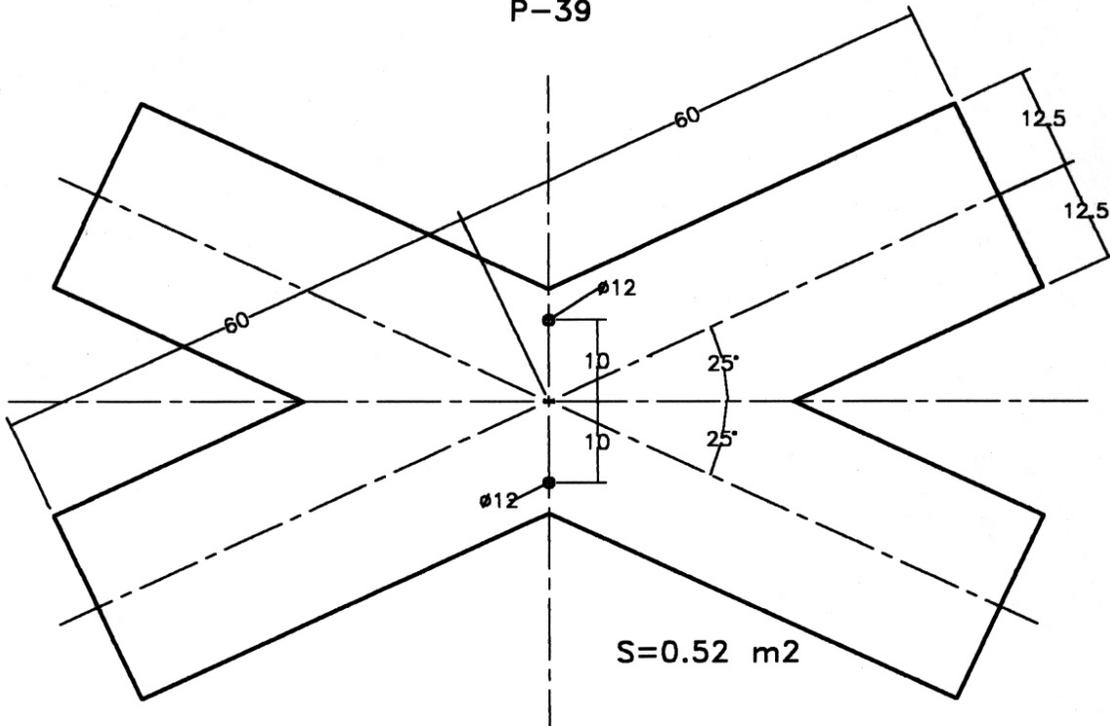
P-37



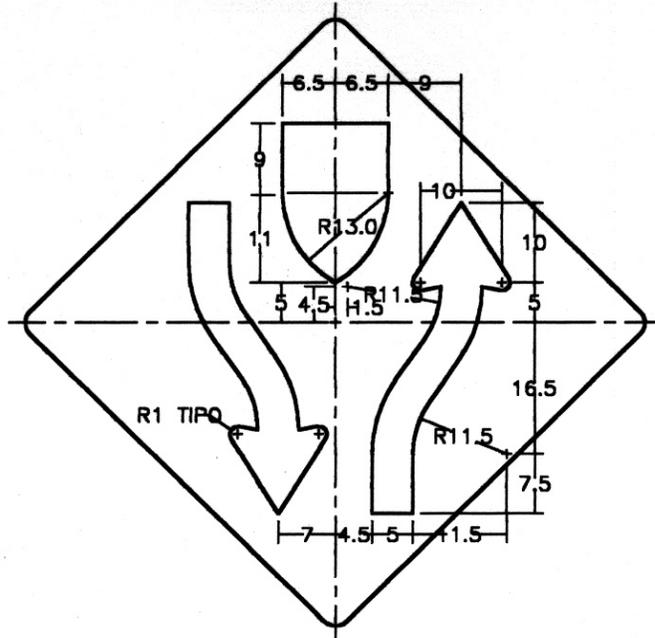
P-38



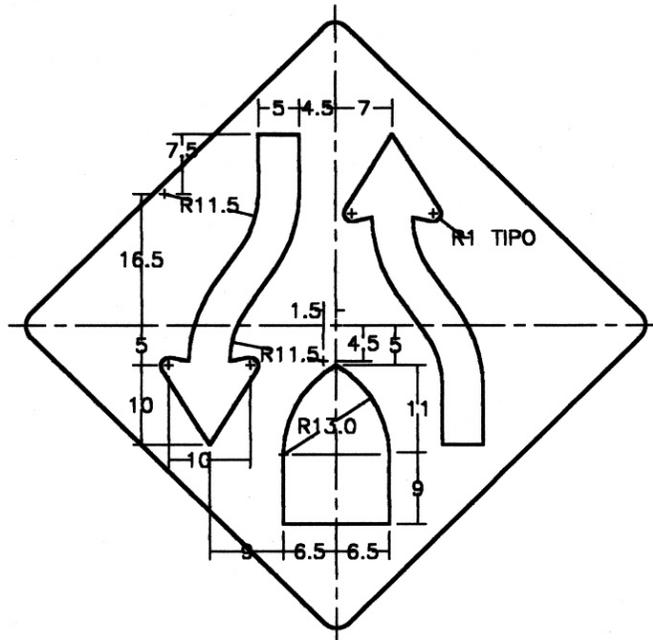
P-39



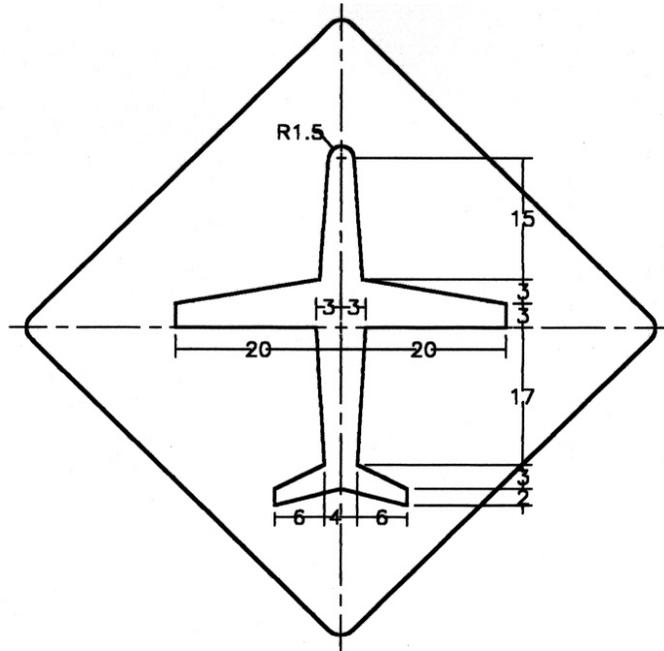
P-40



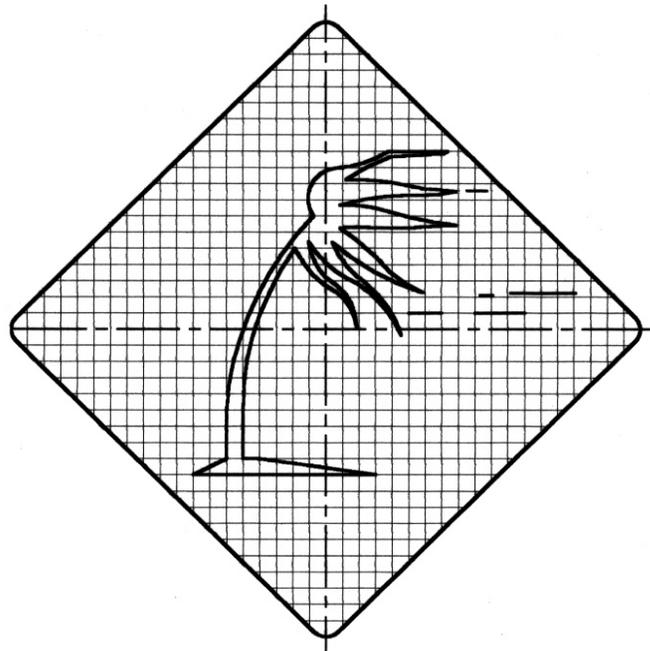
P-41A



P-41B



P-42



P-43

## 2.4 SEÑALES DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo de las características de las señales de información se tomó el capítulo respectivo del Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras de México, Quinta Edición, abril 1986. Se considera que el tema tal como fué tratado en dicho manual reúne las condiciones necesarias para su aplicación en la República de Honduras habiéndose efectuado las modificaciones y/o adecuaciones necesarias a fin de lograr la uniformidad con el resto del manual.

### Clasificación

Las señales informativas se clasifican en cinco grupos:

SII	De identificación
SID	De destino
SIR	De recomendación
SIG	De información general
SIST	De servicios y turísticas

### SII Señales informativas de identificación

#### SII-1 Uso

Se usarán para identificar las carreteras según su código numérico.

### SII-2 Forma

#### Tablero señales de ruta

Las señales de ruta tendrán forma de escudo, pintado sobre un tablero rectangular o dentro de las señales informativas de destino. El escudo será de tres formas, según se trate de carretera panamericana, carretera interamericana, ruta nacional. Cuando se instalen solos o formando conjuntos, se recortarán según la silueta correspondiente dejando un margen de 1 cm.

#### Flechas complementarias

Los escudos irán complementados con flechas que indiquen al usuario la trayectoria que sigue la ruta en su paso por las poblaciones. Estas flechas irán en tableros rectangulares colocados en la parte inferior de los escudos formando conjuntos en un mismo poste (fig. 3.1).

#### Tablero de señales de kilometraje

El tablero de señales de kilometraje será rectangular con las esquinas redondeadas, colocado con su mayor dimensión vertical. El radio para redondear las esquinas será de 4 cm, quedando el radio interior para la curvatura del contorno de 2 cm.

Las dimensiones en estas señales están en centímetros y los números entre paréntesis indican el número de serie empleada para cada ejemplo mostrado.

Figura 3.1 Ubicación de señales informativas de identificación en zona urbana

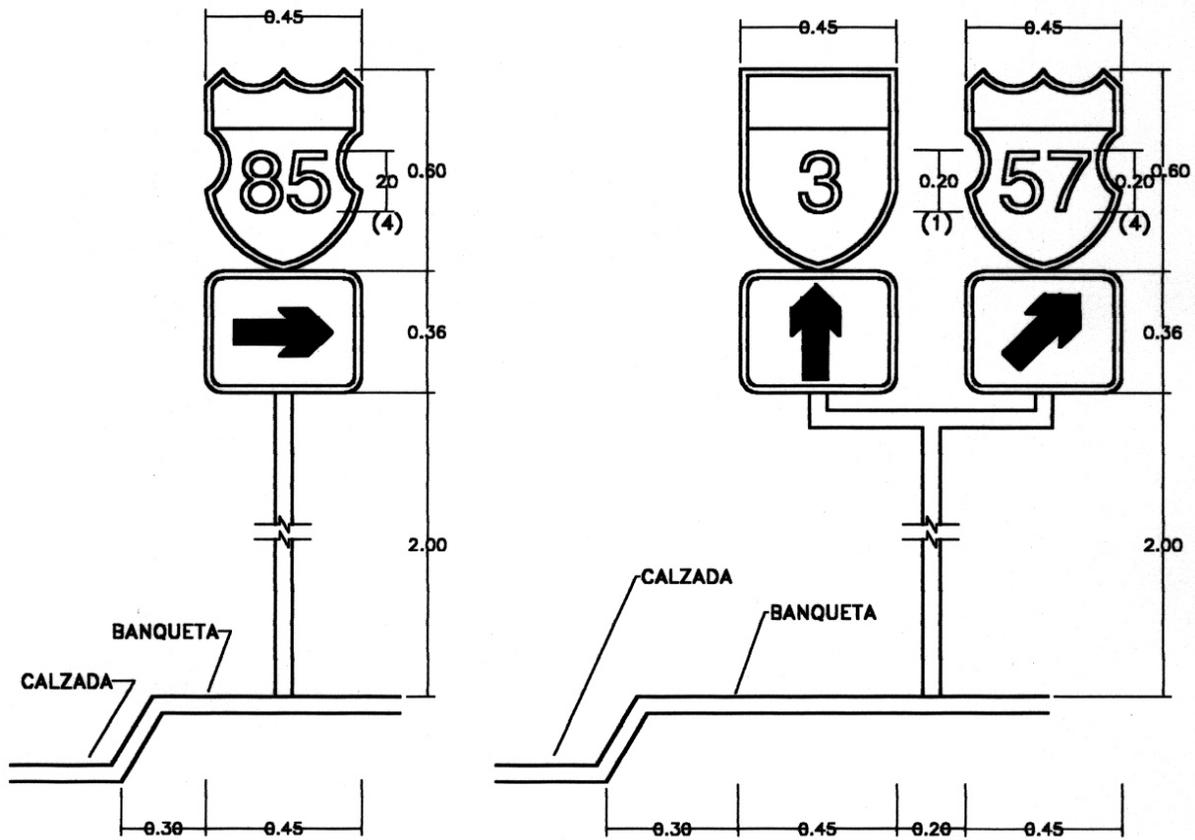


FIG.3.1

### **SII-3 Tamaño**

#### **Tablero de las señales de ruta**

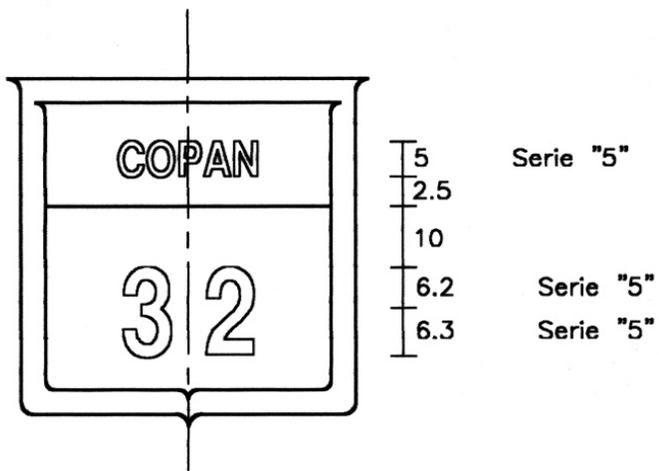
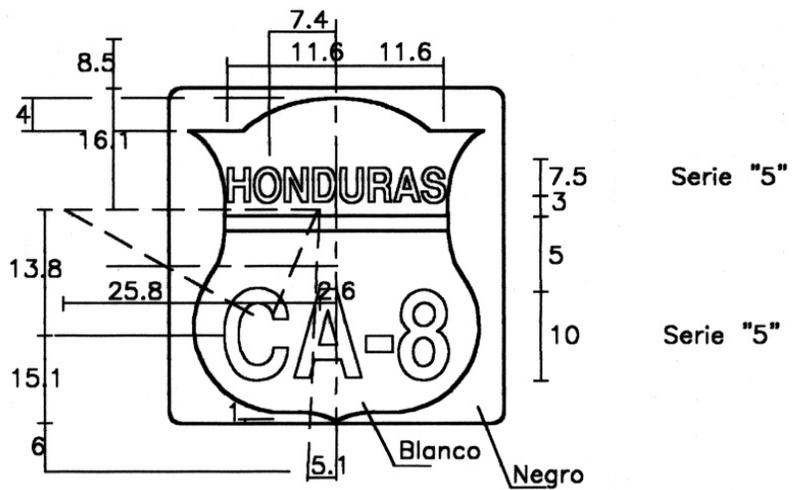
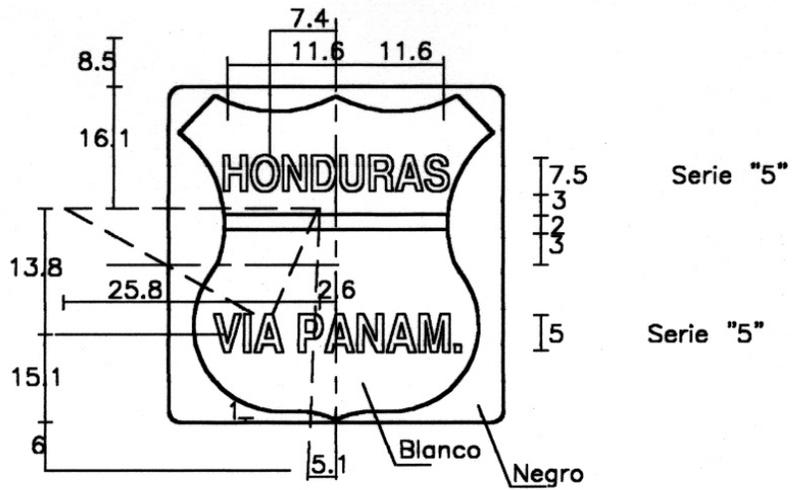
Las dimensiones para las señales de escudos de carretera se indican en las figuras 3.2. Las alturas se seleccionan de acuerdo a la tabla de página N<sup>o</sup> 64 del Manual Interamericano.

#### **Tablero de señales de kilometraje**

El tablero de las señales de kilometraje con

escudo, medirá en todos los casos 30x120 cm con altura de números de 15 cm serie 1 (tabla pag. 273 Manual Interamericano) y altura de letra para la abreviatura Km de 10 cm; llevará un escudo de ruta de 30x40 cm.

El tablero de las señales de kilometraje sin escudo medirá en todos los casos 30x76 cm con altura de número de 15 cm serie 1 y altura de letra para la abreviatura Km de 10 cm.



## **SII 4 - Ubicación**

### **Señales de ruta**

En zonas urbanas, por las que cruza una carretera, las señales de ruta se ubicarán a intervalos deseables de 200 m y siempre en aquellos lugares donde la ruta cambie de dirección o se intersecten dos rutas diferentes. Tanto los escudos como los conjuntos se colocarán en los lugares más visibles al conductor.

### **Señales de kilometraje**

En carreteras de dos carriles, las señales de kilometraje con escudo irán colocadas cada 5 kilómetros, en forma alternada, ubicando los números impares a la derecha y los pares a la izquierda en el sentido de avance del kilometraje. Los tableros sin escudo irán a cada kilómetro alternados de igual forma que los anteriores.

Al iniciarse un tramo con nuevo kilometraje, se colocará del lado derecho la señal de kilometraje correspondiente a cero con escudo de ruta.

Para las carreteras de cuatro o más carriles, las señales de kilometraje con escudo irán cada 5 kilómetros para cada sentido de circulación y los tableros sin escudo cada kilómetro.

### **SID- Señales informativas de destino**

#### **SID- 1 Uso**

Se usarán para informar a los usuarios sobre el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su

recorrido, podrán ser señales bajas, diagramáticas y elevadas.

Su aplicación es primordial en las intersecciones en donde el usuario debe elegir la ruta a seguir según el destino seleccionado.

Se emplearán en forma secuencial de manera que permitan a los conductores preparar con la debida anticipación su maniobra en la intersección, ejecutarla en el lugar debido y confirmar la correcta selección del destino.

#### **SID- 2 Forma**

Las señales informativas de destino serán tableros rectangulares con las esquinas redondeadas, colocadas con su mayor dimensión horizontal, sobre apoyos adecuados. El radio para redondear las esquinas del tablero de las señales bajas será de 4 cm, quedando el radio interior para la curvatura del filete de 2 cm. El filete y su separación al borde del tablero será de 1 cm.

El radio para redondear las esquinas del tablero de las señales diagramáticas y elevadas será de 8 cm, quedando el radio interior para la curvatura del filete de 4 cm. El filete y su separación al borde del tablero será de 2 cm.

#### **SID- 3 Tamaño**

##### **Tablero de señales bajas**

La altura del tablero de las señales informativas de destino bajas se seleccionará conforme a lo establecido en la tabla de página 64 del manual interamericano. La longitud del tablero de las señales

informativas de destino bajas se definirá en función del número de letras que contenga la leyenda. Para señales de dos y tres tableros colocados en el mismo soporte, la longitud de los mismos será la que resulte con el destino que contenga el mayor número de letras. La tabla de página 65 del manual interamericano servirá como guía para la distribución de elementos en el tablero, así como para seleccionar la longitud del mismo en base a la altura de las letras y a los elementos contenidos en la señal.

### **Tablero de señales diagramáticas**

El tablero de las señales diagramáticas será de grandes dimensiones y su tamaño quedará definido según si su localización es en zona rural o urbana.

En zona rural, las dimensiones del tablero serán variables y estarán en función del caso particular que se esté tratando; sin embargo, en ningún caso el tablero deberá tener más de 3.66 m de alto por 6.10 m de base y no menos de 2.44 m de alto por 3.66 m de base. Las letras deberán ser de 30 a 35 cm. de altura, el escudo de 45 x 60 cm y las flechas alargadas con rasgo de 15 cm para la trayectoria principal de 10 cm para las rampas. La distribución de las leyendas será aquella que no origine confusión para el usuario.

En zona urbana estas señales se utilizarán para indicar movimientos indirectos de vuelta izquierda en intersecciones, sus dimensiones serán de 1.00 x 1.50 m y generalmente se colocarán con su mayor dimensión horizontal; no llevarán leyendas ni escudos y el rasgo de la flecha alargada será de 8 cm.

### **Tablero de señales elevadas**

La altura del tablero de las señales informativas de destino elevadas, se seleccionará de acuerdo a lo indicado en la tabla de pag. 65 del manual interamericano.

Como guía para la distribución de los elementos en el tablero, así como para seleccionar la longitud del mismo en base a la altura de las letras y a los elementos contenidos en la señal se usará la tabla de pág. 66 del manual interamericano.

### **SID- 4 Ubicación**

De acuerdo a su ubicación longitudinal, las señales informativas de destino se clasifican en previas, decisivas y confirmativas.

#### **Previas**

Deberán colocarse anticipadas a la intersección, a una distancia tal que permita a los conductores conocer los destinos y preparar las maniobras necesarias para tomar el elegido.

La distancia a la que deberán colocarse las señales previas, dependerá de las condiciones geométricas y topográficas de las carreteras que se intersectan, así como de las velocidades de operación y de la presencia de otras señales con las que no deberán interferir; sin embargo, en ningún caso se colocarán a una distancia menor de 125 m de la intersección.

Cuando el camino principal sea de cuatro o más carriles, es recomendable colocar una señal previa adicional elevada a una distancia de 500 a 1000 m de la intersección, que

indique el carril y destino, con la finalidad de señalar al usuario, con la anticipación debida, el carril que debe tomar para llevar a cabo la maniobra deseada.

### **Decisivas**

Las señales decisivas se colocarán en el lugar donde el usuario pueda optar por la ruta que le convenga.

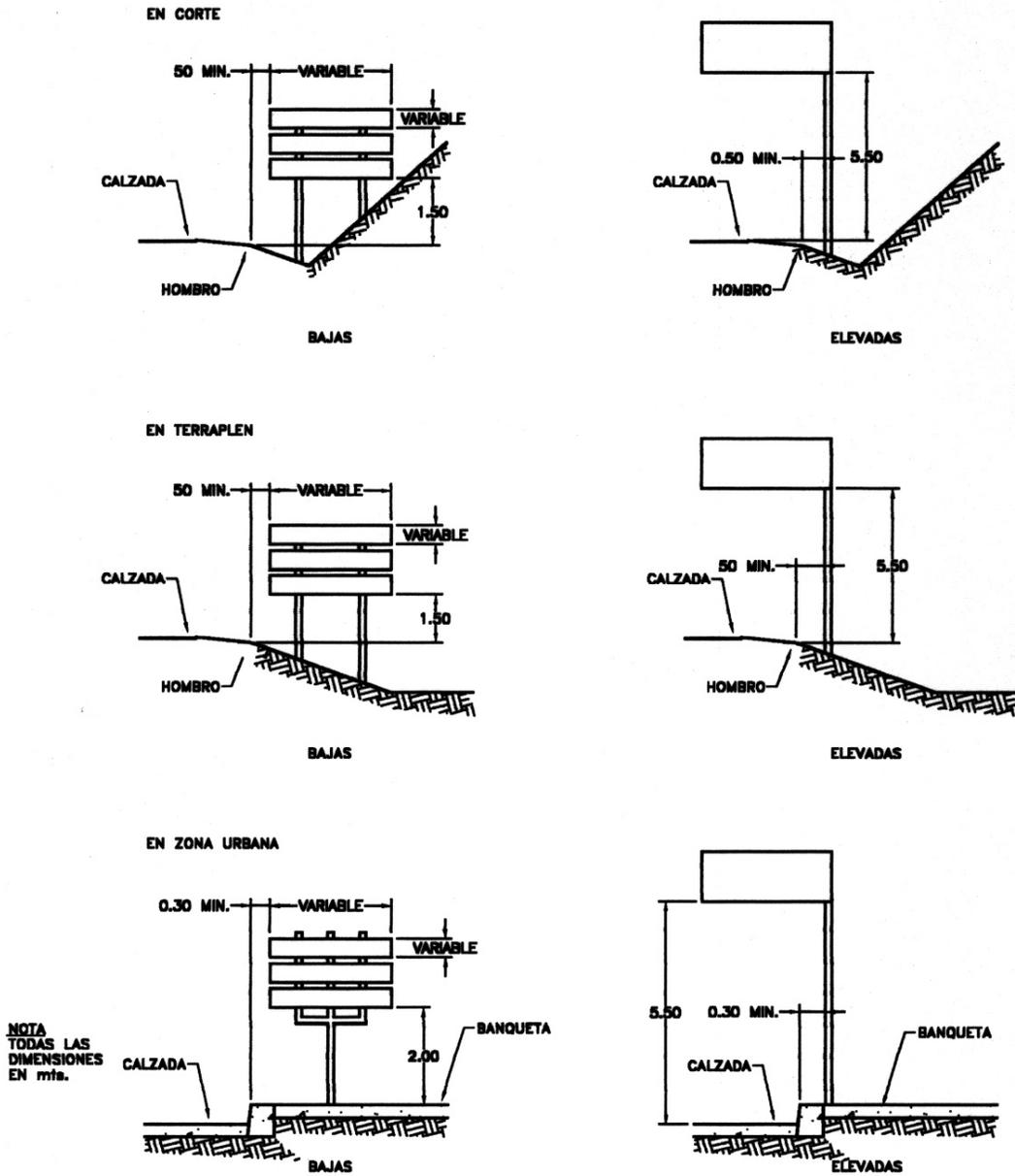
En el paso de las carreteras por las poblaciones, cuando se juzgue necesario

complementar las señales de identificación de ruta, se colocarán señales de destino decisivas en las intersecciones urbanas de importancia para la ruta o rutas.

### **Confirmativas**

Las señales confirmativas se colocarán después de una intersección o a la salida de una población, a una distancia en donde no exista el efecto de los movimientos direccionales ni la influencia del tránsito urbano, pero en ninguno de los casos a una distancia menor de 100 metros.

### DISTANCIA LATERAL Y ALTURA DE LAS SEÑALES INFORMATIVAS DE DESTINO



DISTANCIA LATERAL Y ALTURA DE LAS SEÑALES INFORMATIVAS DE DESTINO

**SID- 5 Contenido**

En el tablero se indicará el nombre de los destinos, las flechas que indiquen las direcciones a seguir y en su caso, los escudos de las rutas correspondientes y/o las distancias en kilómetros por recorrer.

**Leyenda**

En las señales bajas se colocará un destino por renglón y en ningún caso más de tres destinos por señal. En las señales diagramáticas, se indicarán uno o dos destinos como máximo procurando indicar en el tablero, la geometría de las trayectorias a seguir en la intersección por medio de flechas alargadas así como los escudos de ruta y cuando se considere conveniente la velocidad permitida en las rampas. En las señales elevadas se deberá tener un destino por renglón y máximo dos destinos por tablero.

La separación y distribución de los elementos dentro del tablero de las señales, quedará de acuerdo con lo recomendado en las Tablas de página 65 y página 66 del manual interamericano, sin embargo, cuando se considere necesario, los espacios podrán variar para una mejor distribución siempre y cuando la señal no pierda su presentación y no se alteren las dimensiones del tablero.

La separación entre letras se determinará con base a las tablas correspondientes incluidas en el Apéndice II "Letras y números para señales", página 263 del manual interamericano.

La separación entre palabras será entre 0.5 y 1.0 de la altura de las letras mayúsculas.

Cuando la leyenda tenga números, la separación entre palabras y número será igual a la altura de las letras mayúsculas.

Cuando el texto de una leyenda en una señal, tenga menos letras que el texto que sirvió para dimensionar la longitud de la misma y se haya usado la máxima serie posible en su caso y aún sobre espacio, la leyenda no deberá centrarse o repartirse en la longitud del tablero, sino que se deberá escribir junto a la flecha y/o escudo respetando los espaciamientos correspondientes a la serie usada, excepto en las señales elevadas de puente con flecha hacia abajo en donde la leyenda deberá centrarse.

En el dimensionamiento de los textos de la señal deberá darse preferencia, hasta donde sea posible, al uso de serie 3. Cuando se utilicen en una misma señal, leyendas con diferentes series de letras, se recomienda el empleo de las combinaciones 1-2-3, 2-3-4 y 3-4-5, con el objeto de que nunca existan leyendas escritas con series cuya diferencia sea mayor de dos, como es el caso de las combinaciones 1-4 y 2-5.

Cuando el número de letras de una leyenda esté en el límite máximo indicado en las tablas de página 65 y 66 del manual interamericano se recomienda verificar la longitud del texto redimensionándolo de acuerdo a lo indicado en el Apéndice II mencionado anteriormente. Si en algunos de los tableros no es necesario el escudo, se podrán aumentar dos letras como mínimo y tres como máximo para una misma longitud de tablero y en el caso de las señales confirmativas que no llevan flecha, se podrán aumentar de una a dos letras.

**Flechas**

El modelo de flecha, ya sea horizontal, vertical o inclinada será el mismo en los tres casos y su longitud deberá ser de 1.5 veces la

altura de la letra mayúscula. Su forma y dimensiones se determinarán de acuerdo con la figura A y las tablas de página 65 y 66 del manual interamericano.

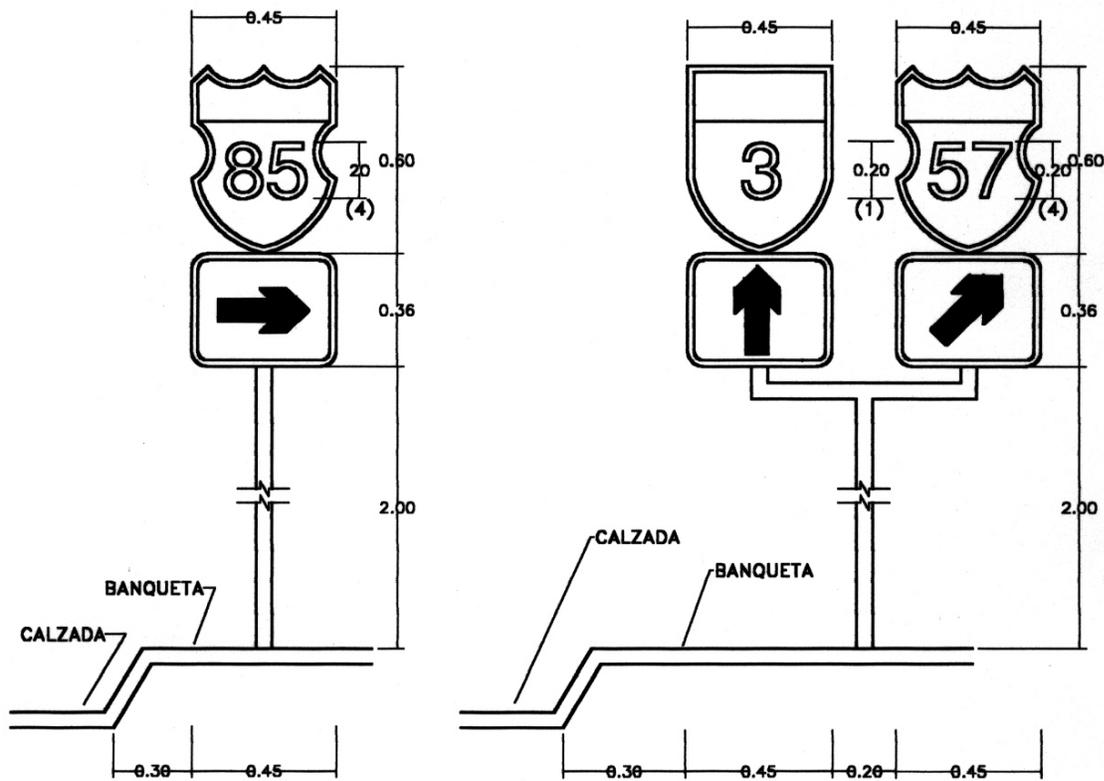


FIG.3.1

En el caso particular de señales de pórticos que indican el destino de cada carril la altura de la flecha se establecerá en función de la tabla de página 65 del manual interamericano.

### Escudos

Los escudos quedarán pintados sobre el tablero y distribuidos de acuerdo a las dimensiones establecidas en las tablas de página 65 y 66 del manual interamericano.

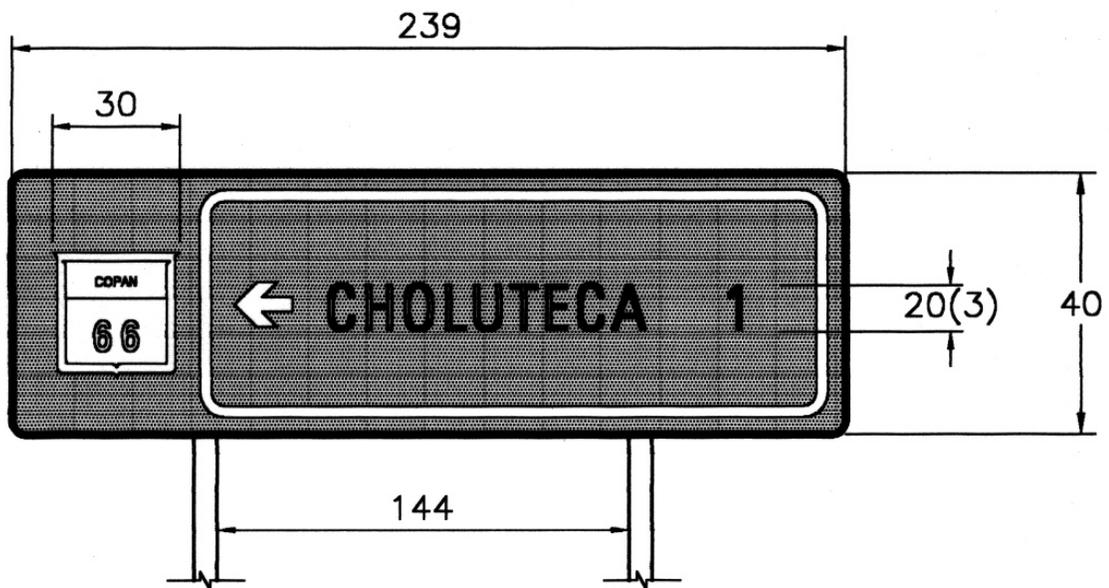
### Acceso a poblado

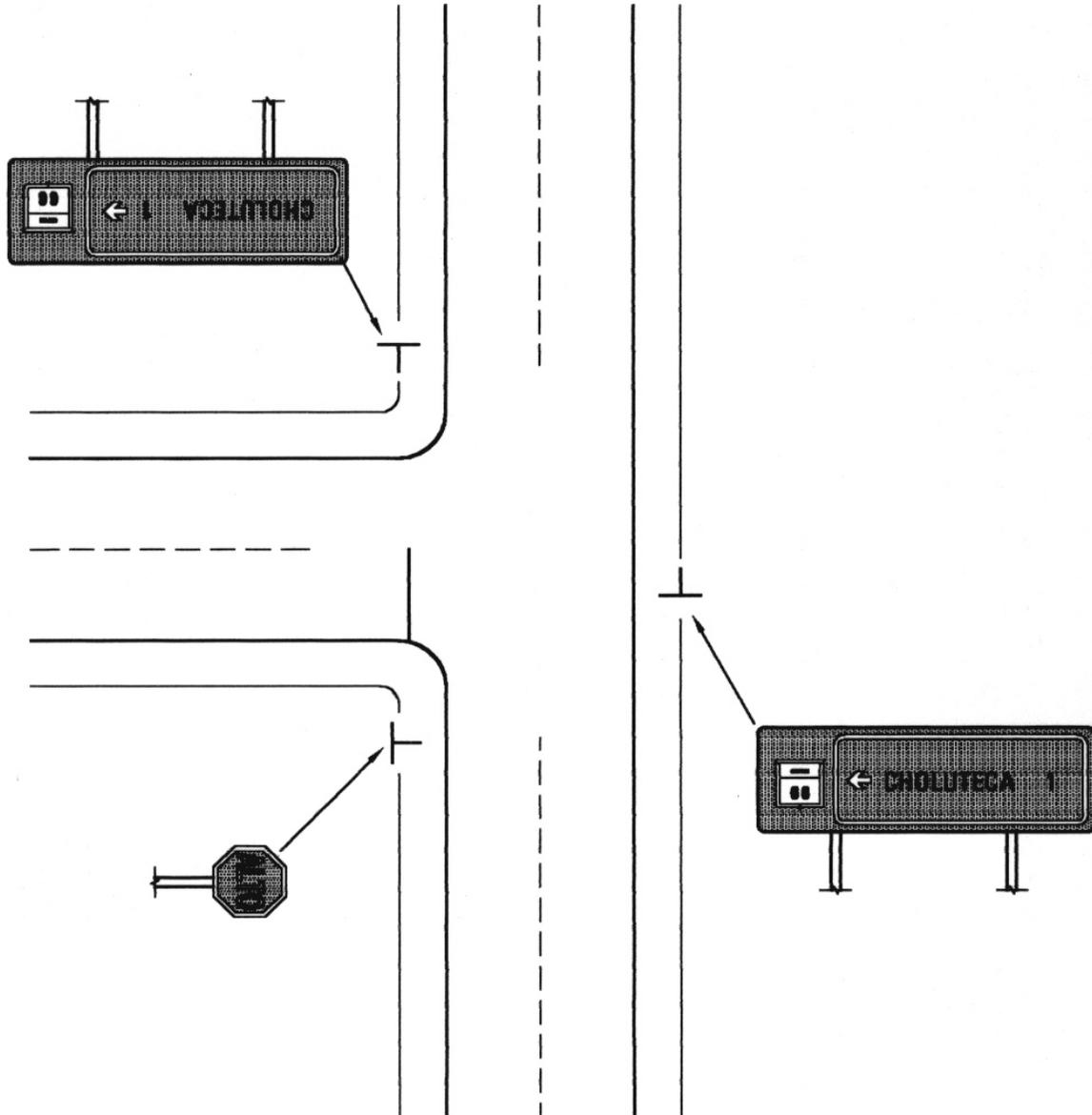
Se utilizará para indicar a los usuarios la presencia de poblados cercanos a la carretera conectados con ésta mediante un acceso simple y su ramal correspondiente.

Esta señal será baja, se ubicará en el lugar del acceso y llevará el nombre del poblado, su distancia en kilómetros y una flecha que indique la dirección al lugar.

Cuando el ramal de acceso tenga número de ruta, la señal deberá incluir el escudo correspondiente.

Para los accesos en zona urbana se utilizará un soporte especial de un solo apoyo en la acera.





## Intersecciones

Se utilizará en las intersecciones rurales de tres ramales, a nivel o a desnivel, para indicar a los usuarios el nombre de la población que tiene como destino cada una de los ramales.

Esta señal será baja y se usará primordialmente en las intersecciones formadas por carreteras de dos carriles; serán dos tableros colocados sobre un mismo soporte que indiquen los destinos de cada rama, los escudos de ruta cuando correspondan y las flechas que muestren la dirección a seguir en cada caso. También esta señal podrá integrarse en un solo tablero.

Para cada sentido de circulación se colocarán dos señales, una anticipada al lugar de la intersección llamándose en este caso "PREVIA", y otra en el lugar de la intersección la cual se denomina "DECISIVA".

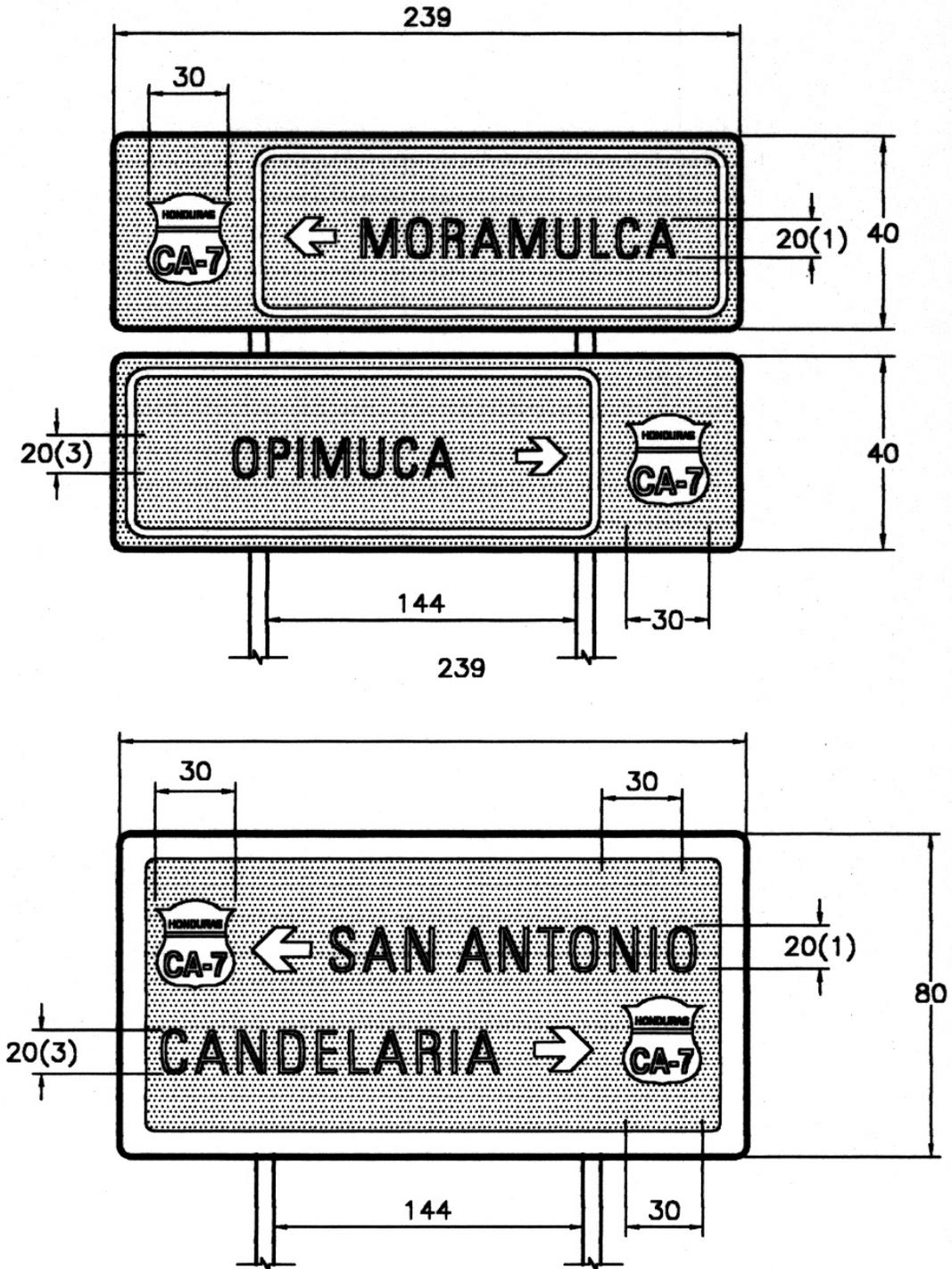
El nombre de los destinos deberá corresponder al de las poblaciones o lugares más cercanos a la intersección, donde empieza o termine el kilometraje de la carretera. En el tablero superior se indicará el destino que sigue de frente y en el inferior el de la derecha o izquierda.

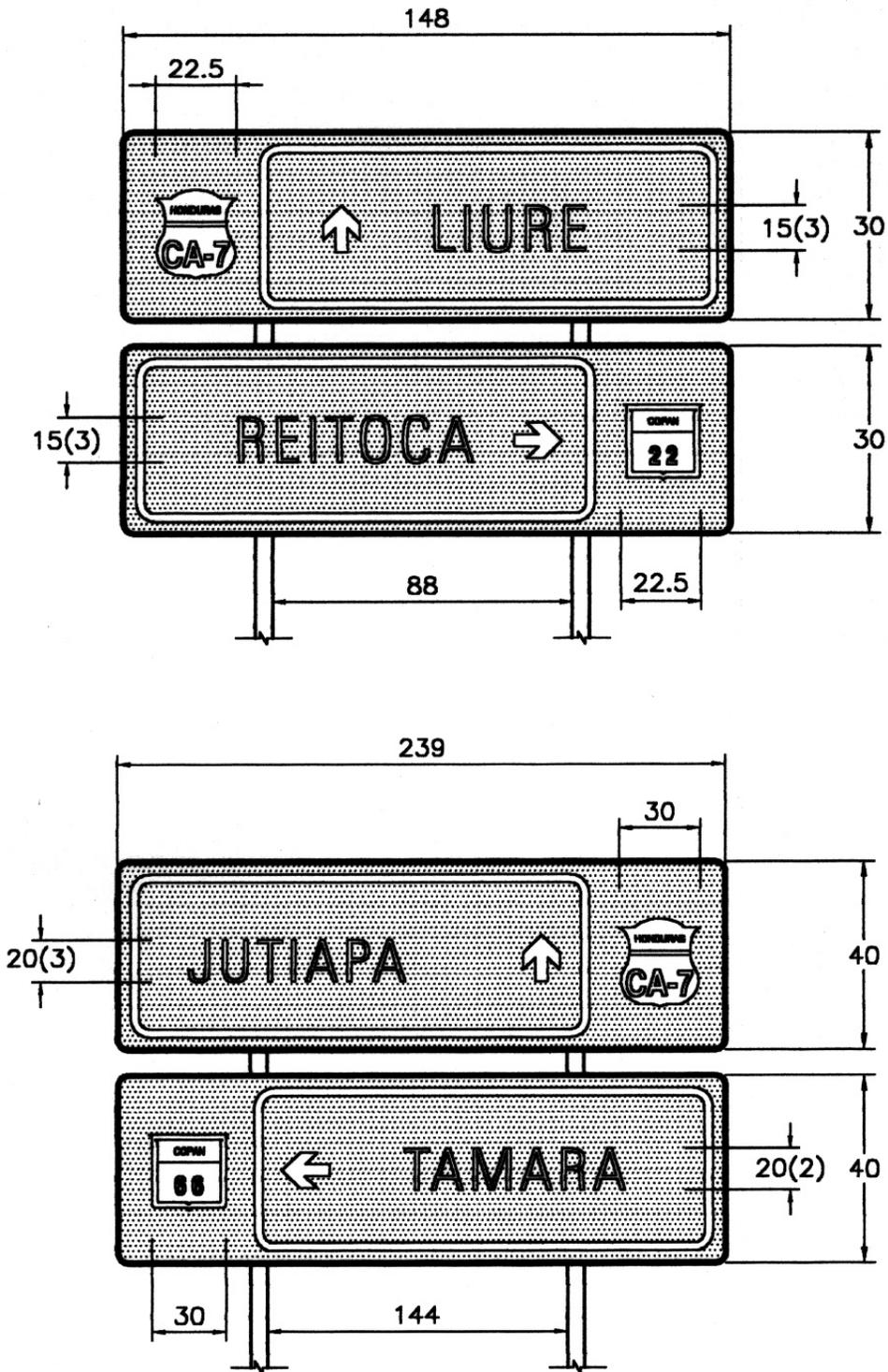
Cuando no exista destino de frente, en el tablero superior se indicará el destino de la izquierda y en el inferior el de la derecha.

**En una intersección izquierda, el escudo y la fecha del movimiento de frente se colocarán del lado derecho del tablero y en una intersección derecha, se colocarán del lado izquierdo con el propósito de alternar los escudos y las flechas direccionales con las del tablero inferior.**

Cuando el tránsito de la carretera secundaria deba hacer alto en la intersección para ceder el paso al de la carretera principal, la señal informativa de intersección previa de ese ramal, se sustituirá por una señal preventiva, complementada con un tablero adicional que indicará la distancia en que se encuentra la intersección, y la señal previa se ubicará al doble de la distancia mostrada en el tablero adicional.

Para las intersecciones urbanas se utilizará el mismo criterio expuesto para zonas rurales, con la salvedad de que las señales de intersecciones solo se colocarán en el lugar de la decisión usando un soporte especial de un solo apoyo en la acera.





## Cruce

Se utilizarán en las intersecciones rurales de cuatro ramales, a nivel y a desnivel, para indicar a los usuarios el nombre de la población que tiene como destino cada una de los ramales.

Esta señal será baja y se usará primordialmente en las intersecciones formadas por el cruce de carreteras de dos carriles; serán tres tableros colocados sobre un mismo soporte que indiquen los destinos de cada ramal, los escudos de ruta cuando correspondan y las flechas que muestren la dirección a seguir en cada caso. También esta señal podrá integrarse en un solo tablero.

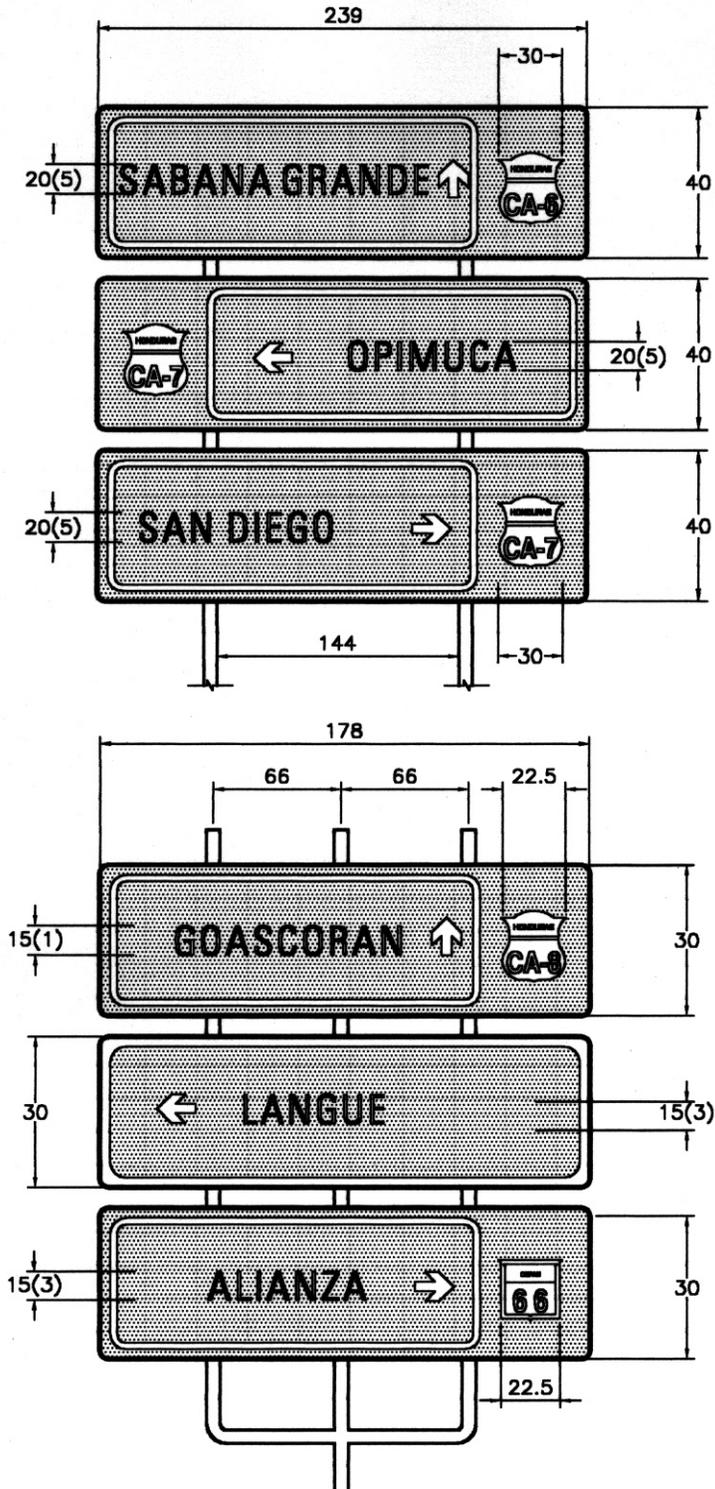
Para cada sentido de circulación se colocarán dos señales, una anticipada al lugar del cruce llamándose en este caso "PREVIA", y otra en el lugar del cruce le cual se denomina "DECISIVA".

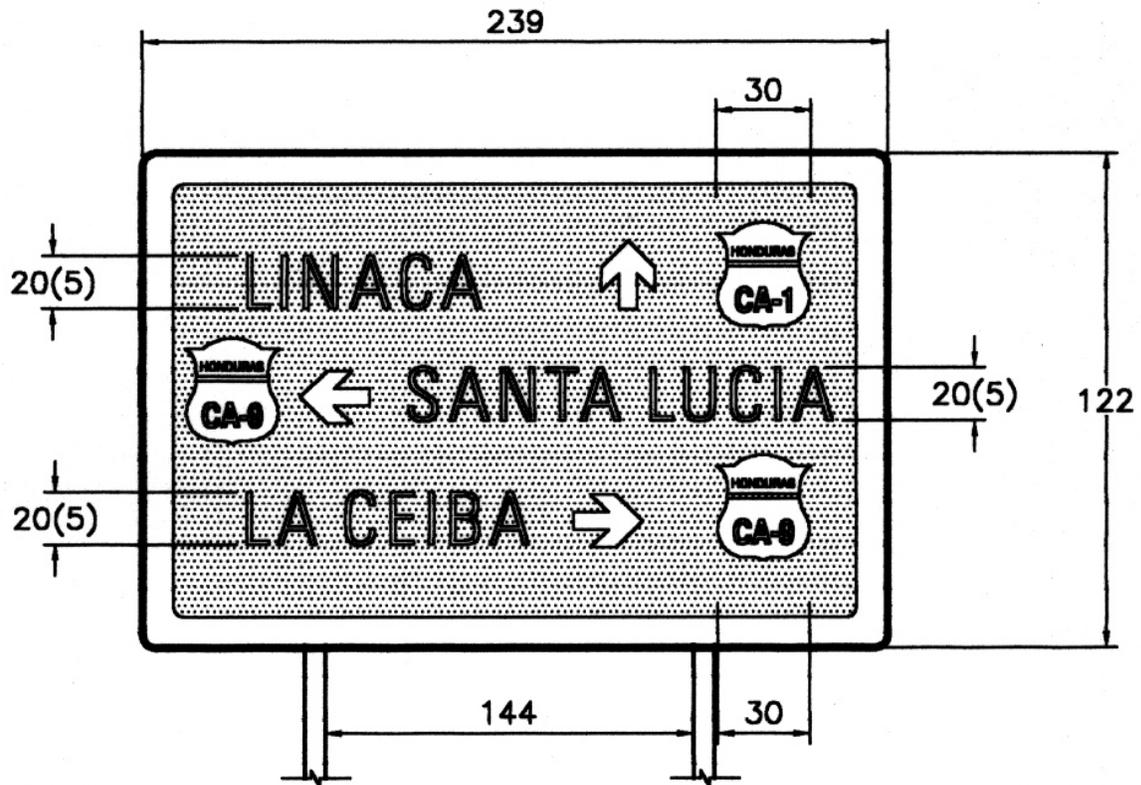
El nombre de los destinos deberá corresponder al de las poblaciones o lugares más cercanos a la intersección, donde empiece o termine el kilometraje de la carretera. En el tablero superior se indicará el destino que sigue de frente, en el tablero intermedio el de la izquierda y en el inferior el de la derecha.

*Conforme a la geometría de la intersección, el escudo y la flecha del movimiento que sigue de frente podrán colocarse a la izquierda o a la derecha del tablero, de tal manera que proporcione a los usuarios la indicación más clara de la dirección a seguir. La flecha y el escudo del destino de la izquierda se colocarán a la izquierda del tablero intermedio y en el tablero inferior la flecha y el escudo irán del lado derecho.*

Cuando el tránsito de la carretera secundaria deba de hacer alto en la intersección para ceder el paso al de la carretera principal, la señal informativa de cruce previa de ese ramal, se sustituirá por una señal preventiva, complementada con un tablero adicional que indicará la distancia en que se encuentra la intersección, y la señal previa se ubicará al doble de la distancia mostrada en el tablero adicional.

Para las intersecciones formadas por el cruce de carreteras en zona urbana, se utilizará el mismo criterio expuesto para intersecciones rurales, con la salvedad de que las señales de cruce solo se colocarán en el lugar de la decisión usando un soporte especial de un solo apoyo en la acera.



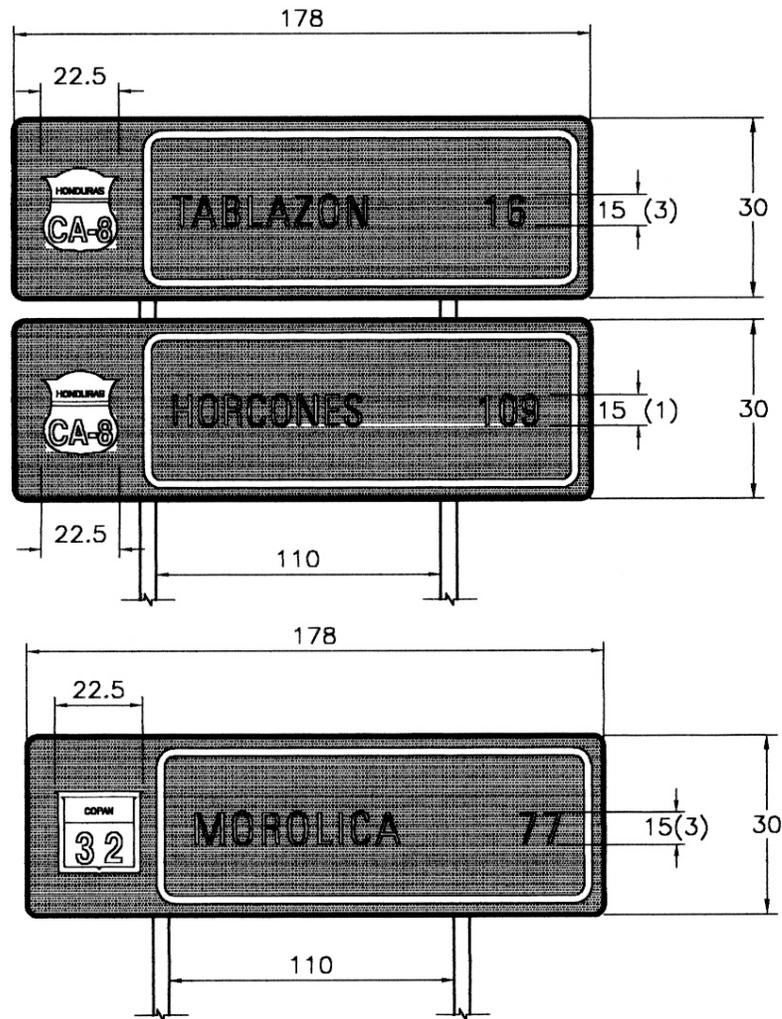


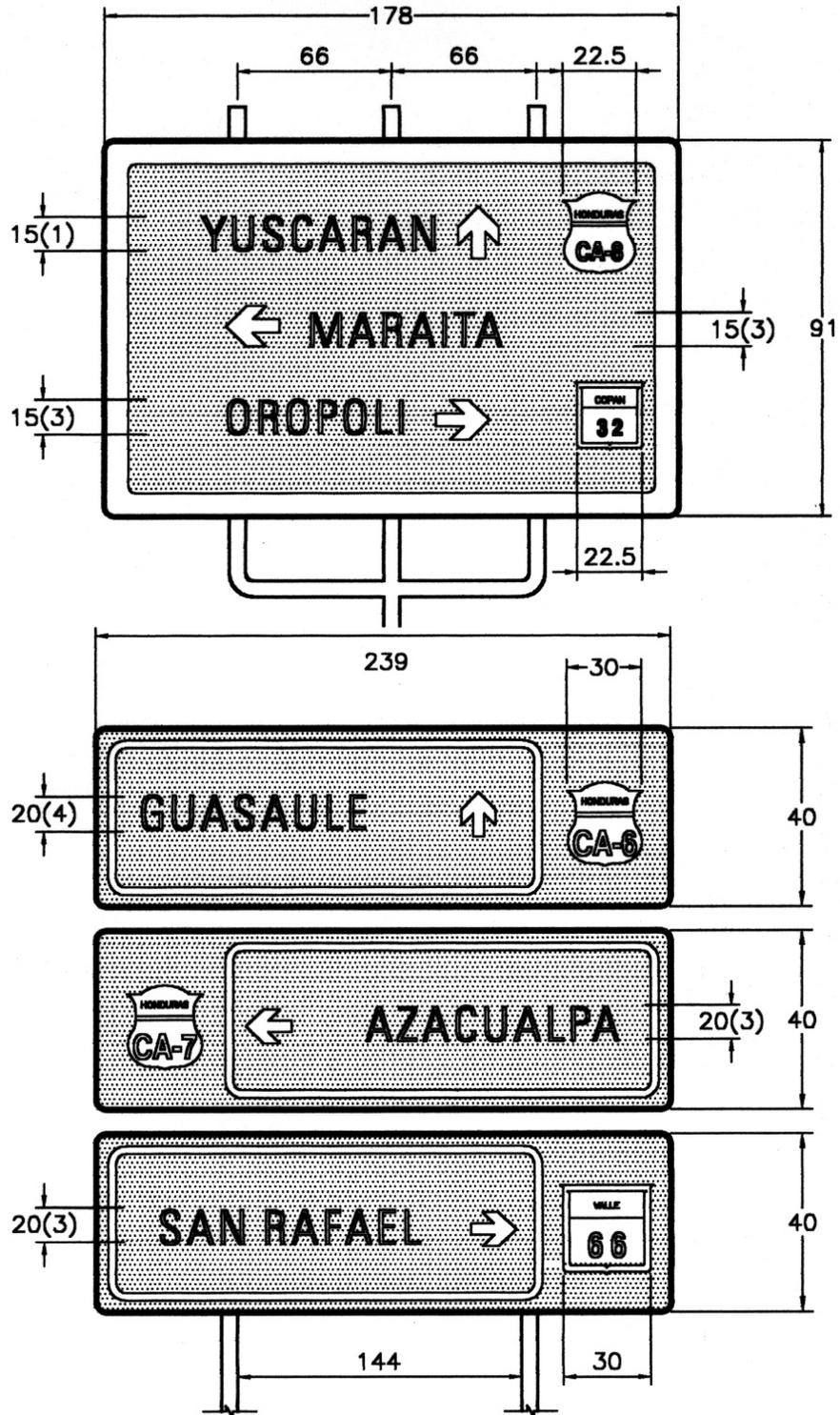
**Confirmativa**

Se usarán para indicar a los usuarios, después de su paso por una intersección o población, el nombre y la distancia por recorrer a las próximas poblaciones, además de confirmar la ruta seleccionada.

La señal será baja y estará formada por un tablero colocado en un soporte indicando el escudo de ruta cuando corresponda, el

nombre del mismo destino que aparece en las señales previa y decisiva de la intersección y la distancia, en kilómetros, a la que se encuentra el destino. Cuando sea necesario indicar una población intermedia de cierta importancia, se utilizará un tablero inferior colocado en el mismo soporte en el que se indicará igualmente el escudo de ruta, el nombre de la población intermedia y su distancia en kilómetros.





## Diagramática

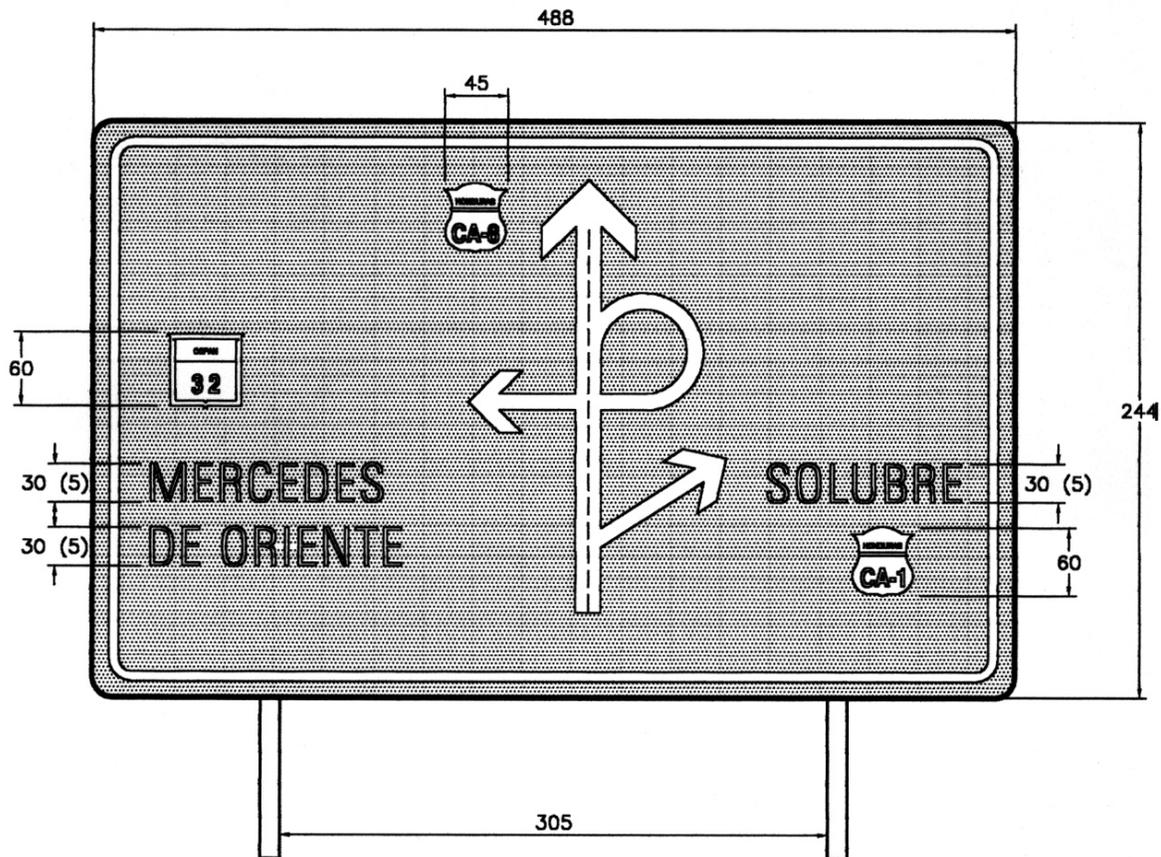
Se utilizará en las intersecciones rurales a nivel o a desnivel y en los retornos rurales, cuando la carretera sea de cuatro o más carriles, indicando al usuario, además de los destinos, la geometría de las trayectorias a seguir en la intersección.

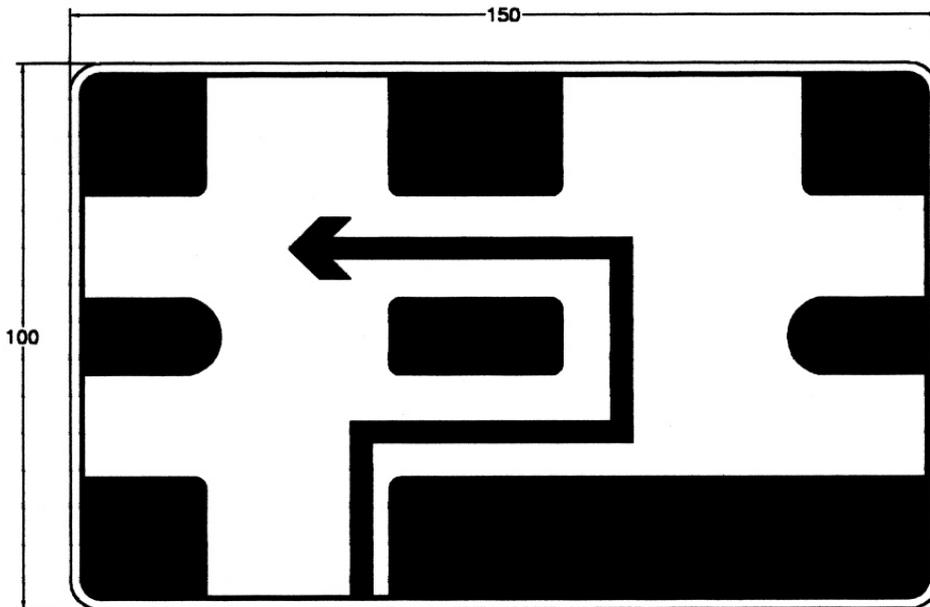
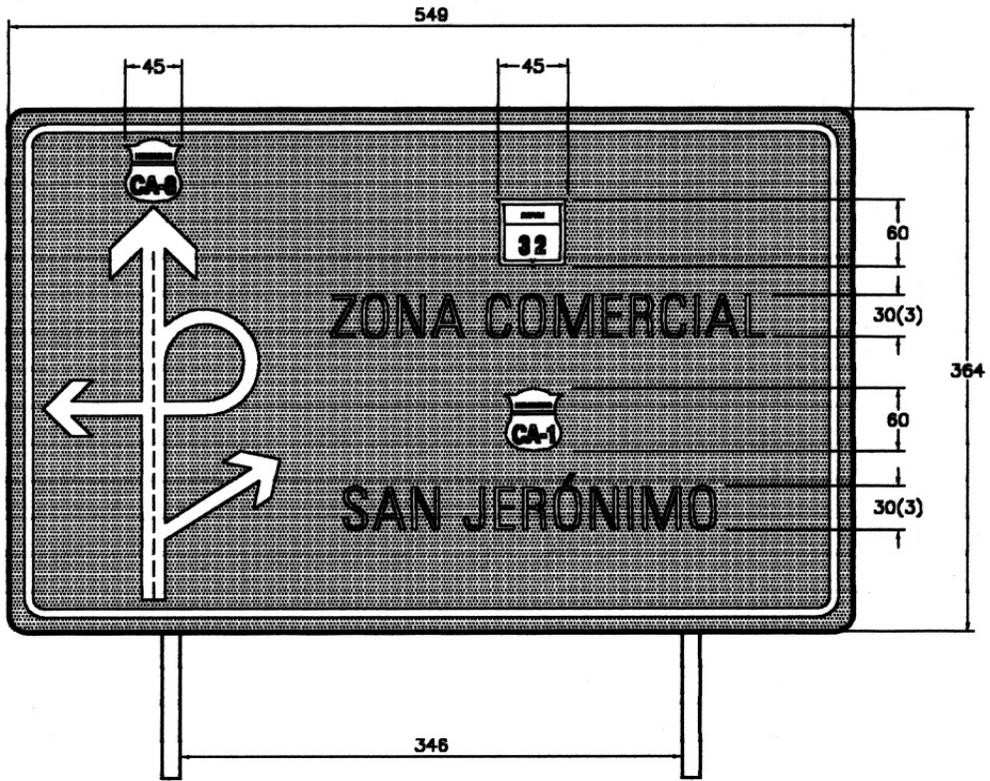
Esta señal será baja y se colocará para cada sentido de circulación, anticipada al lugar de la bifurcación, por lo que solamente será "PREVIA", a una distancia que no deberá ser

menor de 200 metros.

Como complemento a esta señal, es recomendable colocar una señal previa adicional a una distancia de 1000 a 2000 m de la intersección, que indique el carril para cada destino.

La señal diagramática en zona urbana se utilizará en las intersecciones donde sea necesario ilustrar con un diagrama, los movimientos indirectos de vuelta izquierda.





## Ménsula

Se utilizará en las intersecciones rurales o urbanas, a nivel o a desnivel, indicando a los usuarios el nombre de la población que tiene como destino cada una de los ramales.

Esta señal será elevada y en términos generales, su uso se justifica en los siguientes casos:

1. Cuando se desee dar indicaciones para un determinado carril.
2. En calles y carreteras de dos o más carriles en un solo sentido, por donde circulan altos volúmenes de tránsito.
3. En calles y carreteras donde no haya espacio para colocar las señales bajas a los lados.
4. En los ramales de las intersecciones de un camino, de dos o más carriles por sentido de circulación.
5. En las intersecciones de las carreteras de alta velocidad y vías rápidas urbanas.

**Para cada sentido de circulación se colocarán dos señales, una anticipada al lugar del cruce llamándose en este caso "PREVIA", y otra en el lugar del cruce, la cual se denomina "DECISIVA".**

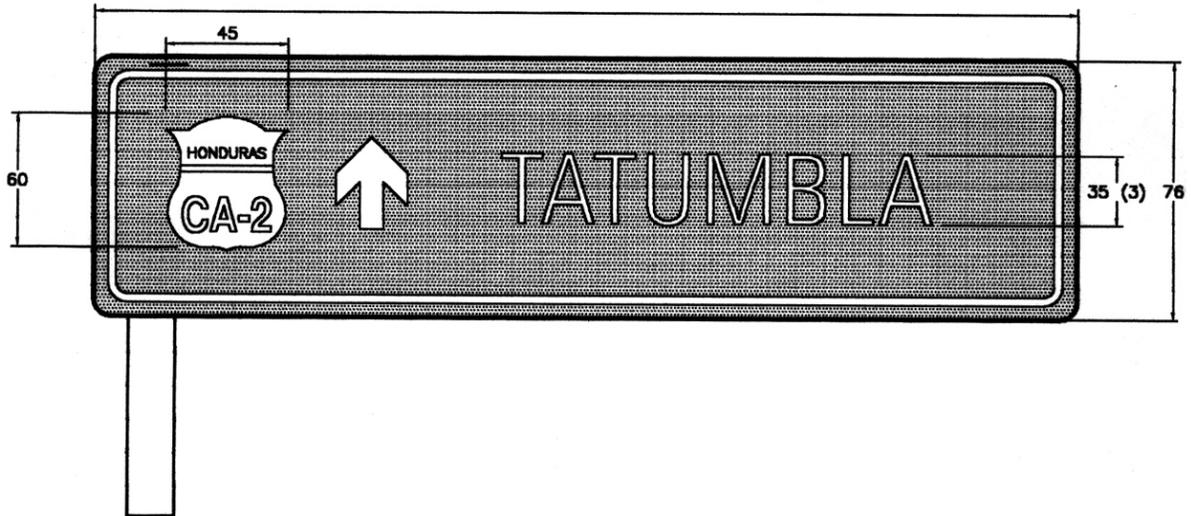
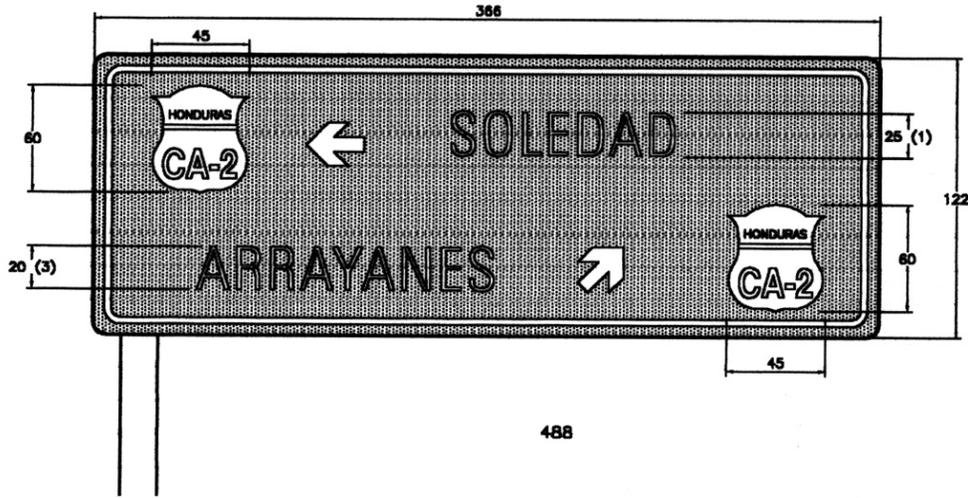
El nombre de los destinos deberá corresponder al de las poblaciones o lugares más cercanos a la intersección, donde empiece o termine el kilometraje de la carretera, indicando un destino por renglón y máximo dos destinos por tablero, los escudos de ruta cuando procedan y las flechas que muestren la dirección a seguir en cada caso.

En el renglón superior del tablero se indicará el destino que siga de frente y en el inferior el de la izquierda o el de la derecha. Cuando no exista destino de frente, en el renglón superior se indicará el destino de la izquierda y en el inferior el de la derecha.

En caso de intersección izquierda, el escudo y la flecha del movimiento de frente se colocarán del lado derecho del tablero; en caso de intersección derecha se colocarán del lado izquierdo con el propósito de alternar los escudos y las flechas direccionales.

Si la señal es previa adicional, se indicará en el renglón inferior del tablero, la distancia a la intersección próxima en kilómetros, o en metros cuando la distancia sea menor de un kilómetro.

Cuando exista alguna estructura elevada que cruce el camino, podrá aprovecharse para colocar sobre ella el tablero, ahorrando así el costo del soporte.



### Doble Ménsula

Se utilizarán en las bifurcaciones de las intersecciones rurales o urbanas a nivel o a desnivel, para indicar a los usuarios el nombre de la población que tiene como destino cada una de los ramales.

Esta señal será elevada y se usará principalmente, en las bifurcaciones de carreteras e intersecciones a desnivel por lo que, solamente será "DECISIVA". También podrá colocarse en aquellas intersecciones a nivel en donde la señal baja no es suficientemente visible.

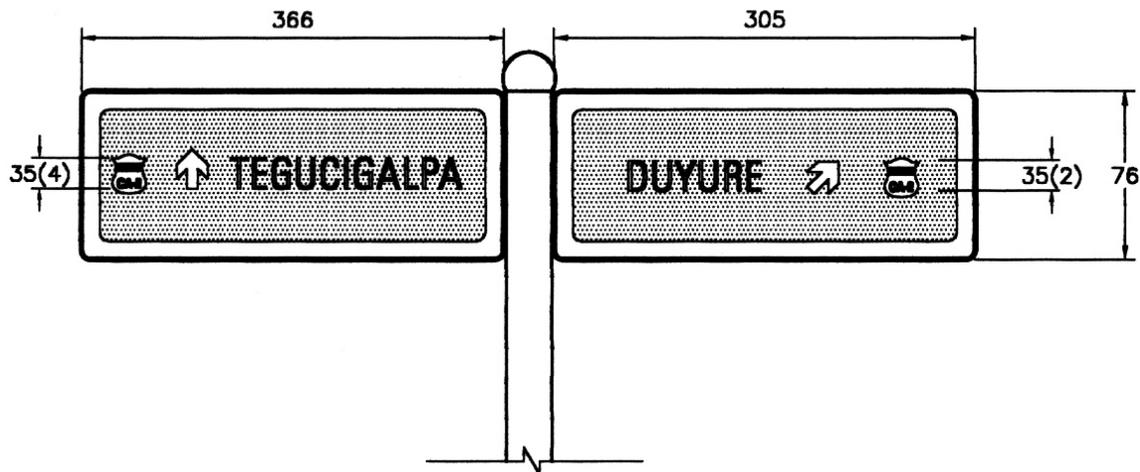
El nombre de los destinos deberá corresponder al de las poblaciones o lugares más cercanos a la intersección, donde empiece o termine el kilometraje de la carretera, indicando un destino por renglón y

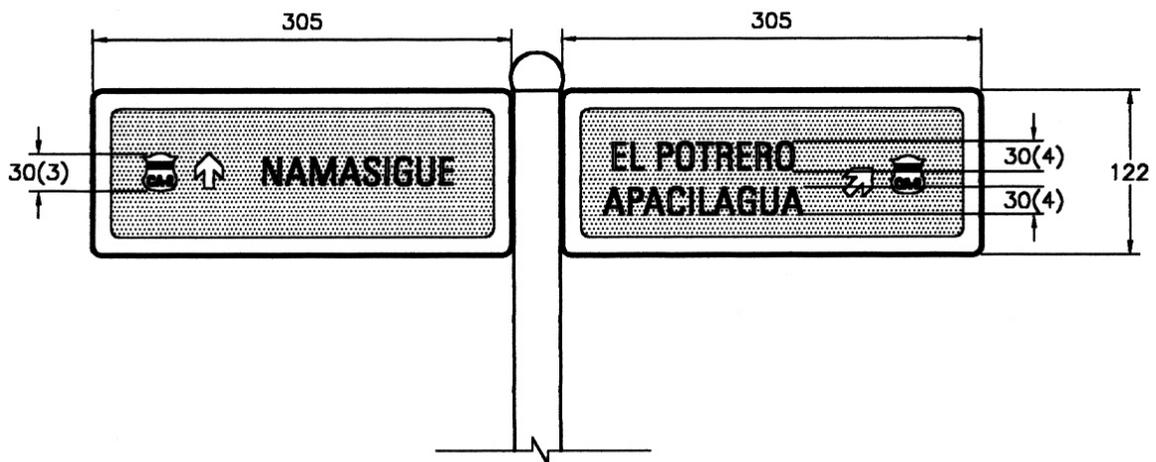
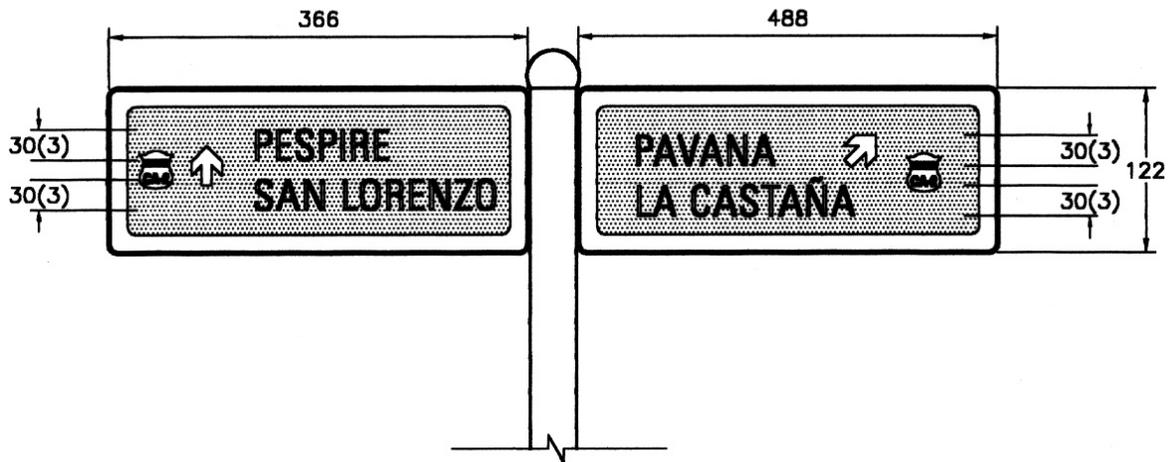
máximo dos destinos por tablero, los escudos de ruta cuando procedan y las flechas que muestren la dirección a seguir en cada caso.

Cuando uno de los tableros lleve dos renglones y el otro solamente un renglón, la altura de ambos tableros, será la misma, dimensionada con base al tablero de dos renglones; la leyenda del tablero de un renglón tendrá la misma altura de letra utilizada en el tablero de dos renglones y se colocará al centro del mismo.

La longitud de los tableros podrá ser diferente para la misma señal, ya que dependerá del número de letras de cada leyenda.

Cuando exista alguna estructura elevada que cruce el camino, podrá aprovecharse para colocar sobre ella los tableros, ahorrando así el costo del soporte.





## **Pórticos**

Se utilizarán en los ramales de las intersecciones rurales o urbanas, a nivel o a desnivel, para indicar a los usuarios el nombre de la población o lugar que tiene como destino cada una de los ramales o cada uno de los carriles.

Esta señal será elevada y en términos generales, su uso se justificará en los siguientes casos:

1. En carreteras de dos o más carriles por sentido de circulación.
2. En las intersecciones de las carreteras de alta velocidad i vías rápidas urbanas.
3. Cuando se desee dar indicaciones en los distintos carriles de circulación.

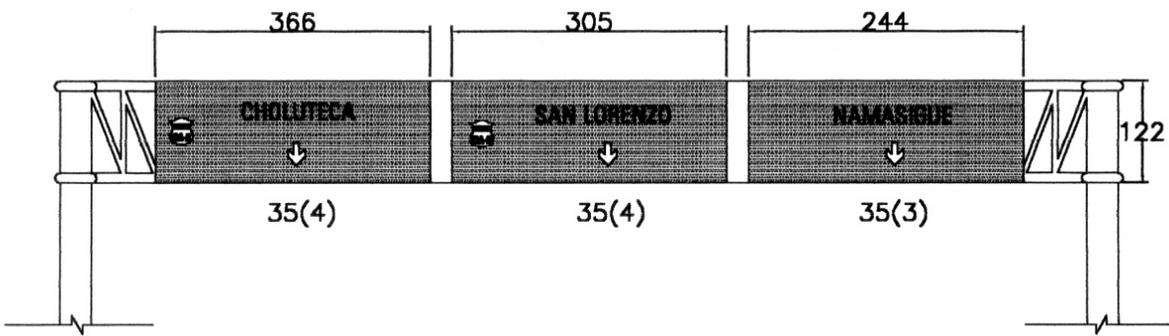
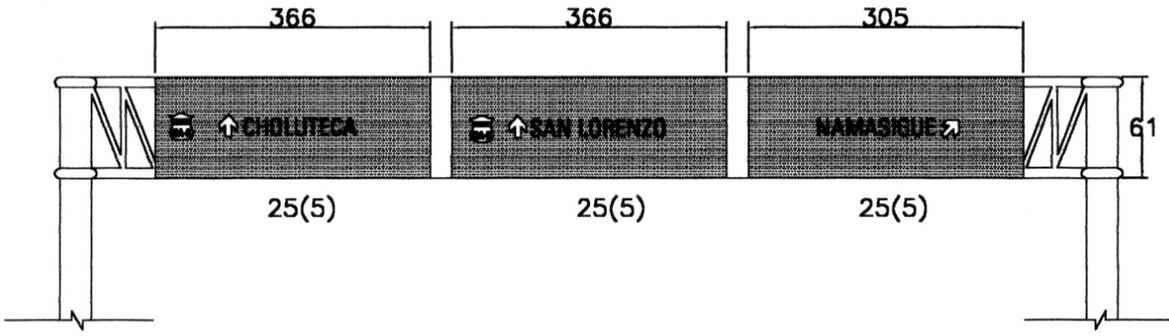
Para cada sentido de circulación se colocarán dos señales, una anticipada al lugar de la bifurcación a una distancia que no deberá ser menor de 200 m, llamándose en este caso "PREVIA", y otra en el lugar de la bifurcación a la cual se le denomina "DECISIVA".

Cuando estas señales se utilicen para indicar destinos en cada carril de circulación, se ubicarán de tal manera que cada tablero quede colocado sobre el carril correspondiente.

El nombre de los destinos deberá corresponder al de las poblaciones o lugares más cercanos a la bifurcación, donde empiece o termine el kilometraje de la carretera, indicando un destino por renglón y máximo dos destinos por tablero, los escudos de ruta cuando procedan y las flechas que indiquen la dirección a seguir en cada caso.

Cuando estas señales se utilicen para indicar él o los destinos de los ramales de una intersección, se usarán las flechas apuntando hacia arriba o hacia un lado; cuando se utilicen para indicar el destino de cada carril, el tablero llevará la leyenda en el renglón superior y la flecha apuntando hacia abajo, al centro del renglón inferior.

Cuando exista alguna estructura elevada que cruce el camino, podrá aprovecharse para colocar sobre ella los tableros, ahorrando así el costo del soporte.



## **SIR- Señales informativas de recomendación**

### **SIR-1 Uso**

Se utilizarán con fines educativos para recordar a los usuarios determinadas disposiciones o recomendaciones de seguridad que conviene observar durante su recorrido por calles y carreteras.

### **SIR-2 Forma**

Las señales informativas de recomendación son tableros rectangulares con las esquinas redondeadas, colocadas con su mayor dimensión horizontal sobre apoyos adecuados. El radio para redondear las esquinas será de 4 cm, quedando el radio interior de 2 cm para la curvatura del filete.

Tanto los tableros como los soportes deberán llenar condiciones de resistencia, durabilidad y presentación.

### **SIR-3 Tamaño**

La altura del tablero de las señales informativas de recomendación se seleccionará conforme a lo establecido en la tabla de página 66 del manual interamericano.

La longitud del tablero se definirá en función del número de letras que contenga la leyenda. La tabla de página 67 del manual interamericano servirá como guía para la distribución de elementos en el tablero, así como para seleccionar la longitud del mismo conforme al número de letras del texto.

### **SIR-4 Ubicación**

Las señales informativas de recomendación se colocarán en aquellos lugares donde sea conveniente recordar a los usuarios la observancia de la disposición de que se trate.

La colocación de estas señales no deberá interferir en ningún caso con cualquiera de los otros tipos de señales y de preferencia se ubicarán en tramos donde no existan aquellas.

### **SIR-5 Contenido**

En el tablero se indicará por medio de una leyenda, las diferentes disposiciones o recomendaciones, para los usuarios de las calles y carreteras. Deberá procurarse, hasta donde sea posible, que la leyenda tenga un máximo de cuatro palabras por renglón, pero en ningún caso más de dos renglones.

En el dimensionamiento de los textos de la señal, deberá darse preferencia al uso de la serie 3.

La separación y distribución dentro del tablero, quedará de acuerdo a lo establecido en la tabla de página 67 del manual interamericano, sin embargo, cuando se considere necesario, los espacios podrán variarse para una mejor distribución, siempre y cuando la señal no pierda su presentación y no se alteren las dimensiones del tablero.

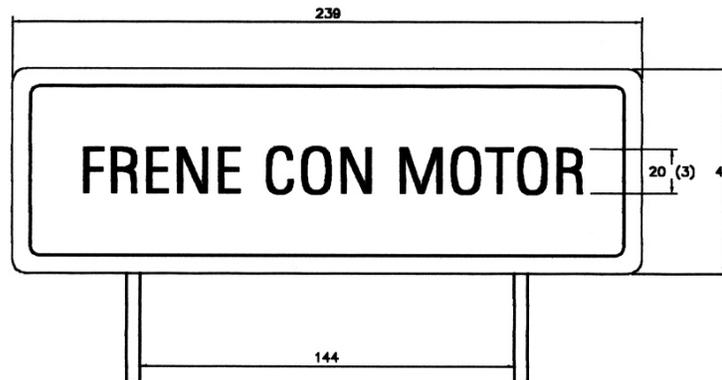
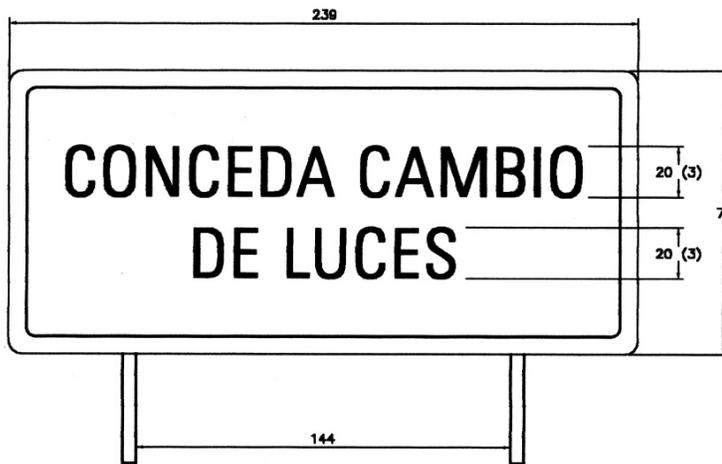
La separación entre letras esta determinada con base a las tablas correspondientes incluidas en el Apéndice II de página 263 del manual interamericano.

No hay límite sobre las disposiciones o recomendaciones al usuario; sin embargo debe restringirse el número de señales y evitar la diversidad en dimensiones.

**SIR-6 Color**

El color del fondo de las señales informativas de recomendación será blanco mate, con las letras y filete en negro.

Ejemplos señales informativas de recomendación



## **SIG Señales de información general**

### **SIG-1 Uso**

Se utilizarán para proporcionar a los usuarios, información general de carácter poblacional y geográfico, así como para indicar nombres de obras importantes en el camino, límites políticos, ubicación de casetas de cobro, puntos de inspección y sentido de circulación del tránsito, entre otras.

### **SIG-2 Forma**

Las señales de información general, son tableros rectangulares con las esquinas redondeadas, colocados con su mayor dimensión horizontal sobre apoyos adecuados. El radio para redondear las esquinas será de 4 cm, quedando el radio interior, de 2 cm para la curvatura del filete, excepto en la señal que indica el sentido de la circulación del tránsito, en la que el radio para redondear las esquinas será de 2 cm y no llevará filete.

Tanto los tableros como los soportes deberán llenar condiciones de resistencia, durabilidad y presentación.

### **SIG-3 Tamaño**

La altura del tablero de las señales de información general se seleccionará conforme a lo establecido en la tabla de página 67 del manual interamericano.

La longitud del tablero se definirá en función del número de letras que contenga la leyenda. La tabla de página 68 del manual interamericano servirá como guía para la distribución de elementos en el tablero, así

como para seleccionar la longitud del mismo conforme al número de letras del texto.

Las dimensiones del tablero para la señal que indica el sentido de circulación del tránsito, será de 30 x 91 cm para zona rural y de 20 x 61 cm para zona urbana.

### **SIG-4 Ubicación**

En general estas señales se colocarán en el punto al que se refiera la información de la leyenda o al principio del sitio que se desea anunciar.

Además de las señales que indiquen un punto de control, se colocarán señales previas, preferentemente a 500 y 250 m del lugar.

La señal que indica el sentido de circulación del tránsito, se colocará frente a los accesos de las intersecciones, en lugares con buena visibilidad y sin interferir en ningún caso con otras señales.

### **SIG-5 Contenido**

En el tablero se indicará a través de una leyenda, la información general necesaria para el usuario, excepto en la señal que indica el sentido de circulación del tránsito en el que solo aparecerá inscripta una flecha horizontal. Deberá procurarse, hasta donde sea posible, que la leyenda tenga un máximo de cuatro palabras por renglón pero en ningún caso más de dos renglones.

En el dimensionamiento de los textos de la señal, deberá darse preferencia al uso de la serie 3.

La separación y distribución dentro del

tablero quedará de acuerdo a lo establecido en la tabla de página 68 del manual interamericano; sin embargo, cuando se considere necesario, los espacios podrán variarse para una mejor distribución, siempre y cuando la señal no pierda su presentación y no se alteren las dimensiones del tablero.

La separación entre letras está determinada con base a las tablas correspondientes incluidas en el Apéndice II de página 263 del manual interamericano.

### **SIG-6 Color**

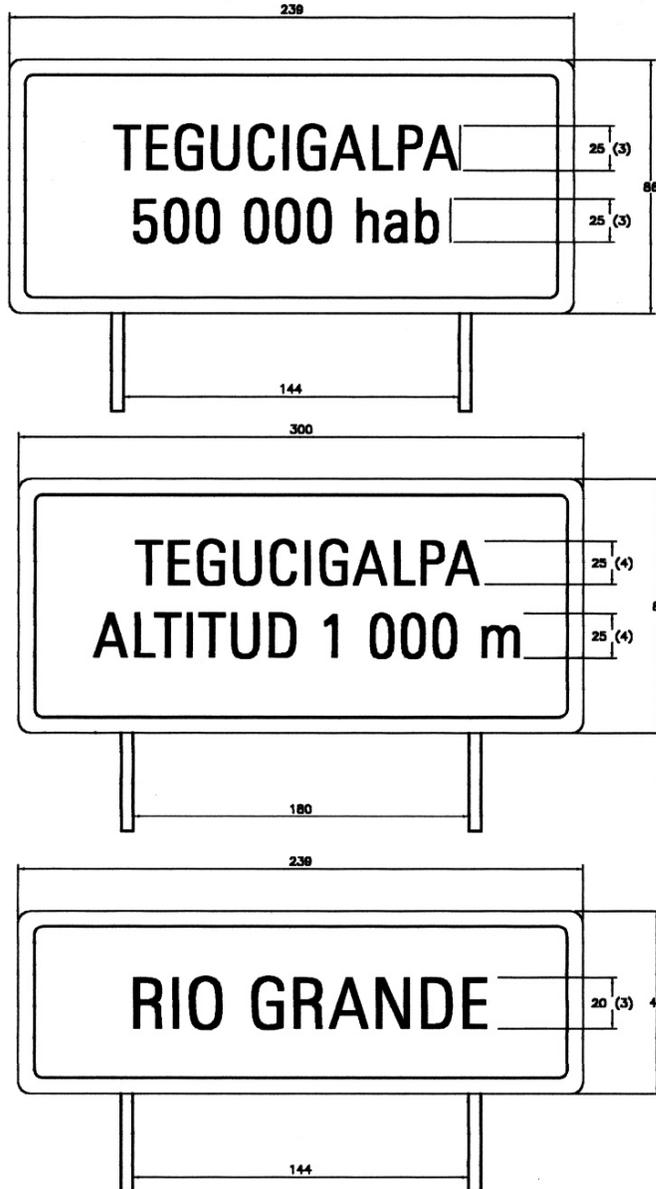
El color del fondo de las señales de información general será blanco mate, con letras y filete en negro, excepto las señales que indican puntos de control que por su importancia deberán ser reflejantes.

Las señales que indican el sentido de circulación del tránsito tendrán fondo negro y la flecha será de color blanco reflejante.

**SIG-7 Lugar**

Se utilizará para indicar a los usuarios el nombre del poblado o lugar de interés al cual están llegando.

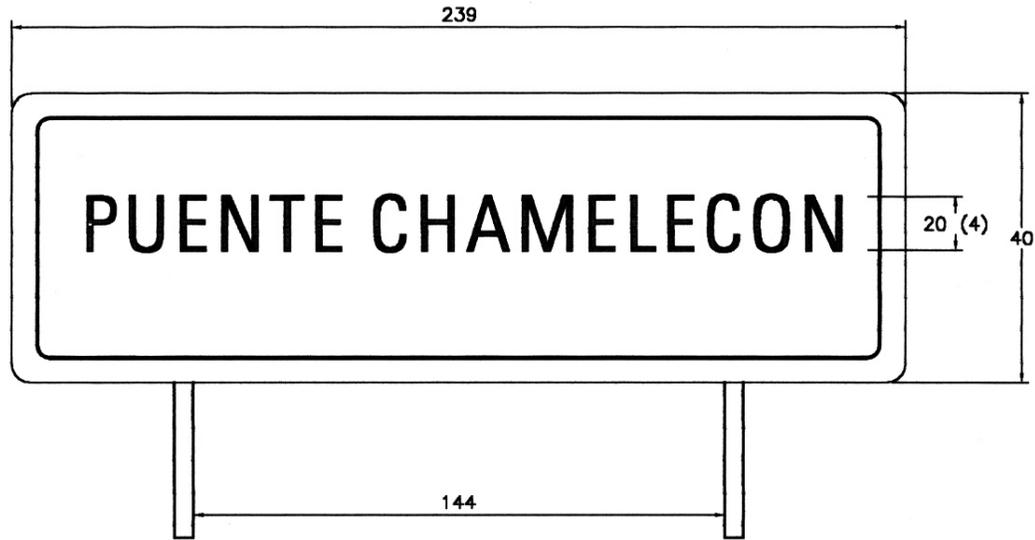
Deberá identificar poblaciones con su número de habitantes, nombre de ríos, delimitaciones geográficas como " Trópico de Cáncer " y " Paralelo 28 ", y nombre de algunos otros puntos notables del camino.



**SIG-8 Nombre de obras**

Se utilizará para informar a los usuarios el nombre de obras importantes por las que

cruza la calle o carretera tales como puentes, presas, vados, canales, túneles, etc. y se colocarán al principio de la obra en ambos sentidos del tránsito.

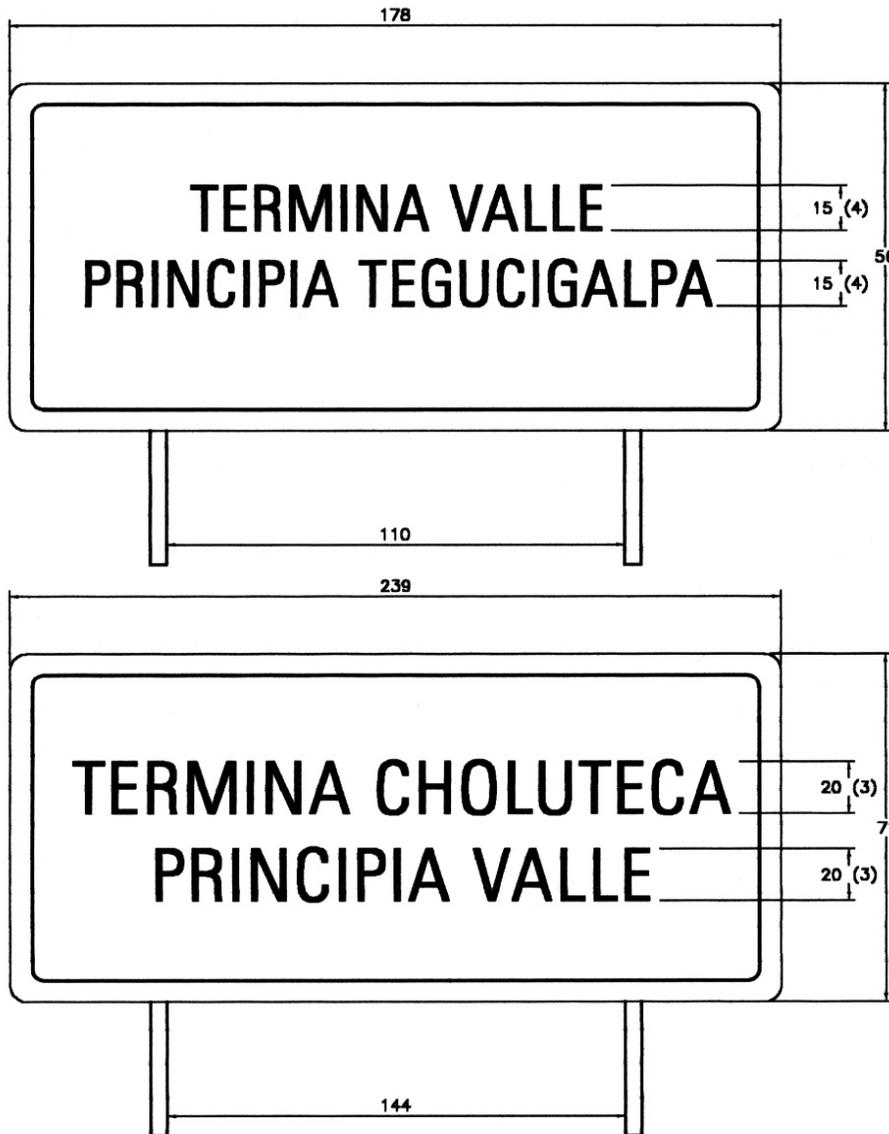


**SIG-9 Límites políticos**

Se utilizará en aquellos puntos de las calles o carreteras donde se cruce un límite político, ya sea de Estados, Municipios, Delegaciones, Sectores o Colonias.

Constará de dos renglones de tal forma que en el renglón superior se coloque el nombre de la entidad que termina y en el inferior el de la que principia.

Se colocará una señal para cada sentido del tránsito.



**SIG-10 Control**

Se utilizará para indicar a los usuarios la proximidad de un sitio en donde se debe hacer alto o un punto de control en las calles o carreteras tales como cabinas de cobro, inspección aduanera, forestal, militar,

sanitaria, etc.

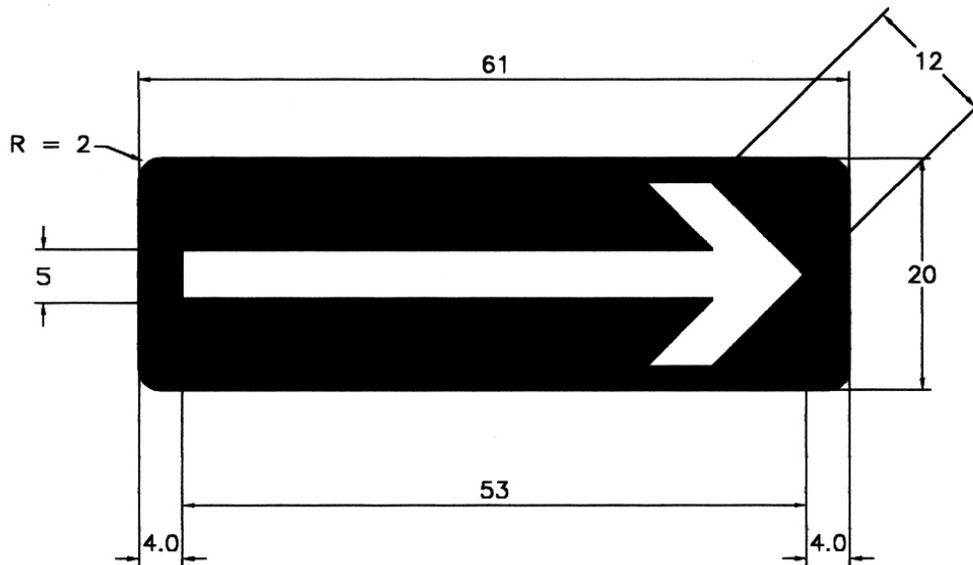
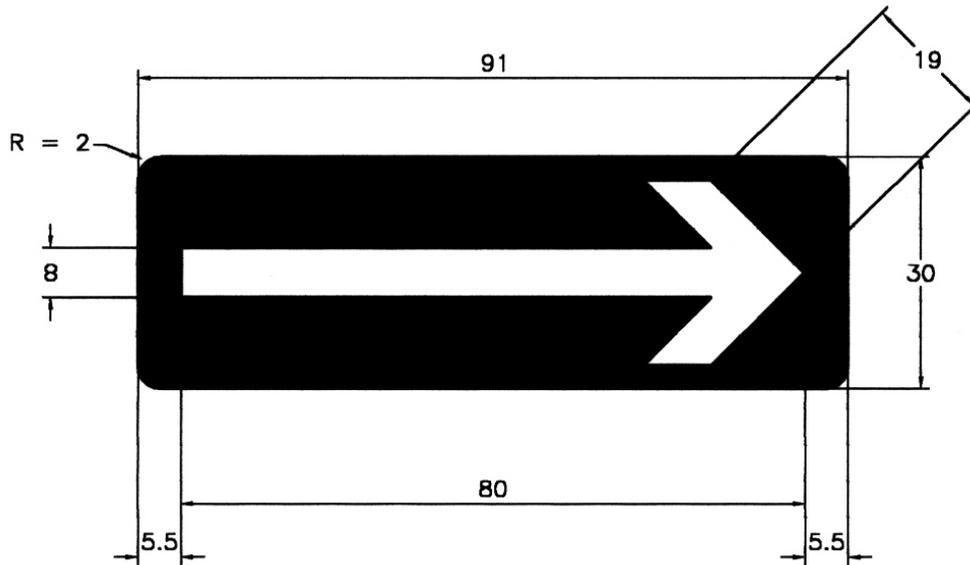
Se colocará una señal previa al lugar del alto a 150 m o dos señales previas al lugar de control, de preferencia a 500 y 250 m, indicando en los tableros el tipo de inspección o control y la distancia a que se encuentra.



**SIG-11 Sentido del tránsito**

Se usará para indicar a los usuarios que en la

calle o carretera que van a cruzar, el tránsito de vehículos está permitido en la dirección que muestra la flecha.



**SIST Señales informativas de servicios y turísticas****SIST-1 Uso**

Se utilizarán para informar a los usuarios la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico y/o recreativo. En algunos casos estas señales podrán usarse combinadas con una informativa de destino en un mismo tablero.

**SIST-2 Forma****Tablero de las señales**

El tablero de las señales informativas de servicios (SIS) y turísticas (SIT) será cuadrado con las esquinas redondeadas. El radio para redondear las esquinas será de 4 cm, quedando el radio interior para la curvatura del filete de 2 cm.

Cuando se requiera indicar varios servicios en forma simultánea que estén ubicados en la misma zona, se podrán emplear conjuntos hasta de cuatro señales.

Tanto los tableros como los soportes deberán llenar condiciones de resistencia, durabilidad y presentación.

**Tablero adicional**

Estas señales, podrán llevar un tablero adicional indicando la dirección o la distancia formando un conjunto. Generalmente este tablero será de forma rectangular con las esquinas redondeadas colocado con su mayor dimensión horizontal.

**SIST-3 Tamaño****Tablero de las señales**

El tablero de las señales informativas de servicios y turísticas, ya sea que lleve ceja perimetral doblada o sea placa plana sin ceja, tendrá las dimensiones de la tabla de página 68 del manual interamericano.

**Tablero adicional**

El tablero adicional que servirá para formar un conjunto, ya sea que lleve ceja perimetral doblada o sea placa plana sin ceja, tendrá las dimensiones de la tabla de página 68 del manual interamericano

**SIST-4 Ubicación**

Las señales informativas de servicios y turísticas se colocarán en el lugar donde exista el servicio y a un kilómetro del mismo, sin interferir en ningún caso con cualquiera de los otros tipos de señales.

Cuando existan servicios en un radio no mayor de cinco kilómetros de una intersección, se podrá colocar una señal informativa de servicio anticipada a la intersección, con una placa adicional indicando el nombre del poblado donde se presten estos servicios.

Cuando se estime conveniente, estas señales podrán colocarse a la salida de las poblaciones para indicar la distancia a la que se encuentra el o los servicios más próximos indicados en la señal.

**SIST-5 Color**

El color del fondo tanto del tablero de las señales como del tablero adicional será azul mate y los símbolos, letras, flechas y filete en blanco reflejante.

**Especificaciones Señales De Información****Procedimiento de elaboración**

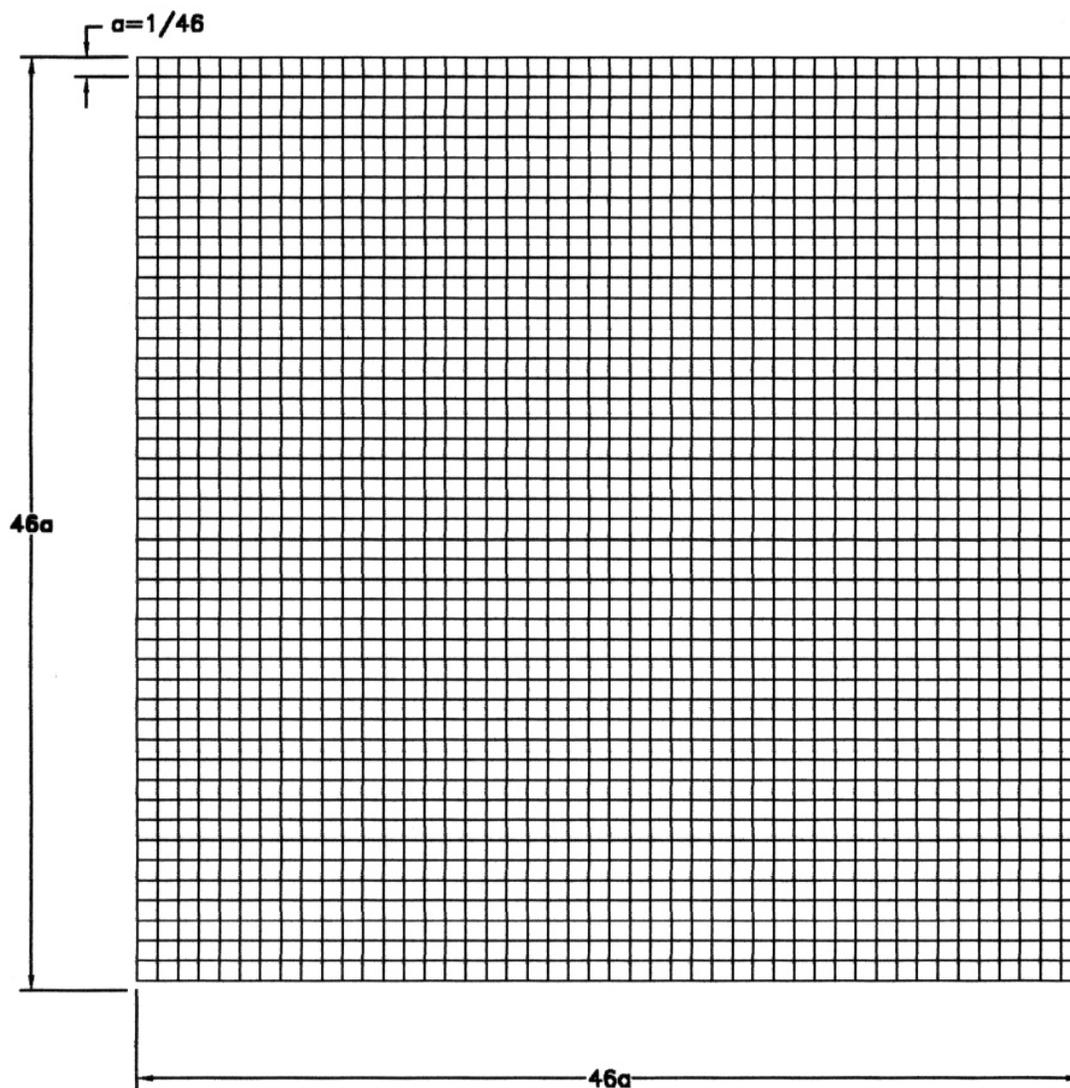
Cada señal presenta dos opciones para su elaboración, una para el sistema de proceso fotográfico y la otra por el método descripto a continuación.

A) Se elige el tamaño de la señal con base en lo establecido en la tabla de página 68 del manual interamericano, dividiéndose el tablero en 46 partes iguales tanto en el sentido horizontal como en el vertical, formando una retícula de forma cuadrada (fig. 3.5).

B) Se delinea la curvatura de las esquinas y el filete, de acuerdo a las dimensiones mostradas en el inciso SIST-2, y se delimita el área de aplicación, (fig. 3.6).

C) Finalmente cada símbolo deberá trazarse conforme a los rasgos indicados en cada figura.

**FIGURA 3.5 RETÍCULA AUXILIAR DE TRAZO**



**FIGURA 3.5  
RETÍCULA AUXILIAR DE TRAZO**

FIGURA 3.6 ÁREA DE APLICACIÓN Y ELEMENTOS BÁSICOS DE TRAZO

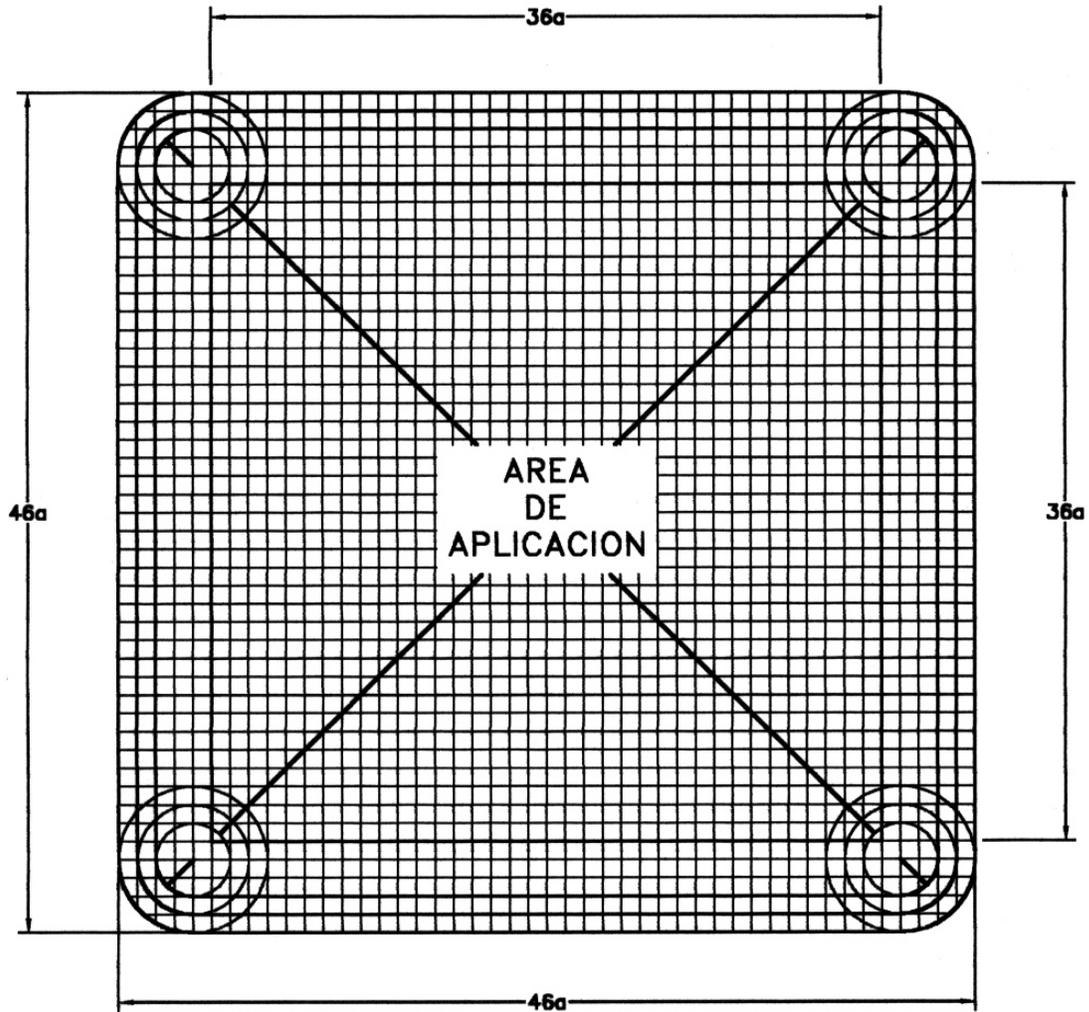
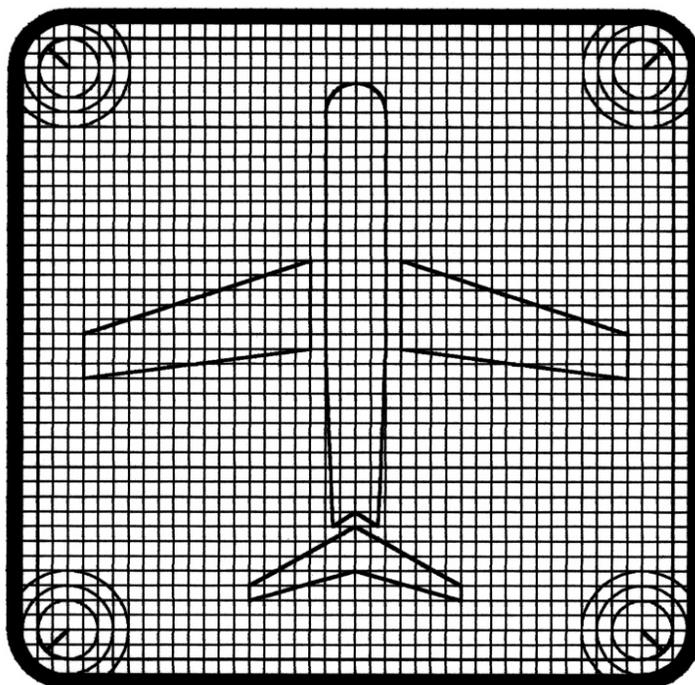


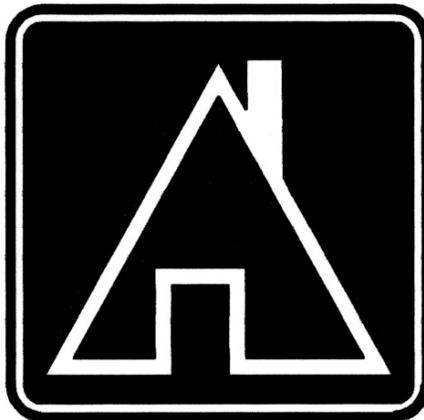
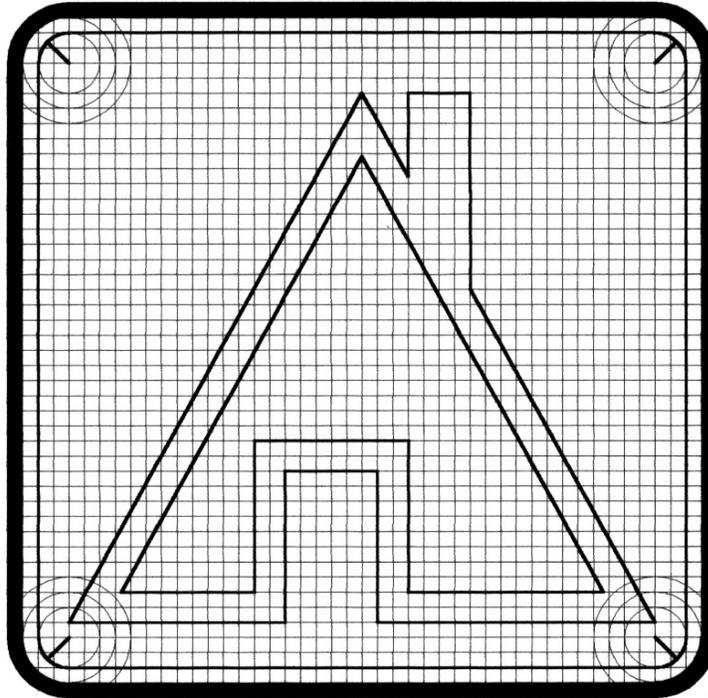
FIGURA 3.6  
AREA DE APLICACION Y ELEMENTOS BASICOS DE TRAZO

**SIS-1 AEROPUERTO**



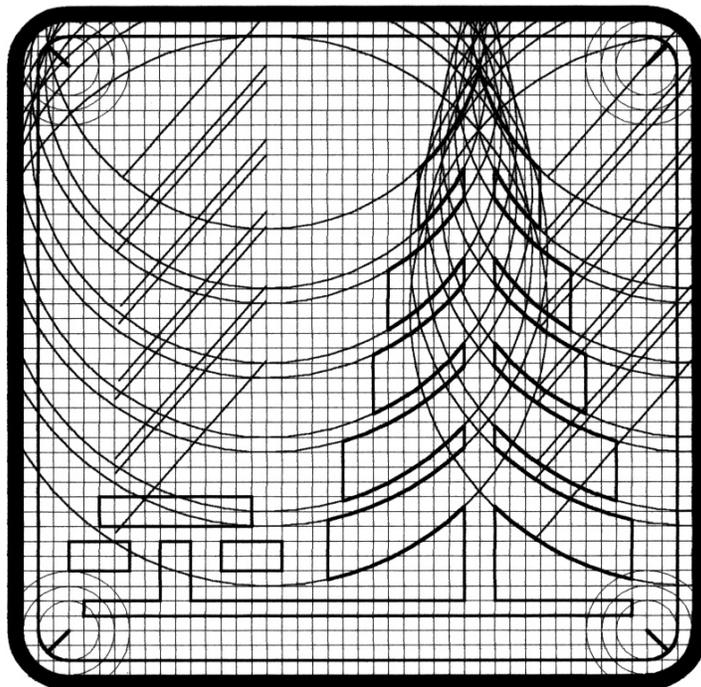
**SIS-1  
AEROPUERTO**

**SIS-2 ALBERGUE**



SIS-2  
ALBERGUE

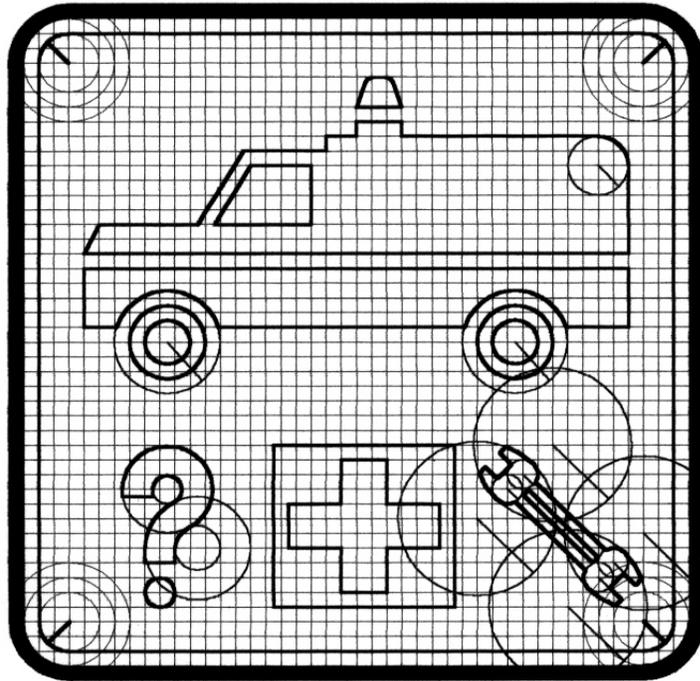
**SIS-3 ÁREA RECREATIVA**



**SIS-3  
AREA RECREATIVA**

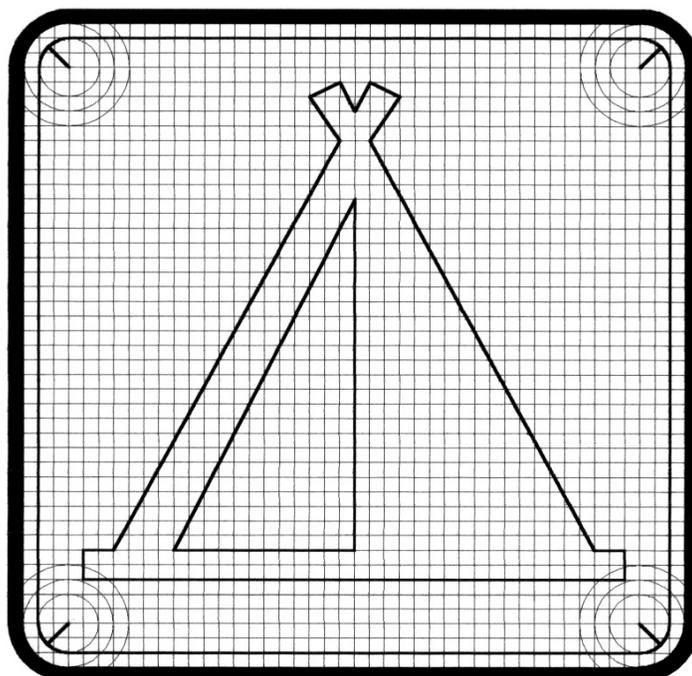
### SIS-4 AUXILIO TURÍSTICO

Esta señal se colocará al inicio del tramo carretero donde se preste este servicio, pudiéndose repetir donde donde sea necesario.



SIS-4  
AUXILIO TURISTICO

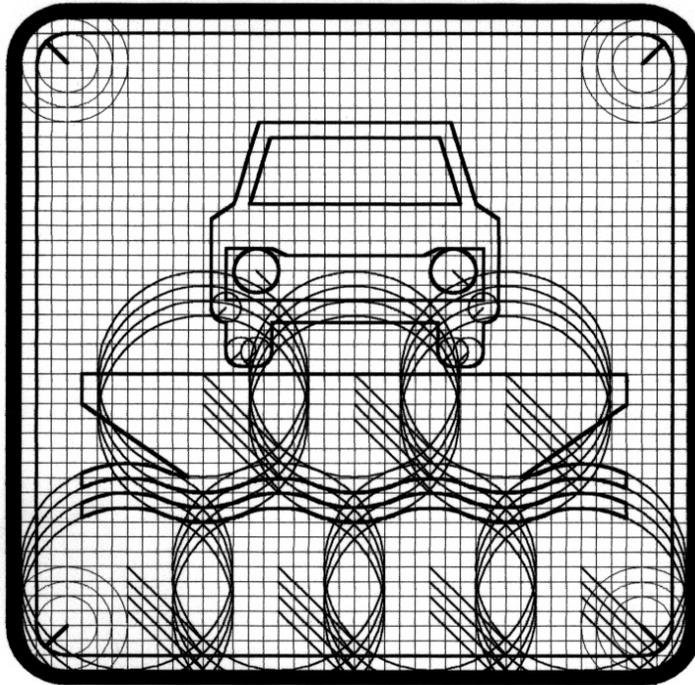
**SIS-5 CAMPAMENTO**



SIS-5  
CAMPAMENTO

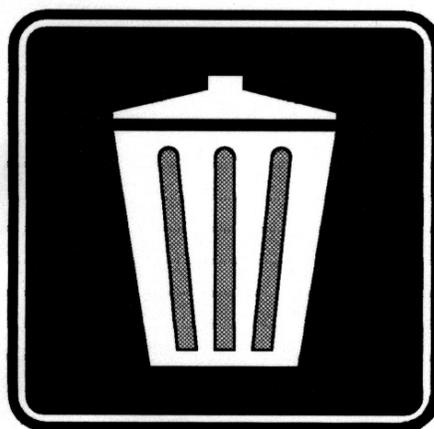
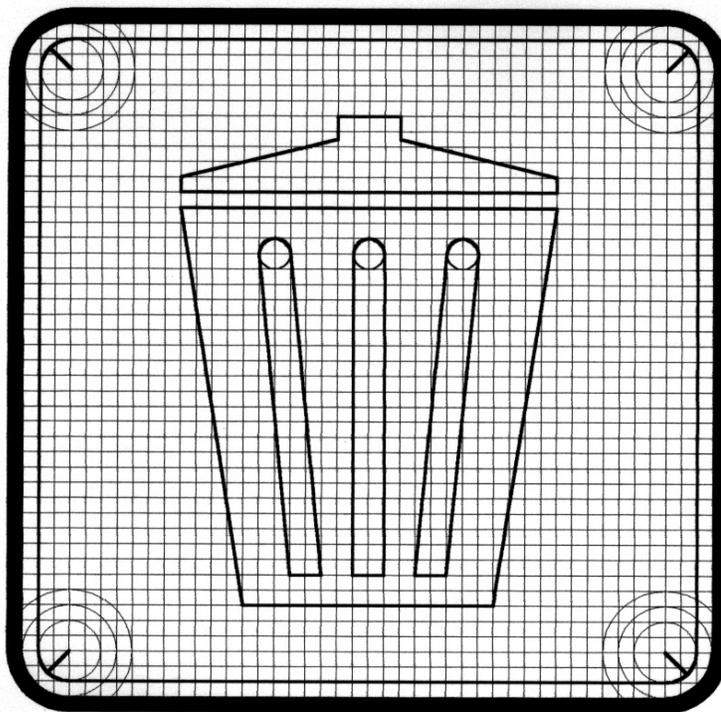
### SIS-6 BALSA

Esta señal podrá llevar una placa adicional donde se indique el horario del servicio.



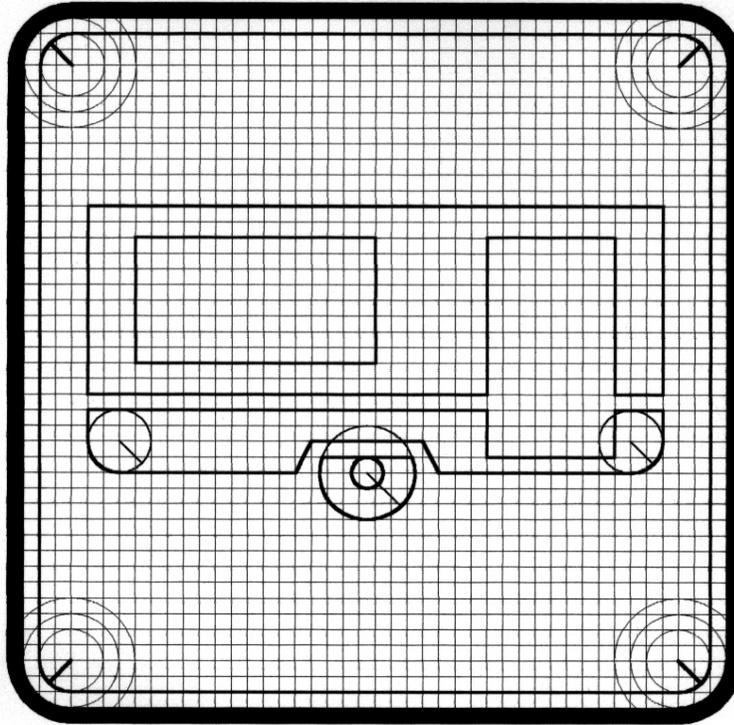
SIS-6  
BALSA

**SIS-7 DEPÓSITO DE BASURA**



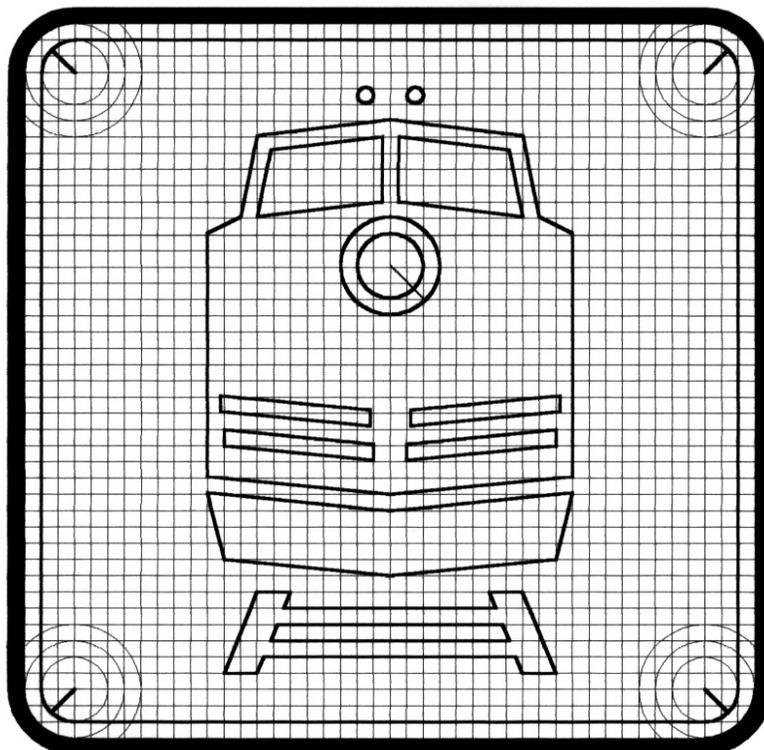
SIS-7  
DEPOSITO DE BASURA

**SIS-8 ESTACIONAMIENTO PARA CASAS RODANTES**



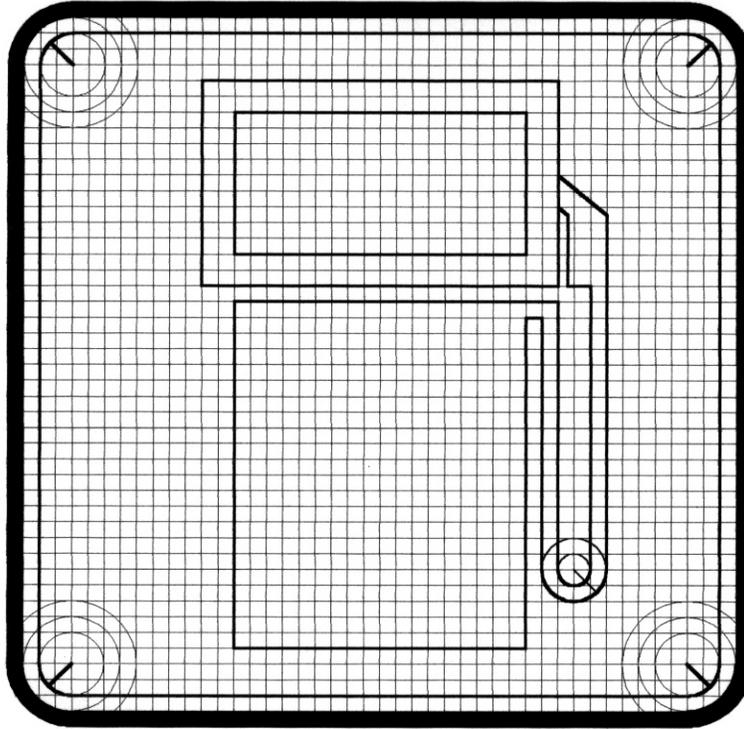
**SIS-8  
ESTACIONAMIENTO PARA CASAS RODANTES**

### SIS-9 ESTACIÓN DE FERROCARRIL



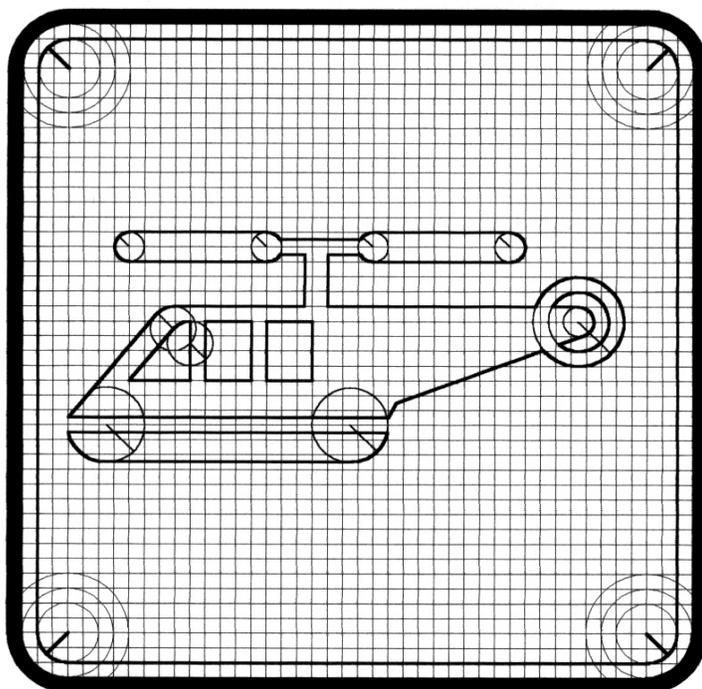
SIS-9  
ESTACION DE FERROCARRIL

**SIS-10 GASOLINERA**



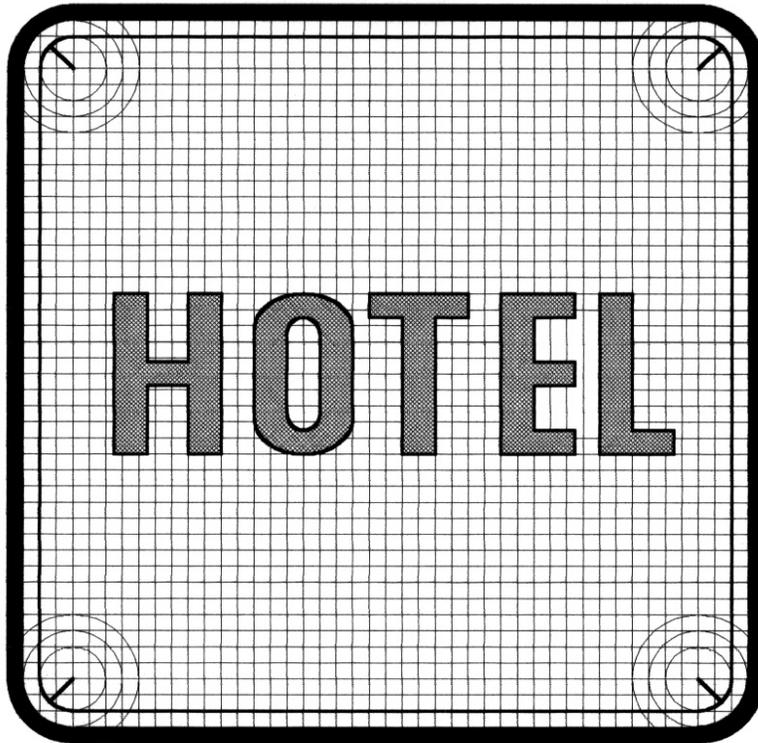
**SIS-10  
GASOLINERA**

### SIS-11 HELIPUERTO



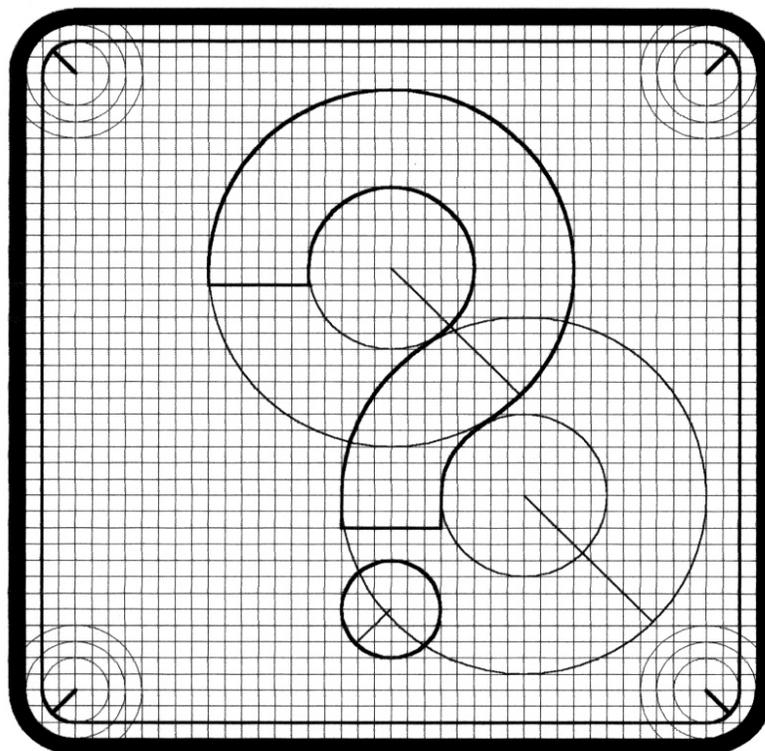
SIS-11  
HELIPUERTO

**SIS-12 HOTEL O MOTEL**



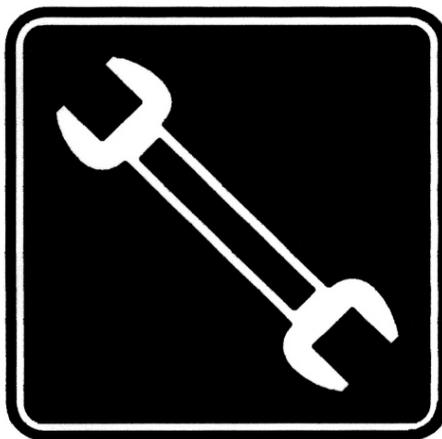
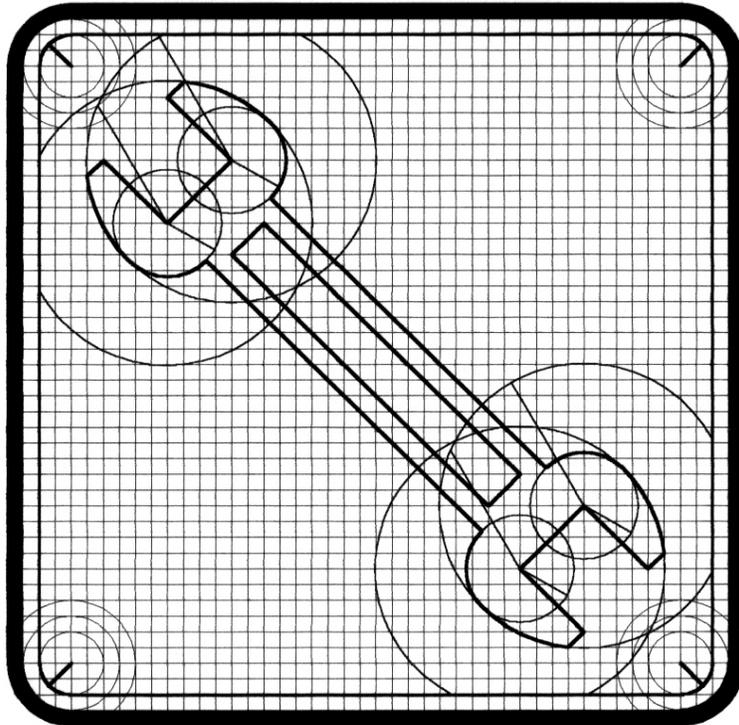
SIS-12  
HOTEL O MOTEL

**SIS-13 INFORMACIÓN**



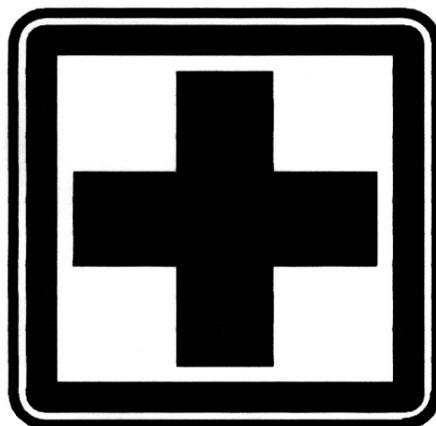
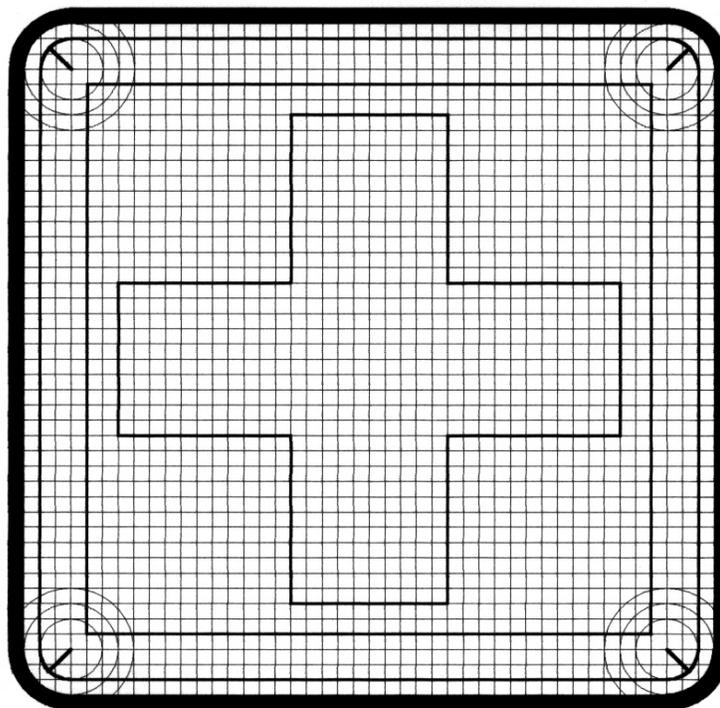
**SIS-13  
INFORMACION**

**SIS-14 MECÁNICO**



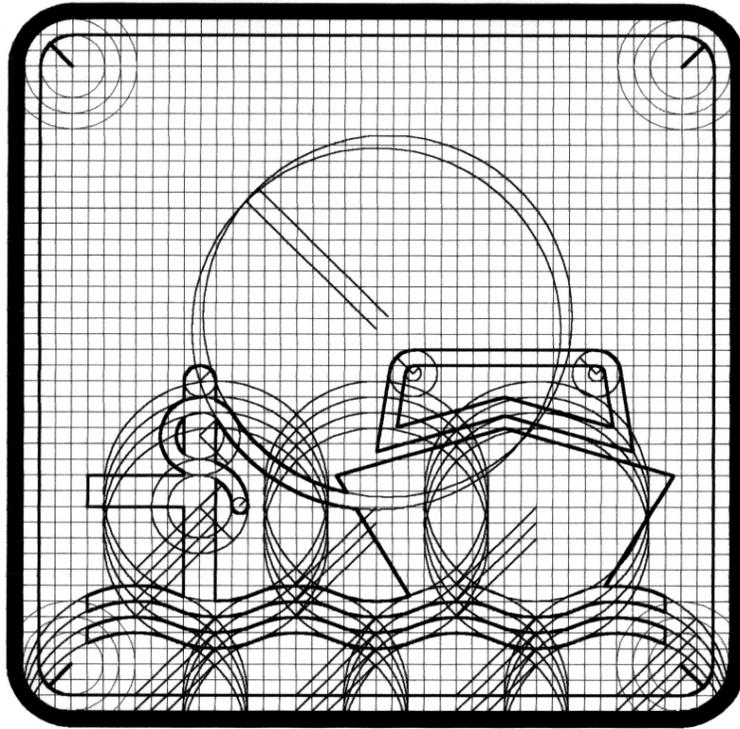
**SIS-14  
MECANICO**

**SIS-15 MÉDICO**



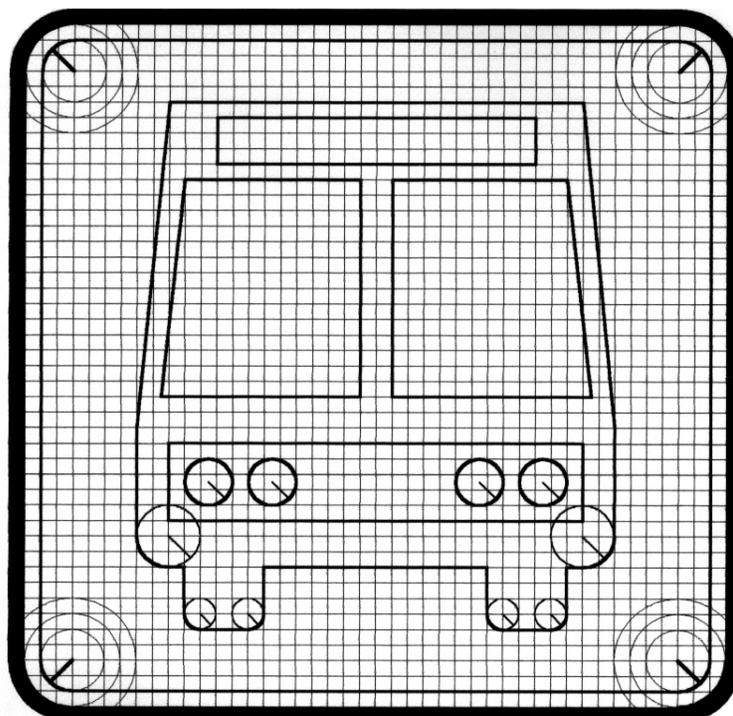
SIS-15  
MEDICO

**SIS-16 MUELLE**



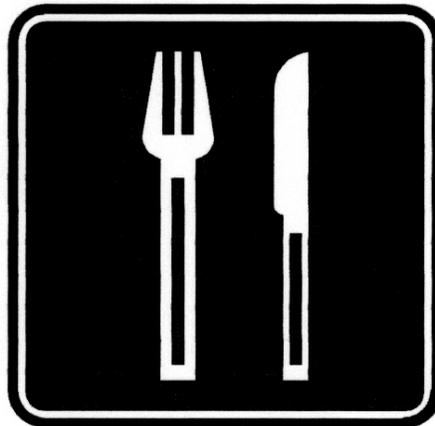
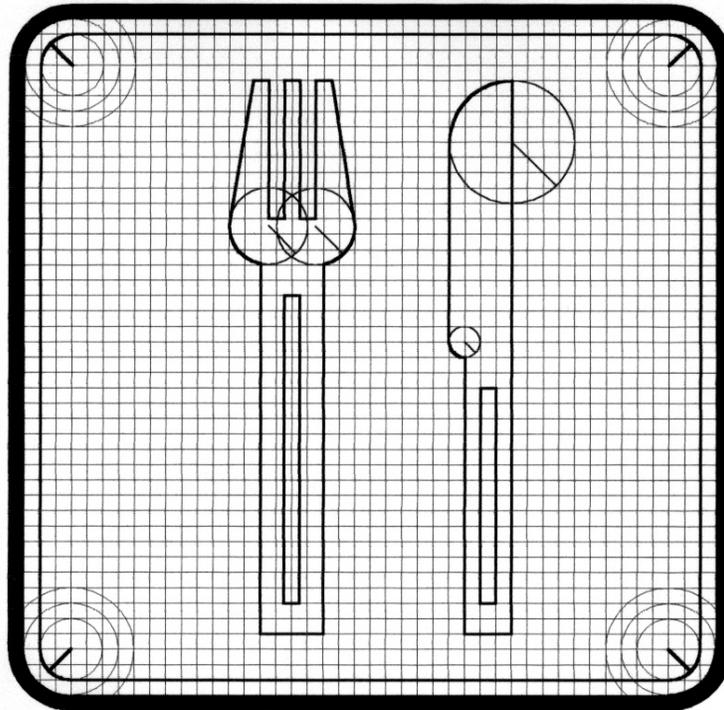
SIS-16  
MUELLE

### SIS-17 PARADA DE AUTOBÚS



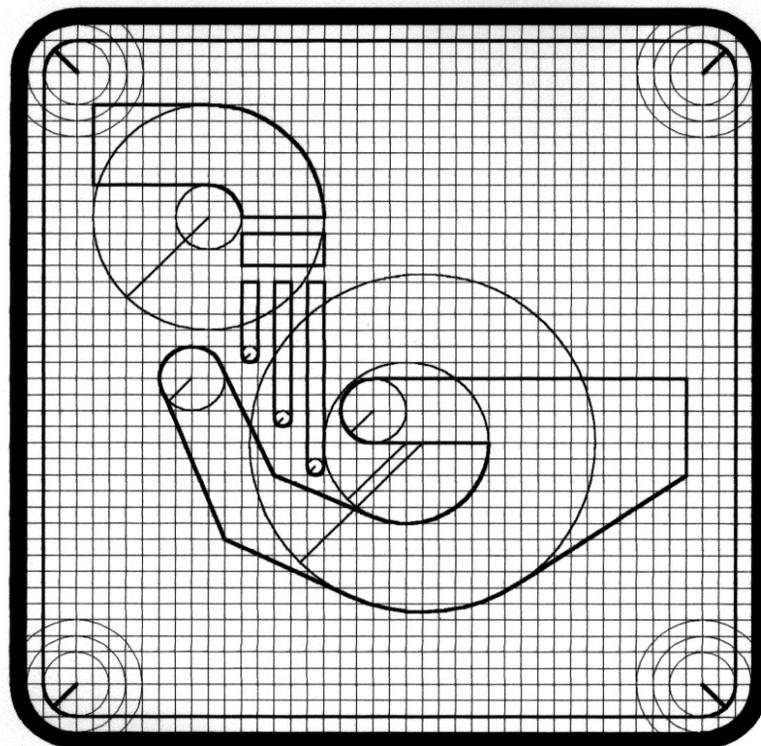
SIS-17  
PARADA DE AUTOBUS

**SIS-18 RESTAURANTE**



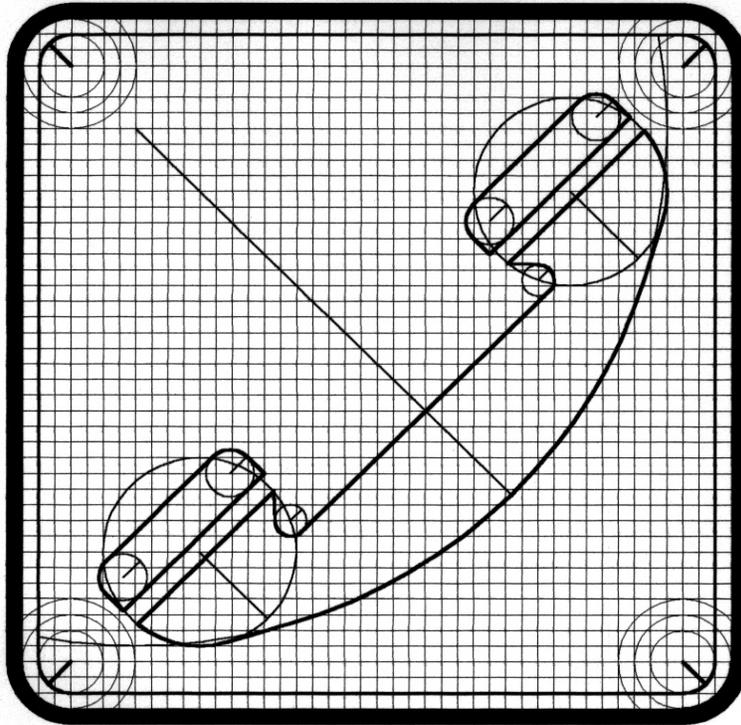
**SIS-18  
RESTAURANTE**

**SIS-19 SANITARIOS**



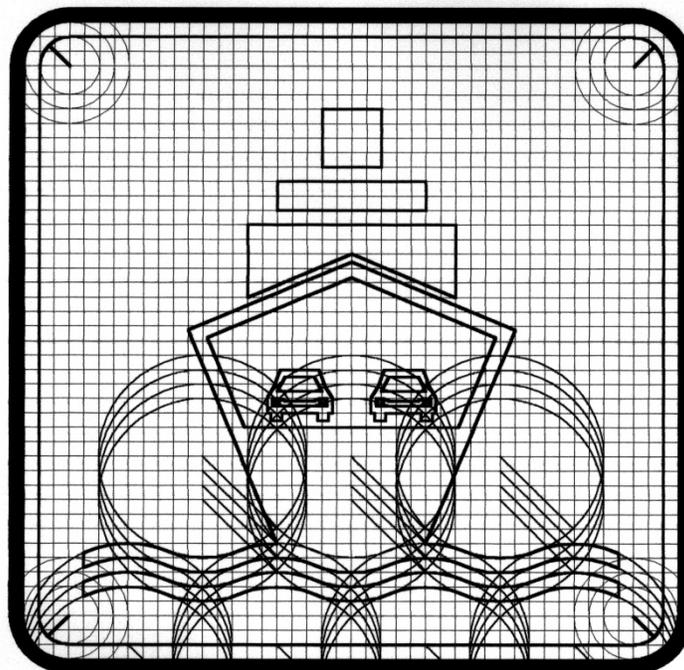
**SISI-19  
SANITARIOS**

**SIS-20 TELÉFONO**



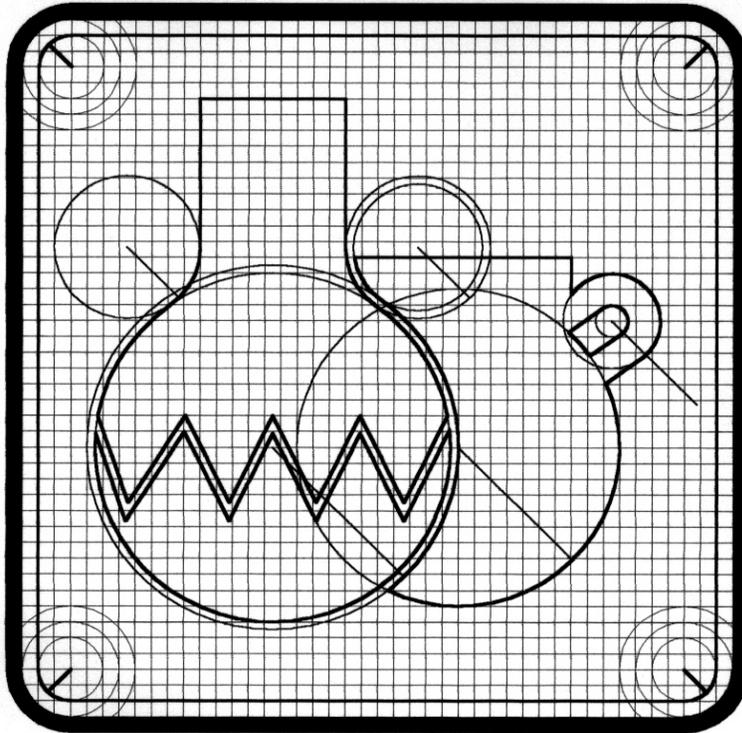
**SIS-20  
TELEFONO**

**SIS-21 TRANSBORDADOR**



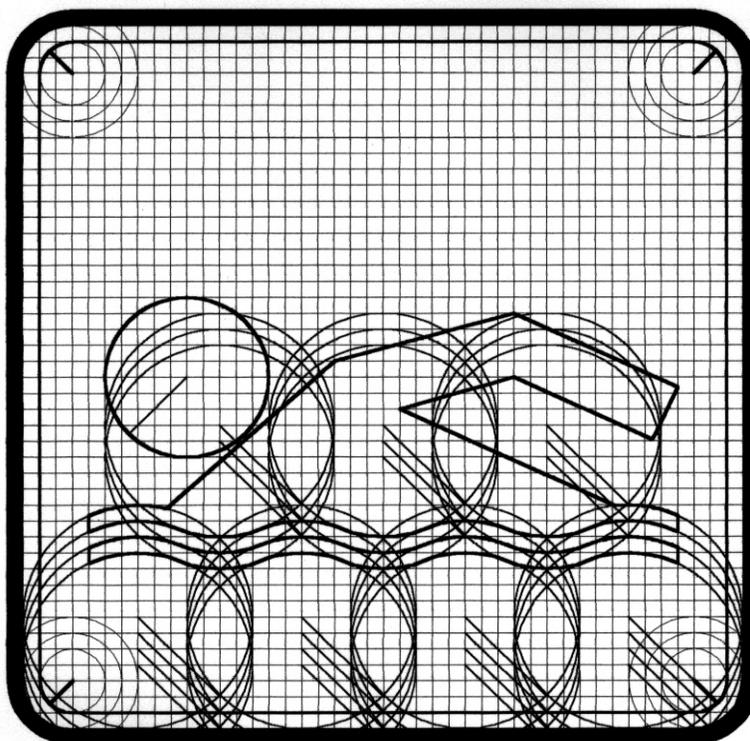
**SIS-21  
TRANSBORDADOR**

**SIT-1 ARTESANÍAS**



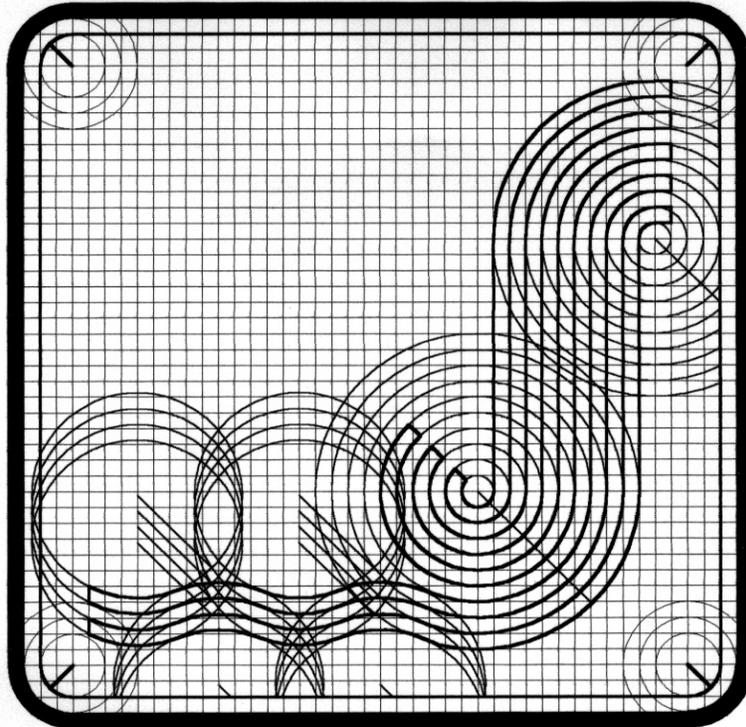
**SIT-1  
ARTESANIA**

**SIT-2 BALNEARIO**



**SIT-2  
BALNEARIO**

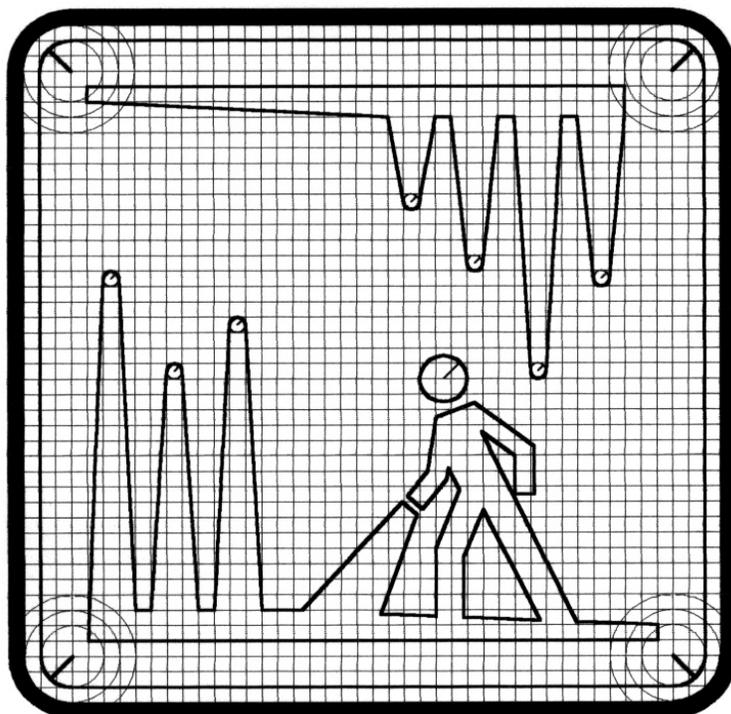
**SIT-3 CASCADA**



**SIT-3  
CASCADA**

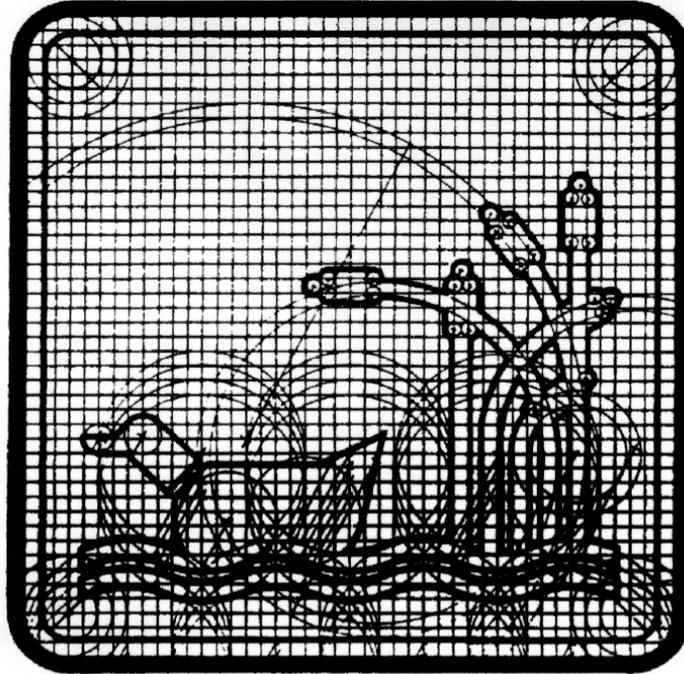
### SIT-4 GRUTA

Esta señal podrá llevar una placa adicional donde se indique el horario del servicio.



SIT-4  
GRUTA

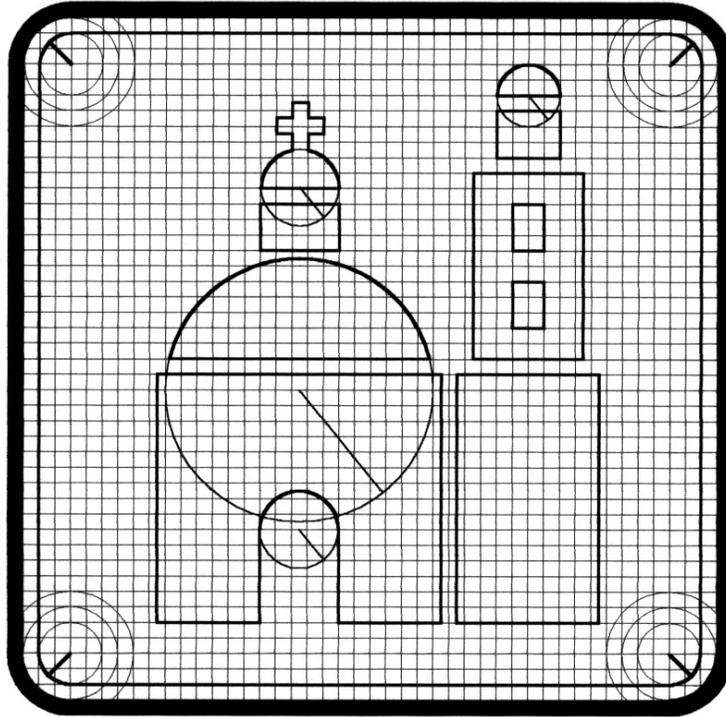
**SIT-5 LAGO - LAGUNA**



SIT-5  
LAGO-LAGUNA

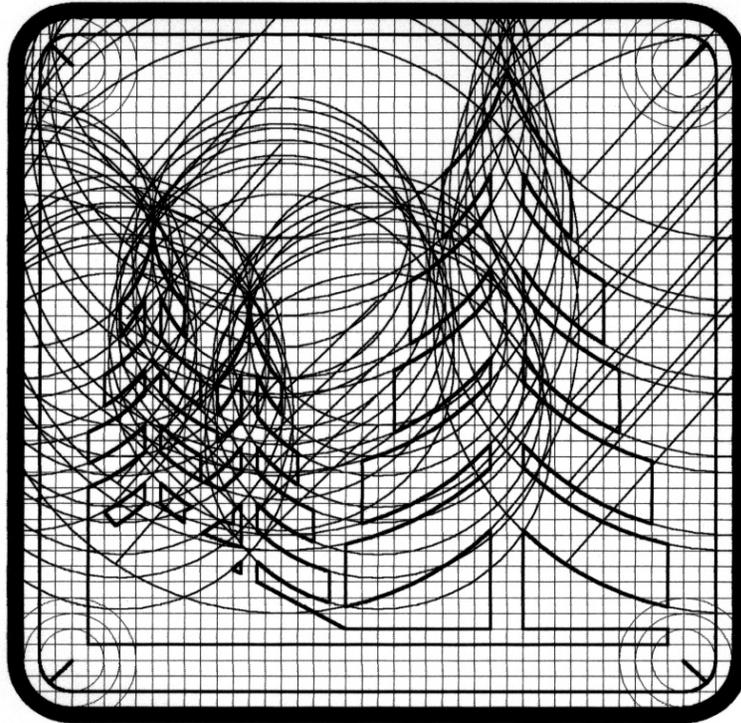
**SIT-6 MONUMENTO COLONIAL**

Esta señal podrá llevar una placa adicional donde se indique el horario del servicio.



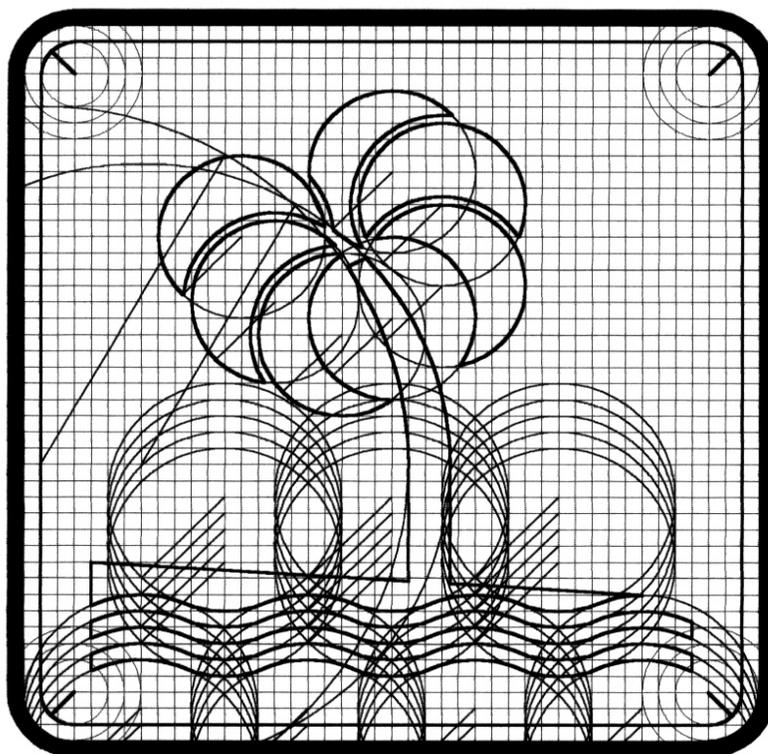
**SIT-6  
MONUMENTO COLONIAL**

**SIT-7 PARQUE NACIONAL**



SIT-7  
PARQUE NACIONAL

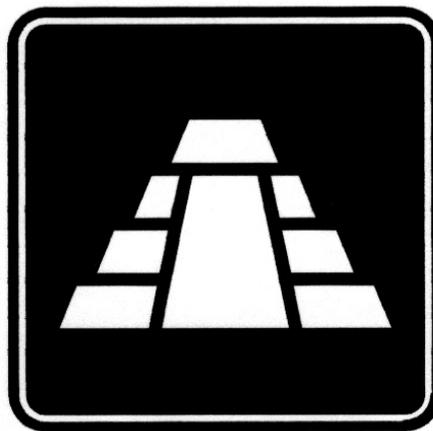
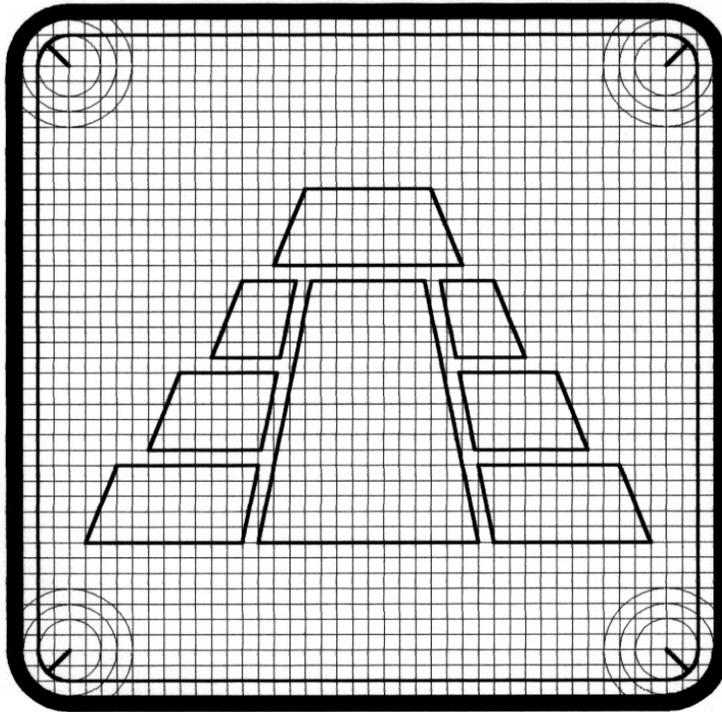
**SIT-8 PLAYA**



SIT-8  
PLAYA

### SIT-9 ZONA ARQUEOLÓGICA

Esta señal podrá llevar una placa adicional donde se indique el horario de servicio.



SIT-9  
ZONA ARQUEOLOGICA

## ESPECIFICACIONES GENERALES

Las siguientes especificaciones se integran a nivel indicativo, dejando expresa constancia que en los planos o disposiciones particulares o especiales se incluirán cuando correspondan con las modificaciones del caso.

**Placas.** Las placas serán de aleación de aluminio, presentarán una superficie plana, sin alebeos y sin bordes cortantes. Las perforaciones serán cuadradas, de 10 mm. de lado y efectuadas sin afectar la superficie.

Cada señal tendrá estampada en bajo relieve en su reverso la fecha de su fabricación y la numeración que le corresponda según los planos del proyecto ejecutivo, en un tamaño del conjunto no mayor de 5 x 3 cm. Dicho estampado se efectuará antes de pintar la chapa y sin que se note del anverso.

**Lámina Reflectora Termoadhesiva.** Deberá satisfacer las siguientes condiciones:

- Luego de limpiada no presentará agrietamientos, cuarteados, ampollas, cambios dimensionales ni índices de reflexión inferiores al 80 % de los especificados;
- No podrá mancharse ni ensuciarse al frotarla con cenizas como lápiz o tinta;
- Una vez quitada la lámina de protección del adhesivo, el espesor de la lámina reflectora deberá estar comprendida entre 170 y 250 micrones;

- La citada lámina protectora tendrá impresos cada metro lineal el nombre del fabricante, país de origen, tipo de material, mes y año de fabricación;

- Tendrá perforaciones en tamaño y cantidad suficientes para evacuar el aire ocluido entre la lámina y la placa, las cuales serán invisibles una vez aplicada;

- El adhesivo será de tipo termoactivable sin necesidad de otro adicional, no producirá manchas al reflejarse la luz sobre la lámina y será resistente a hongos y bacterias.

**Proceso de Fabricación.** Las placas se someterán a un desengrasado con vapor o solución alcalina y posteriormente se tratará con solución fosfatizante.

Alternativamente se limpiarán mecánicamente con un trozo de fibra embebido en detergente con posterior enjuague y secado.

Si fuera necesario, recibirán luego un acabado superficial mediante arenado y limpieza a fin de facilitar la adherencia de la lámina reflectora en el anverso y la pintura en su reverso.

La lámina se aplicará con una máquina que comprimirá sobre la placa en forma pareja, mediante vacío y elevará su temperatura para activar el adhesivo.

Las leyendas consistirán en láminas reflectoras troqueladas aplicadas sobre la lámina base por el mismo procedimiento.

La pintura del reverso tendrá idénticas características que las indicadas para los postes y sus accesorios.

### Características de los Soportes.

A) *Pórticos y ménsulas y sus accesorios:* el diseño de estos elementos será el aprobado por la Dirección General de Carreteras. Las soldaduras se ejecutarán prolijamente de manera que no sean visibles una vez pintadas.

Se lo someterá en fábrica a los siguientes procesos:

- Arenado total y a fondo, mediante chorro de arena a alta presión;
- Desengrasado, decapado y fosfatizado como procesos independientes, con posterior enjuague o bien por aplicación de líquido desoxidante y fosfatizante, con limpieza final con trapos limpios.
- Aplicación de una capa exterior de 15 micrones de antioxido en la parte no empotrada;
- Aplicación de dos manos de pintura, esmalte asfáltico en la parte a empotrar, interior y exteriormente.

Los procesos anteriores podrán remplazarse por un cincado por inmersión en caliente con las siguientes características:

- Masa mínima de cinc	200 g/m <sup>2</sup>
- Máximo de impureza en el cinc:	
Hierro	0.1 %
Plomo	2.0 %

B) *Postes y sus Accesorios:* el diseño de estos soportes responderá a normas de la Dirección General de Carreteras.

Los postes serán de caño de acero 60.3 mm. de diámetro exterior, 3 mm. de espesor y cierre superior del mismo espesor. En la parte inferior tendrá, un corte longitudinal de 15 cm. de largo sobre dos generatrices, lo cual permitirá su anclaje una vez abierto el extremo en 5 cm.

Las grampas serán de planchuela de acero.

Los bulones serán de acero cadmiado o cincado en 9.5 mm. de diámetro y 2.4 mm. de longitud con cabeza media caña del color de la señal cuello cuadrado y vástago roscado para tuerca, arandela de presión y tuercas hexagonales autoblocantes (con borde exterior plástico).

Entre el bulón de acero y la chapa de aluminio de la señal se usará un elemento separador de goma sintética o neoprene de 1.5 mm. de espesor como mínimo.

Los postes, grampas y bulonería se someterán en fábrica a los siguientes procesos:

- Desengrasado, detapado y fosfatizado como procesos independientes con posterior enjuague o bien por aplicación de líquido desoxidante y fosfatizante, con limpieza final con trapos limpios.

- Aplicación a soplete de 10 a 12 micrones de "wash - primer", secado a temperatura ambiente durante 24 horas o 120° C durante 10 minutos previo oreo de 15 minutos y posterior lijado en seco;

- Aplicación a soplete de una capa de fondo de pintura poliuretánica de 30 a 40 micrones de espesor (medido con película seca) y secado de 16 a 24 horas a temperatura

ambiental ó 20 minutos a 120 °C;

- Aplicación de una capa de revestimiento idéntica, con secado de 24 horas a temperatura ambiente ó 30 minutos a 120 °C;
- Aplicación de una capa de terminación de 50 micrones con la misma pintura, no pudiendo presentar escamas ni porosidades.

### **Ensayos de recepción.**

#### **A) Lámina reflectora.**

Se solicitarán a los proveedores los siguientes ensayos:

- Ensayo de adhesión.
- Ensayo de tracción y alargamiento.
- Verificación del color.
- Verificación de los índices de reflexión.
- Ensayo de resistencia al ataque de hidrocarburos, a la abrasión y al calor.
- Ensayo de resistencia al agua.
- Verificación de la reflexión bajo lluvia.
- Ensayo de curvatura.

#### **B) Soportes.**

Se efectuarán las siguientes verificaciones:

- Inspección visual.
- Ensayos de resistencia mecánica de los elementos constitutivos.

#### **C) Pintura.**

Se efectuarán las siguientes verificaciones:

- Ensayo de resistencia al agua destilada: no presentará alteraciones al cabo de 500 horas de inmersión.

- Ensayo de adherencia: será del 100%, luego de 24 horas de inmersión en agua.

- Ensayo de resistencia a la corrosión: no presentará alteraciones luego de 1000 horas en niebla salina al 20%.

- Ensayo de resistencia mecánica: no presentará decoloración ni cuateo al cabo de 72 horas a 150° con posterior doblez sobre mandril de 10 mm.

- Verificación de la dureza Sward-Rocker: estará comprendida entre 60 y 70.

#### **D) Cincado.**

Se controlará de acuerdo con lo siguiente:

- Inspección visual.
- Verificación de la uniformidad.
- Ensayo de adherencia.
- Determinación de la masa de cinc.

#### **Montaje.**

El concesionario procederá a instalar los soportes y a montar las señales según planos aprobados.

Las bases para pórticos y ménsulas serán de hormigón simple o armado, según corresponda. La fijación de los mismos a aquellas podrá efectuarse mediante bulones incorporados al hormigón o bien por simple empotramiento de las columnas.

En este último caso se dejará en la base un orificio cilíndrico de diámetro 20 a 30 mm superior al de la columna, el cual, una vez insertada, aplomada y orientada ésta, se rellenará con arena fina y seca asta 2,5 cm. por debajo del nivel de piso terminado.

El espacio anular resultante se rellenará con

asfalto fundido, previa limpieza y sopleteado a fin de asegurar su íntima adherencia a la columna.

de acabado brillante, con un espesor mínimo de 60 micrones, color a elección de la inspección.

Los pórticos y ménsulas que no sean cincados recibirán una capa de pintura esmalte sintética

#### Planillas de datos garantizados

- N° 1: Vialeta reflectora.
- N° 2: Lámina reflectora termoadhesiva.

#### PLANILLA DE DATOS GARANTIZADO N° 2 VIALETA REFLECTORA

Angulo de Divergencia	Angulo de Incidencia	Indice de Reflexión (%)		
Grado	Grado	Cristal	Amarillo	Rojo
0.2	20	15050	9030	3712
0.2				

#### PLANILLA DE DATOS GARANTIZADO N° 2 LAMINA RELFECTORA TERMOADHESIVA

Angulo de Divergencia	Angulo de Incidencia	Indice de Reflexión (%)				
Grado	Grado	Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul
0.2	+ 4	2.20220e+20	1.70121e+17	3.23220e+13	3.02014e+12	20139754221
0.2	+ 15					
0.2	+ 40					
0.5	+ 4					
0.5	+ 25					
0.5	+ 40					
1.0	+ 4					
1.0	+ 15					
1.0	+ 40					

## SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Se complementará el capítulo correspondiente del Manual Interamericano con la descripción y normas para la utilización de vialetas.

### Conformación física

Son elementos de señalización horizontal que se fijan firmemente al pavimento.

### Forma

Son generalmente de forma piramidal truncada, de manera tal que permita contener una o dos caras retrorreflectoras en sentidos opuestos ( monodireccional o bidireccional respectivamente) .

La superficie exterior, y en especial las caras reflectivas, son, lisas, sin cantos, o bordes filosos ni vértices agudos. La altura respecto de la calzada no debe superar 0.03 m. Los colores reflectivos utilizables son rojo, blanco y amarillo.

### Significado

Se utilizarán como marcas delineadoras de advertencia que contribuyen a la visibilidad de otras marcas. El color rojo se usará para indicar contramano o prohibición de acceso.

### Ubicación

Deben colocarse en coincidencia con las marcas en forma transversal, entre las líneas segmentadas o en el costado externo de las continuas, con la parte retrorreflectora hacia el lado que reciben el tránsito y del mismo color que aquella ( blanca o amarilla ).

En tramos de peligro como ser las curvas se recomienda la utilización en líneas de borde de pavimento de vialetas bicolor, un elemento que aumenta considerablemente el nivel de seguridad, colocando el color rojo en cara hacia el sentido de circulación contrario.

### Fijación

Se fijarán preferiblemente con adhesivos de resina epoxi que han probado ser los más efectivos para pegar sobre el pavimento. Para asegurar una adhesión efectiva, el pavimento debe ser pulido con un chorro de arena a alta presión o con cepillos metálicos, para eliminar el polvo y materiales sueltos.

### Recomendaciones

**3.1.10 Ancho de las líneas** ( pág. 73 M. Interam. )

Se recomienda adoptar en las líneas centrales, las líneas de canal, las líneas de barreras y las líneas de borde de pavimento un ancho de 0.10 metros.

**3.2.3.3 Aplicación de las demarcaciones para zonas de no adelantamiento** (pág.78 M. Interam.)

Por razones de efectividad y economía se recomienda que la demarcación en las zonas de no adelantamiento se realice para vía de 2 carriles con la opción de 2 líneas, de forma tal que la raya central formará un conjunto de raya continua amarilla y raya discontinua blanca paralelas entre sí, de tal forma que la raya discontinua quedará en el lado del carril por donde circula el tránsito que le está permitido el adelantamiento.

### Controles De Tránsito Durante La Ejecución De Trabajos De Construcción y Mantenimiento En Calles y Carreteras

Se complementa el Manual Interamericano con las siguientes disposiciones:

#### 6.1.4 Ubicación ( pág. 219 M. Interam. ) Longitudinal

Las señales preventivas se colocarán antes del riesgo que se trate de señalar, a una distancia que depende de la velocidad de acuerdo a la Tabla 6.B

Tabla 6.B Ubicación longitudinal de las señales preventivas para protección de obras.

Velocidad km / h	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Distancia m	30	40	55	75	95	115	135	155	175

En carreteras se utilizará la velocidad directriz; cuando se desconozca este dato, se utilizará la velocidad de marcha.

En calles se utilizará la velocidad establecida por las autoridades correspondientes.

Cuando se coloque una señal de otro tipo entre la preventiva y el riesgo, aquella deberá colocarse a la distancia en que iría la preventiva, y ésta al doble; si son dos señales de otro tipo las que se vayan a colocar entre la preventiva y el riesgo, la primera de aquellas se colocará a la distancia de la preventiva, la segunda al doble de esta distancia y la preventiva al triple, y así sucesivamente.

#### 6.1.7 Señales de prevención ( pág. 232 M. Interam. )

##### Forma

El tablero de las señales preventivas será de

forma cuadrada con las esquinas redondeadas y se fijarán con una diagonal vertical en postes, o bien sobre caballetes desmontables. El radio para redondear las esquinas será de 4 cm, quedando el radio interior para la curvatura del filete de 2 cm.

Las señales que requieran una explicación complementaria, además del símbolo, llevarán un tablero adicional de forma rectangular para formar un conjunto.

##### Tamaño

El tamaño de estas señales será uniforme para calles y carreteras con dimensiones de 91 x 91 cm sin ceja cuando se coloquen sobre caballetes, o de 86 x 86 cm con ceja cuando se fijen en postes.

El tablero adicional que servirá para formar un conjunto, será con o sin ceja y tendrá las dimensiones de la tabla 6A.

Tabla 6A Dimensiones del tablero adicional de las señales preventivas para protección en

obras

Dimensiones de la señal cm	Dimensiones del tablero cm		Altura de la letra mayúscula cm	
	1 renglón	2 renglones	1 renglón	2 renglones
86 x 86 (c/ceja)	30 x 117	56 x 117	15	15
91 x 91 (s/ceja)	30 x 122	61 x 122	15	15

**6.1.8 Señales de Información** (pág. 236 M. Interam.)

El radio para redondear las esquinas será de 4 cm, quedando el radio interior de 2 cm para la curvatura del filete.

#### Forma

El tablero de las señales informativas para protección de obras, será rectangular con las esquinas redondeadas, colocado con su mayor dimensión horizontal.

#### Tamaño

El tablero de las señales informativas para protección en obras, tendrá las dimensiones de la tabla

Tabla 6D Dimensiones del tablero de las señales informativas para protección en obras

Número de renglones	Altura de las letras mayúsculas cm	Altura del tablero cm	Longitud del tablero cm
1	15	30	178
2	15	56	178
3	15	79	178

## ÁREA URBANA

### SEÑALIZACIÓN VERTICAL COMPLEMENTARIA

**Señal de nomenclatura de calle** (Fig. A )

El diseño de la señal de nomenclatura de calle consiste en dos placas (la de dirección de mano es cuadrada de 35 cm de lado y la de nomenclatura es rectangular de 35 x 70 cm),

ambas sustentadas mediante dos grampas dobles a una columna independiente de sección circular y pintada a franjas horizontales alternadas negras y blancas. Cada columna sostiene cuatro placas en cruz que corresponden respectivamente a la calle y su transversal.

El fondo de las placas es negro no reflectante y la información se incluye en material reflectante blanco. El diseño incluye además

del nombre de la vía los siguientes elementos:

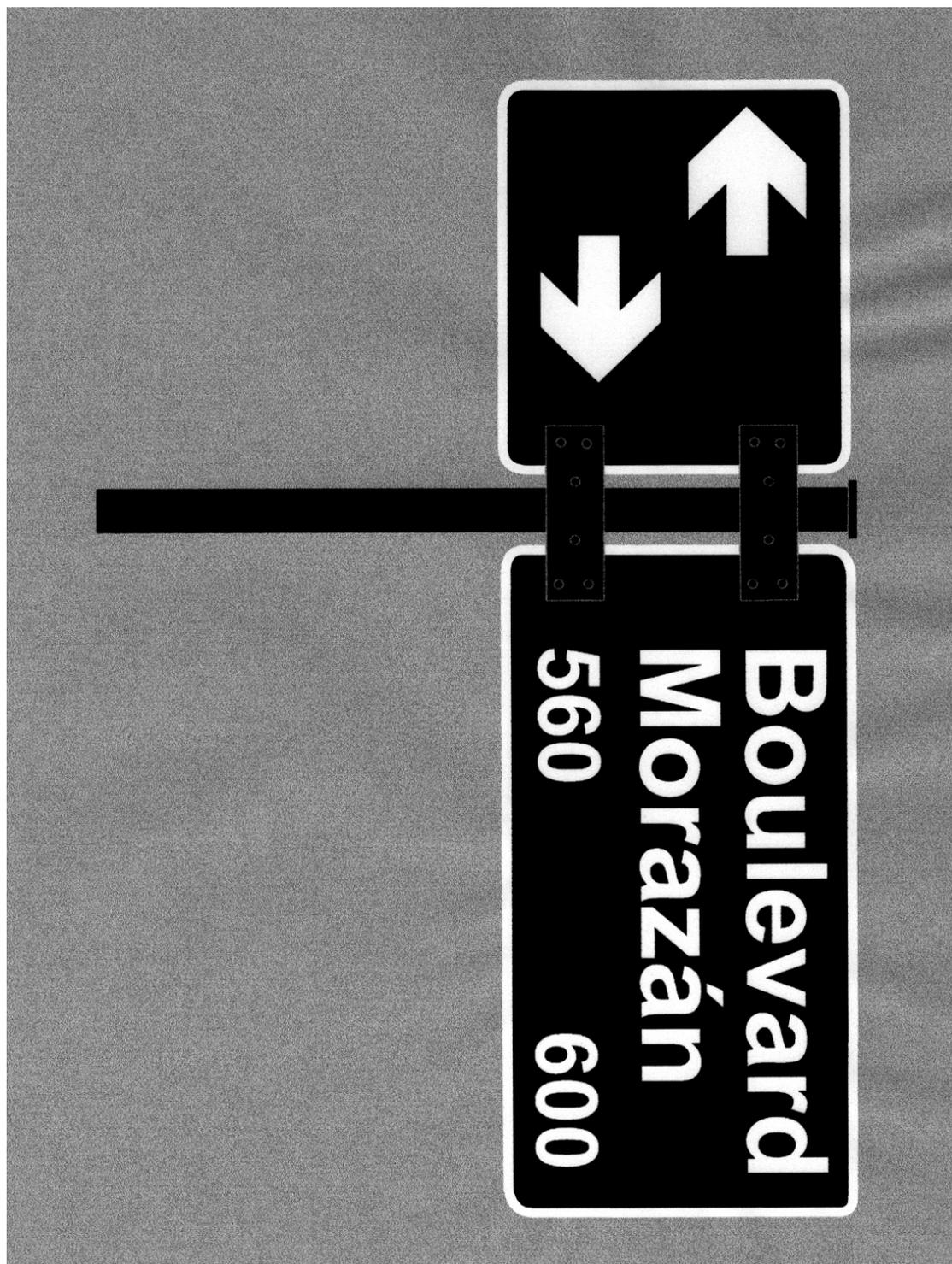
- Numeraciones ascendentes y descendentes de la calle, lo cual le otorga al observador la posibilidad de su inmediata y exacta ubicación.

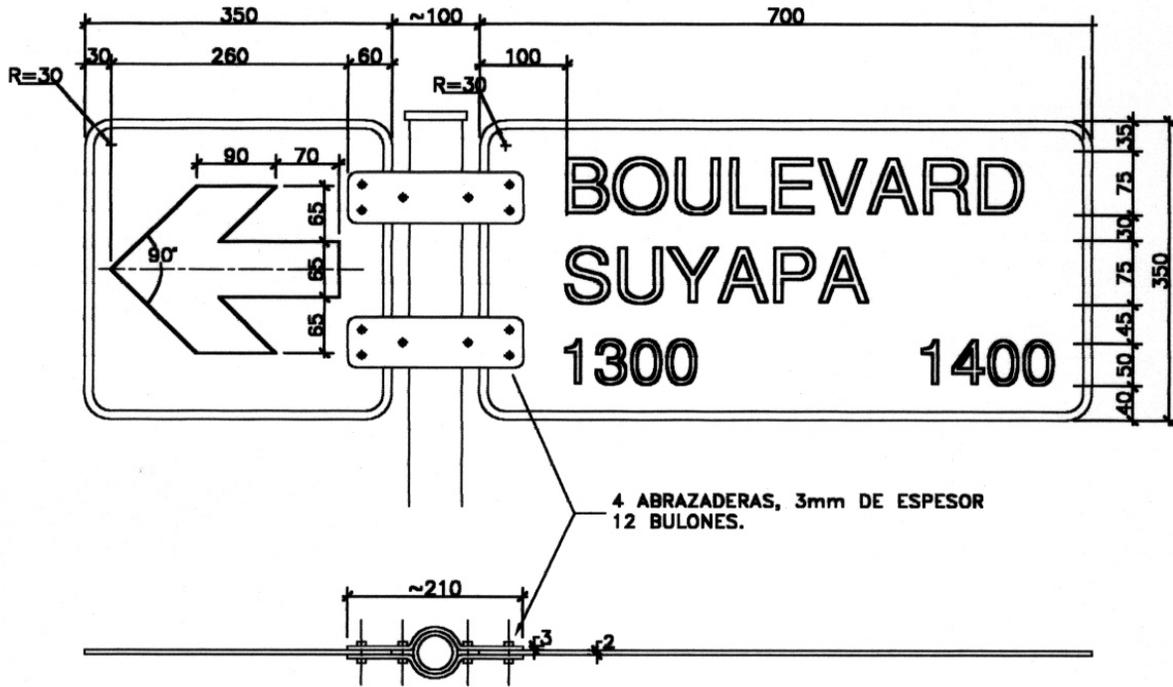
- Inclusión de la información en el anverso y reverso, lo que posibilita su correcta visualización desde cualquier punto ya que brinda una información cada 90 grados.

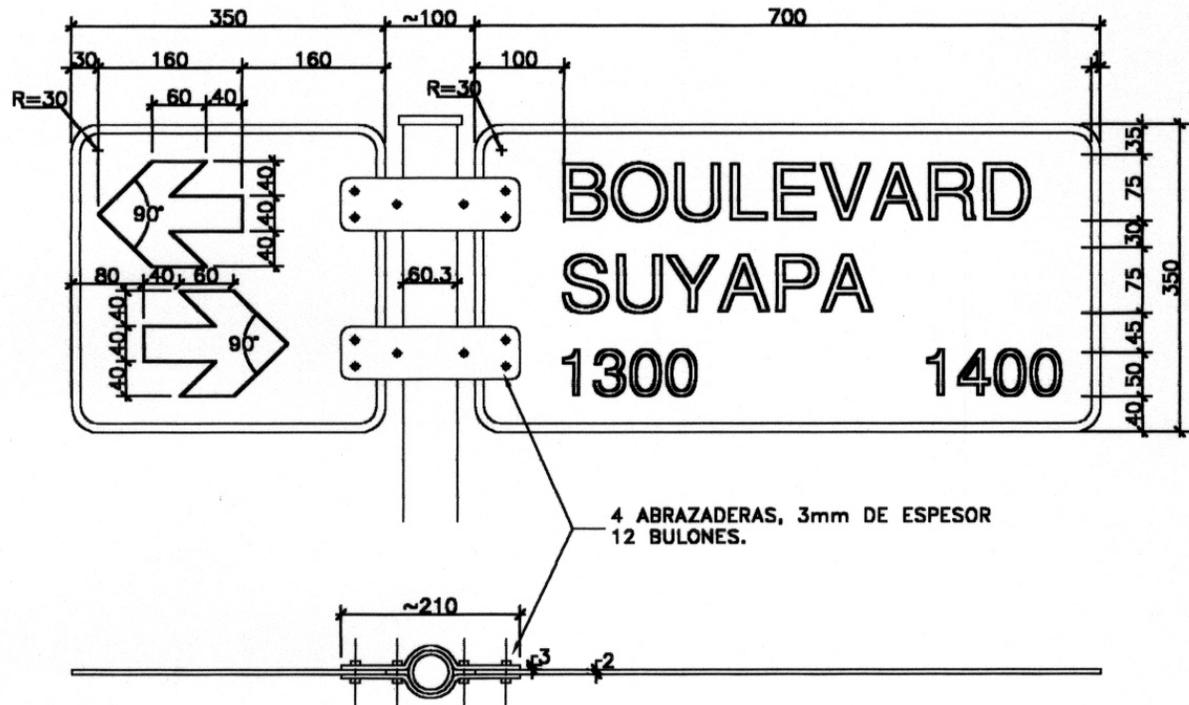
- Realización de todos los elementos gráficos en láminas reflectivas.

- Fácil desarmabilidad de las placas en los casos de cambios de nombre de calle o cambios de dirección del sentido de circulación en la vía.

- La distancia desde el borde inferior de la placa hasta el nivel de acera será de 2.50 metros, elevación que se ha establecido a fin de evitar deterioros intencionales en las señales.







**Señal de parada de buses ( Fig. B )**

La señal de parada de buses se ubica como todas transversal a la dirección del tránsito, de acuerdo al lenguaje expresivo de todo el sistema, consta de dos grupos de placas separados por la columna de sostén y formando un diedro. Las placas, una por línea, están unidas a ella por dos grampas dobles que las sujetan y permiten su visión de ambos lados.

Las placas paralelas a la calle tienen el número de cada línea y las flechas indicadoras de la fila. Las placas perpendiculares a la calzada incluyen los números de las líneas y el recorrido de cada una de ellas.

Se resolvieron los casos para 1, 2 y 3 líneas en cada señal, debido a que se estima que 3 es la cifra máxima de líneas deseables en cada parada.

Cada placa está subdividida gráficamente en dos sectores que se destinan, el superior, a los números, y el inferior, al recorrido o la flecha indicativa de la fila de espera.

La distancia desde el borde inferior de la placa hasta el nivel de acera será de 2.50 metros, elevación que se ha establecido a fin de evitar deterioros intencionales en las señales.

Los colores tanto de la señal como del poste serán iguales a los utilizados en las señales de nomenclatura de calles.

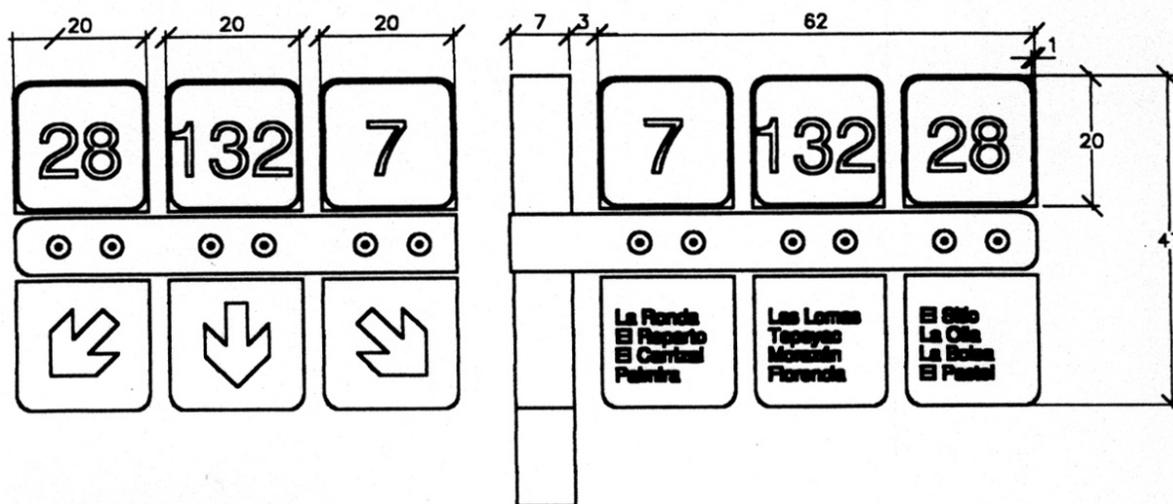


FIGURA B

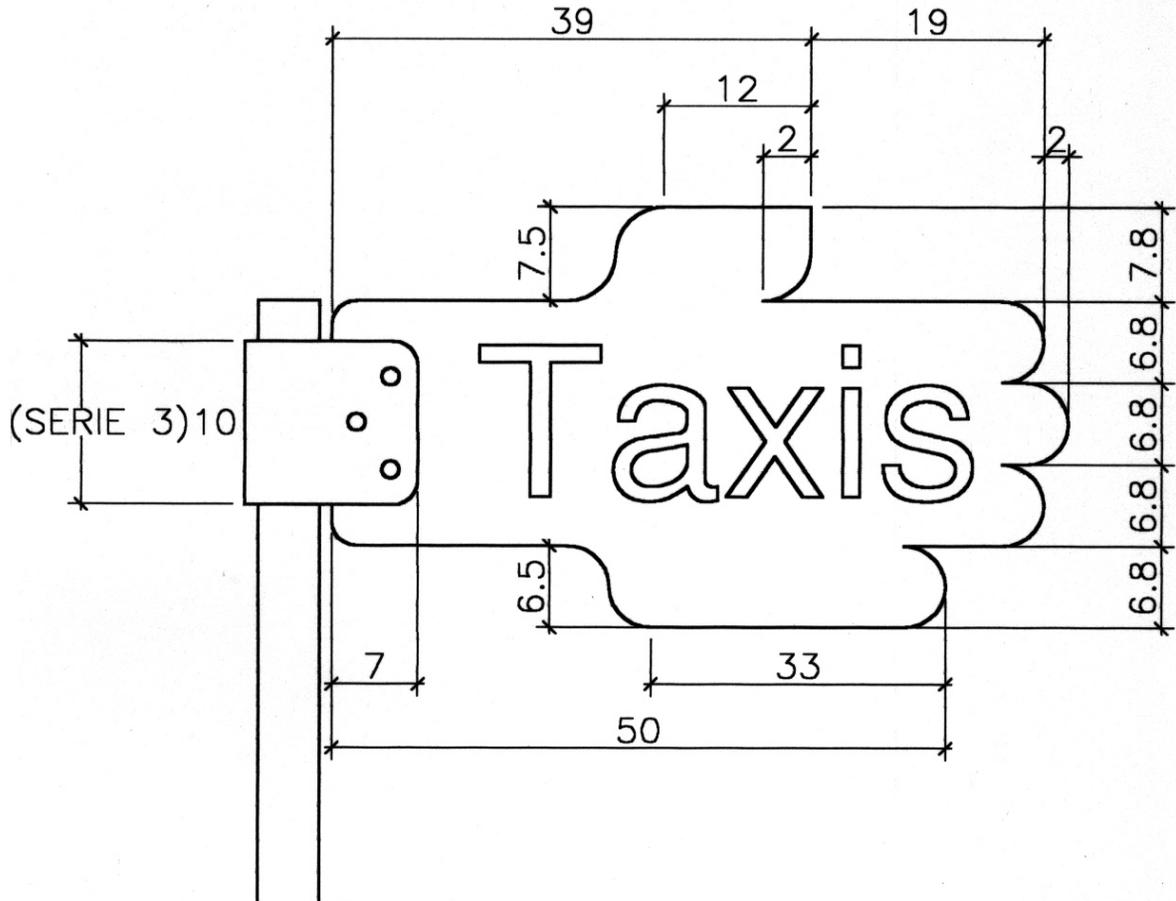
**Señal de parada de taxis ( Fig. C )**

Informa sobre el lugar para el ascenso y descenso de pasajeros a vehículos taxímetro.

Se diseñó una placa con forma de mano (para emular el típico gesto de llamada a los taxistas) pintada de negro con la palabra TAXIS en blanco, y sujeta a la columna con

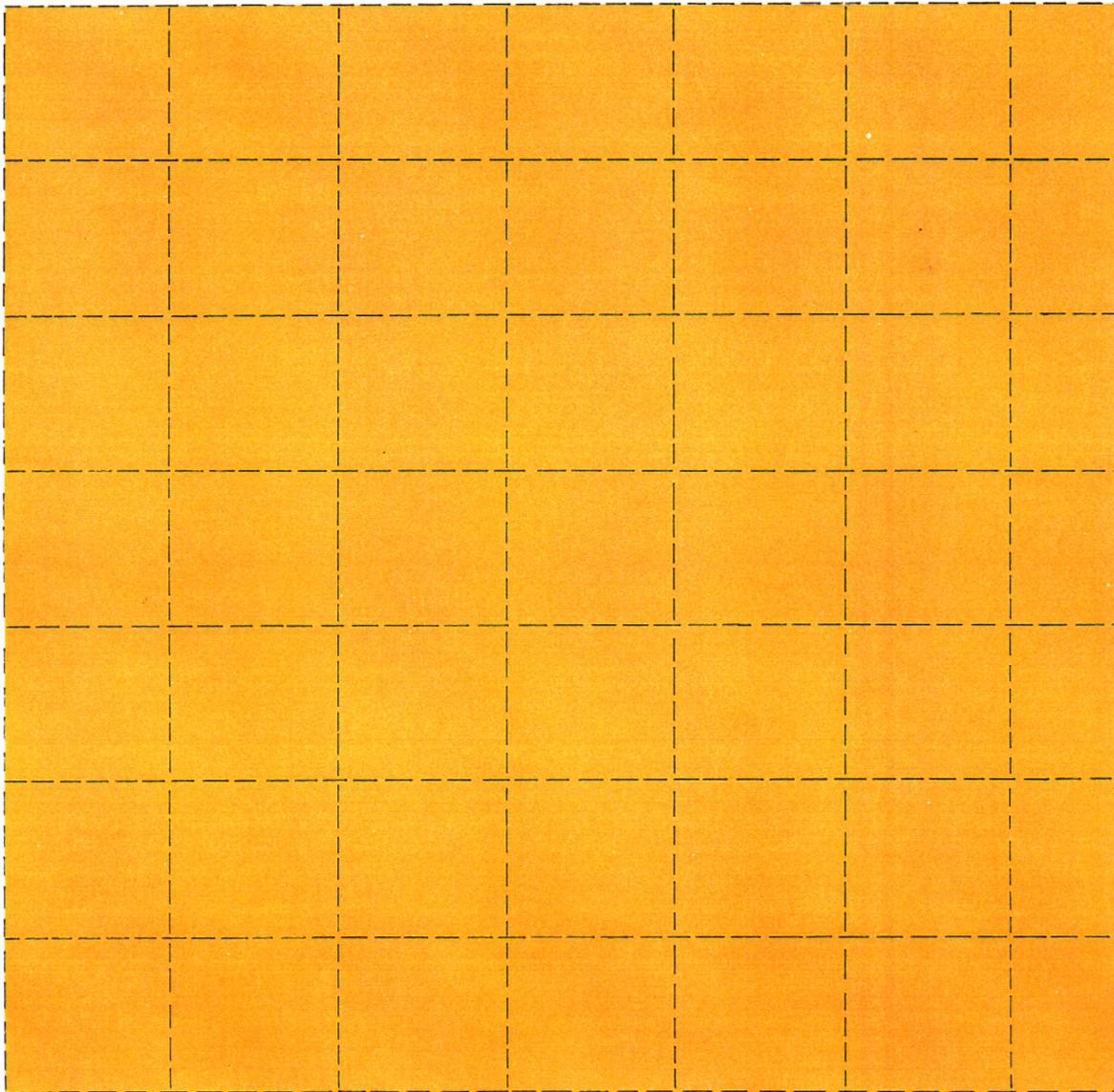
el mismo criterio constructivo que el resto del sistema. La columna será pintada a franjas horizontales alternadas blancas y negras para obtener la asociación con los colores utilizados en las señales de nomenclatura de calles y parada de buses.

La distancia desde el borde inferior de la placa hasta el nivel de acera será de 2.50 metros.

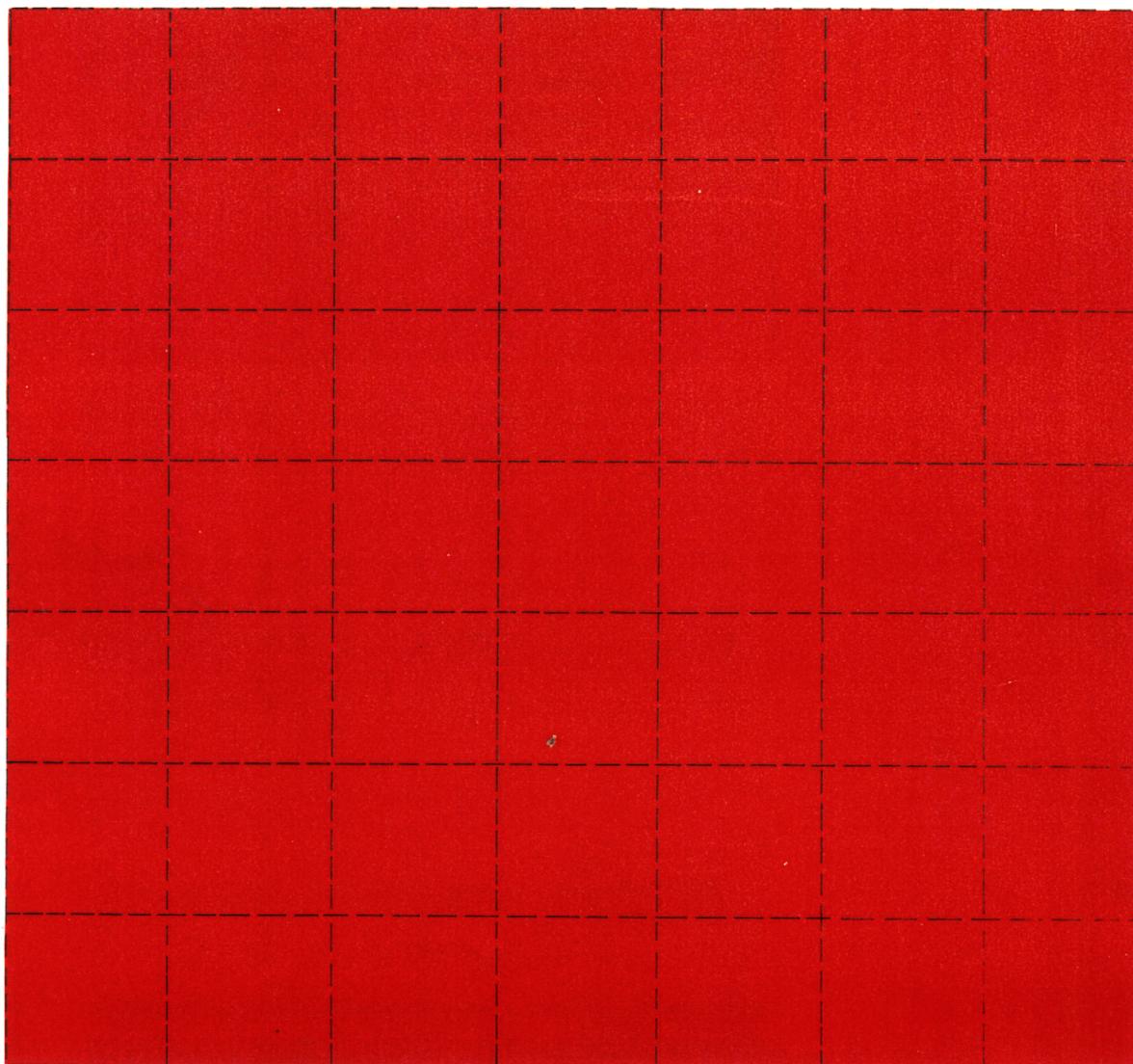


PATRON DE COLOR

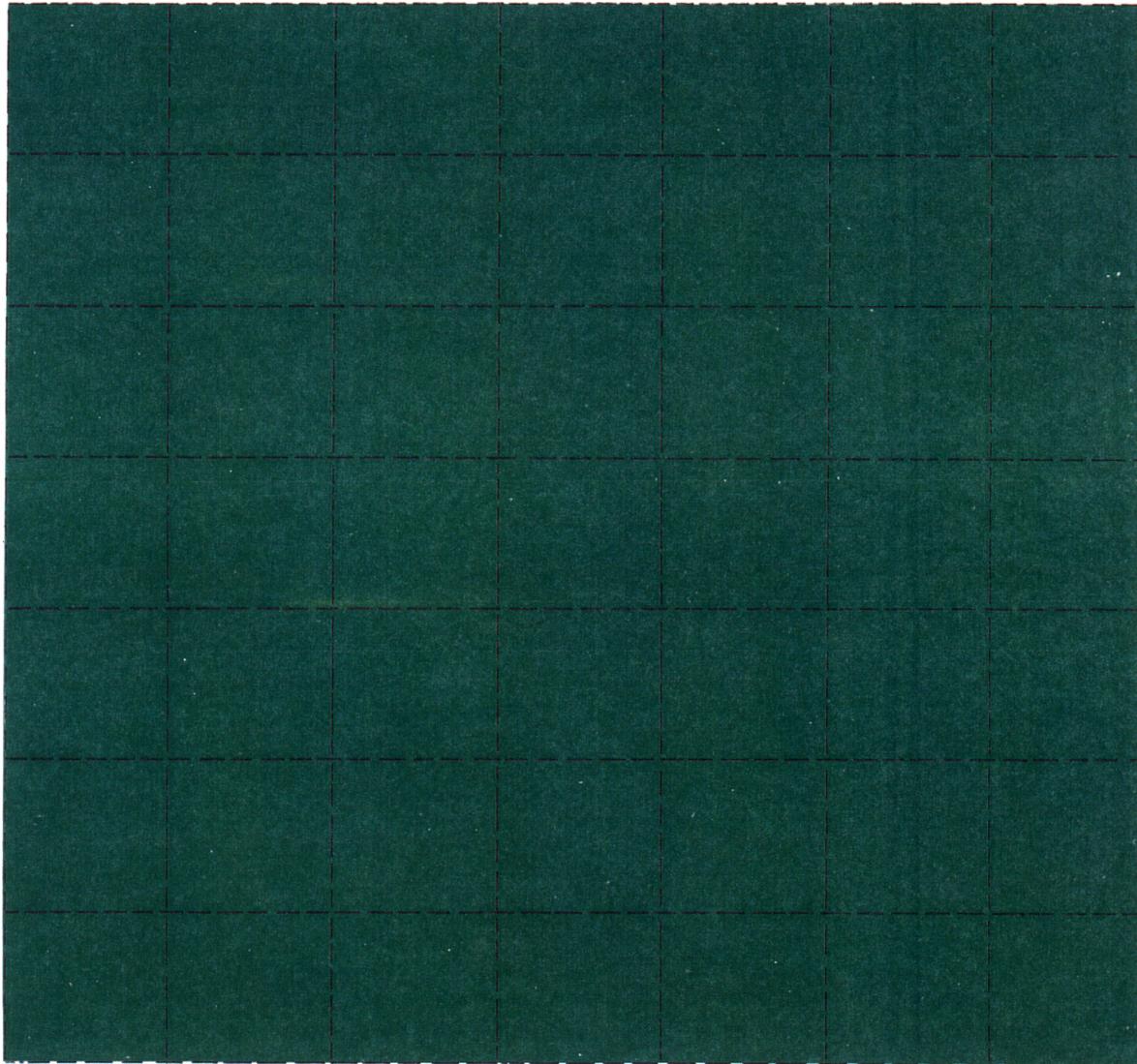
AMARILLO



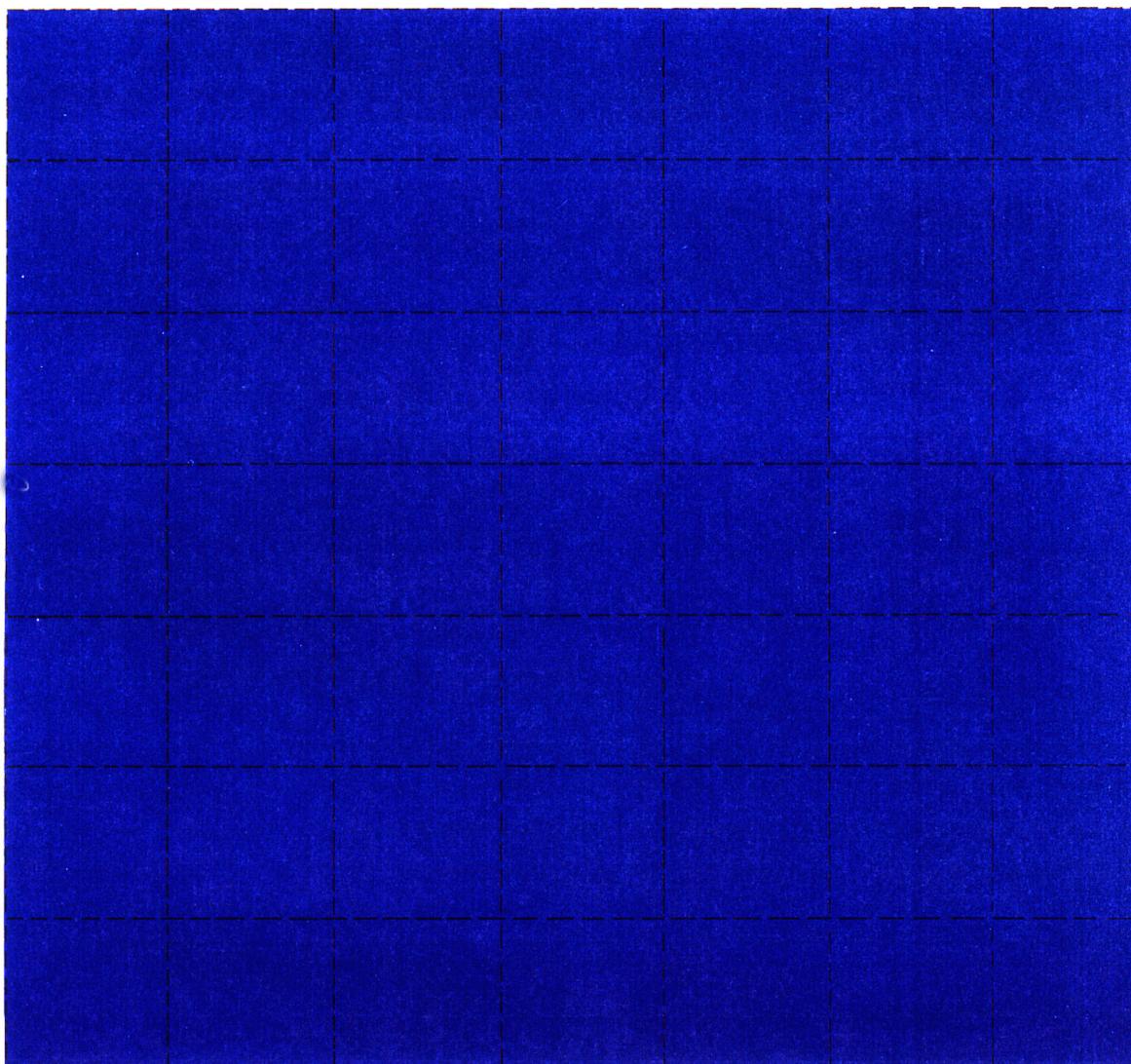
PATRON DE COLOR ROJO



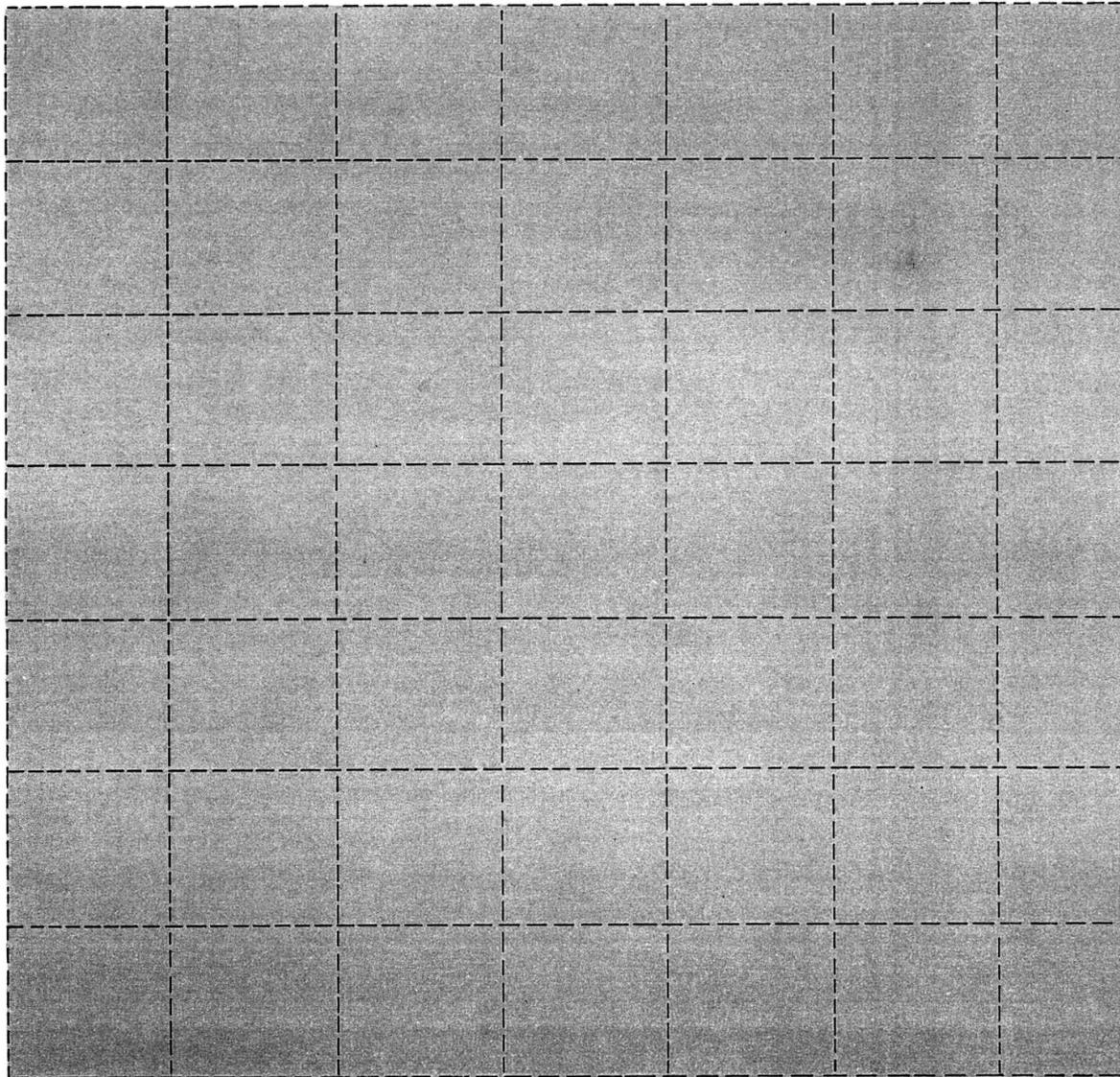
**PATRON DE COLOR      VERDE**



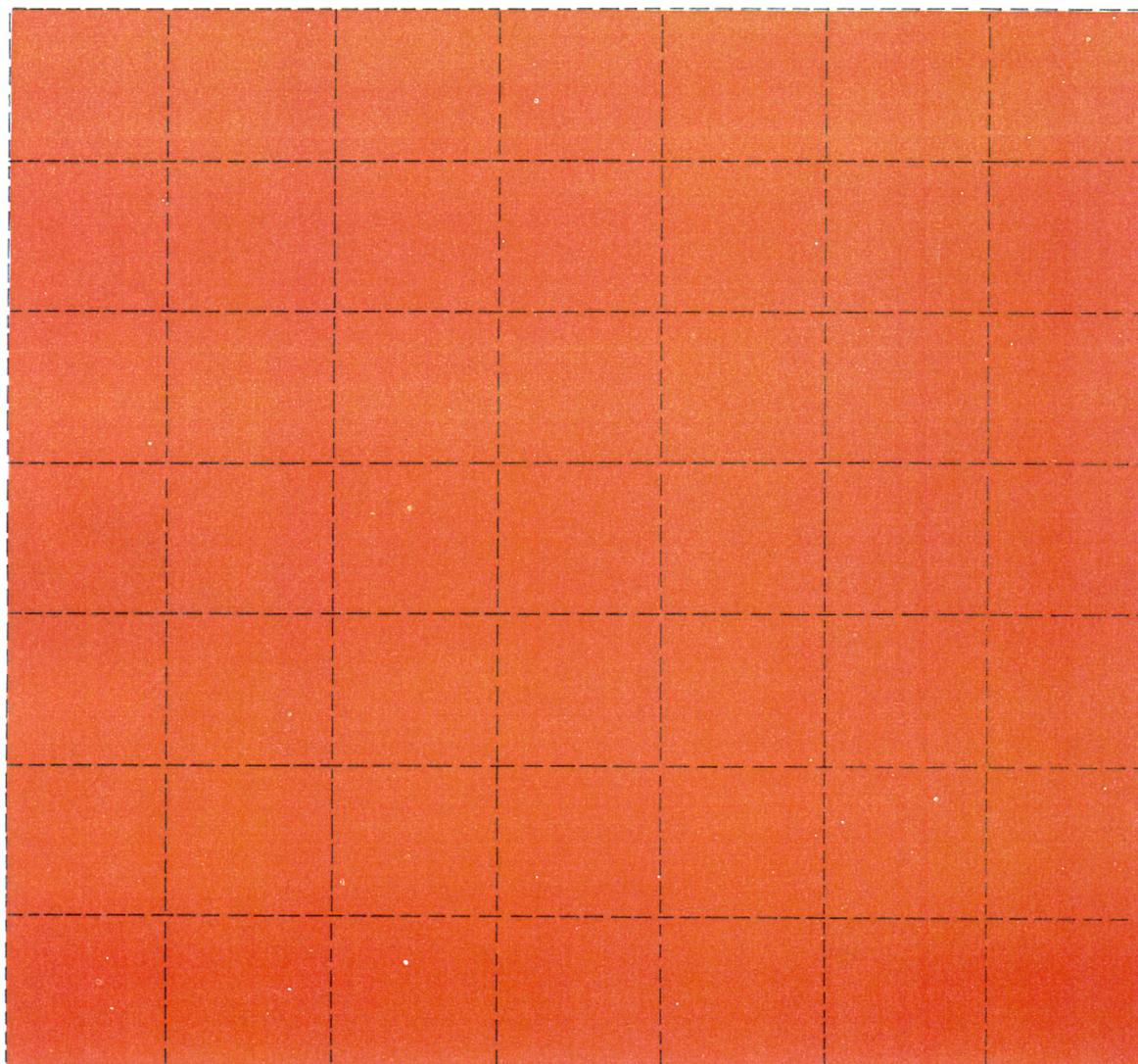
PATRON DE COLOR AZUL



**PATRON DE COLOR      GRIS**



PATRON DE COLOR NARANJA



## ILUMINACIÓN VIAL

### GENERALIDADES

El presente capítulo fija pautas generales y criterios de diseño para la elaboración de un proyecto de iluminación vial, no pretendiendo ser un manual de luminotecnia, manuales éstos a los cuales habrá que recurrir para la ejecución de un proyecto integral de iluminación.

EL notorio crecimiento del tránsito nocturno hace que los accidentes también se incrementen y en proporciones alarmantes si no se cuenta con una instalación de alumbrado adecuado. Estadísticamente se ha comprobado que al dotar de buen alumbrado a una arteria, se reduce la cantidad y la gravedad de estos sucesos con el consiguiente beneficio en vidas humanas, disminuyendo el vandalismo y asegurando el orden y la ley, justificando económicamente la inversión .

La calidad de una instalación estará determinada en función de la correcta percepción visual de los objetos, determinada por la relación de factores tales como: iluminación, contraste, sombras, deslumbramiento, ambiente cromático. Considerando a cualquiera de ellos decisivos, deberán interrelacionarse eficientemente para cumplir los objetivos determinados. Para lograr una buena iluminación vial se deben optimizar los conceptos anteriores, contemplando las características ambientales y luminosas, en función de los valores económicos.

Como características ambientales se consideran clase y tipo de calzada, tipo y densidad de tránsito, tipo de pavimento y entorno (región, ambiente, arboleda, edificación, posibilidad de mantenimiento, clima, etc.). Como características luminosas se consideran los valores de luminancia e iluminancia, uniformidades, geometría de distribución, sistemas de montajes.

La economía en función de la calidad mecánica, a través de una vida útil estimada en 15 años, significará un menor costo de mantenimiento.

En función de la calidad óptica se puede reducir la potencia de lámparas, altura de montaje y mayor separación de columnas a iguales valores lumínicos.

La calidad eléctrica indicará la economía producida por la menor frecuencia de mantenimiento y la reducida reposición de elementos fallidos (portalámparas, cables, etc).

La iluminación es un componente más de todo el sistema vial relativo a la operación de los vehículos, por lo que no debe ser considerado en forma aislada, sino más bien, tenerla en consideración conjuntamente con el resto de los elementos que componen el proyecto al formularse su planeamiento general, si es que se desean obtener óptimos resultados.

El mantenimiento durante las horas nocturnas de las condiciones de seguridad diurnas que

ofrece un camino, cuando el accionar de los conductores se ve limitado por la menor visibilidad y la reducción de sensibilidad para realizar maniobras rápidas (menor agudeza visual), es la razón fundamental que crea la necesidad de una buena iluminación.

### CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de calidad más importantes para una instalación de alumbrado público desde el punto de vista del rendimiento y comodidad visuales son :

- Nivel de luminancia
- Uniformidad de luminancia
- Grado de limitación del deslumbramiento
- Espectro de la lámpara
- Eficiencia de la geometría de la instalación para la orientación visual

#### Nivel de Luminancia.

El nivel de luminancia en la superficie de una calzada influye sobre la sensibilidad a los contrastes del ojo del conductor y sobre el contraste de los obstáculos en la carretera con respecto a su fondo; tiene por consiguiente, una influencia directa sobre el rendimiento visual de los conductores. La figura 1 demuestra esta influencia en función del poder revelador (que es la probabilidad de visión para un grupo definido de objetos) comparado con el aumento de la luminancia media de una vía.

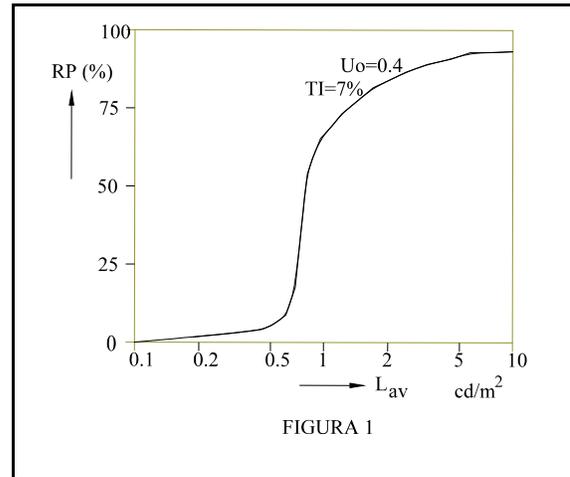


Fig. 1 : Poder revelador RP (para objetos vistos bajo un ángulo de 4 minutos de arco y definidos por la distribución estadística de las reflectancias observadas en prendas de vestir de las que llevan los peatones) en el sitio más oscuro de la carretera, como función de la luminancia media de la superficie de la carretera  $L_{av}$  (para una uniformidad razonable de  $U_o = 0.4$ ; y una restricción del deslumbramiento de  $TI = 7\%$ ).

En un gran número de pruebas se solicitó a observadores que opinaran si consideraban adecuados los niveles de luminancia encontrados en distintas instalaciones a lo largo de un recorrido. La tabla 2 muestra la escala de calificaciones que se empleó; la figura 3 muestra los resultados de las pruebas. Estos se promediaron y trazaron en función de la luminancia media de la vía. Resultó que el calificativo " bueno " correspondió a una luminancia de aproximadamente  $1.2 \text{ cd} / \text{m}^2$  para obtener el mismo calificativo.

Indice	Evaluación del alumbrado
1	Malo
3	Inadecuado
5	Regular
7	Bueno
9	Excelente

Tabla 2 : Escala de 9 grados para evaluar la calidad de las instalaciones de alumbrado público.

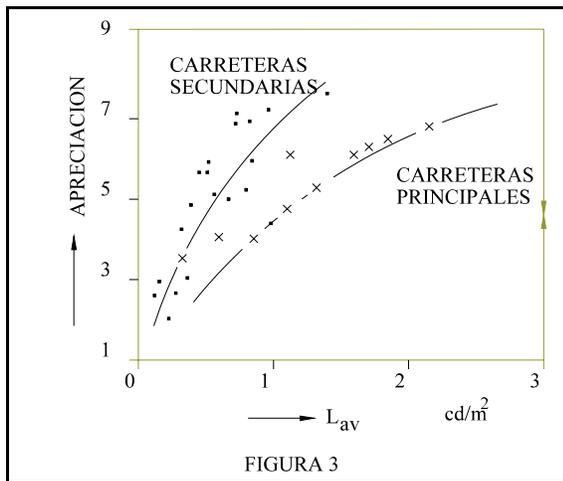


Fig. 3: Evaluación de calidad de la luminancia de un pavimento, en función de la luminancia media de la superficie de la carretera Lav para carreteras principales y secundarias.

**Uniformidad de la Luminancia en la Superficie de la Carretera.**

Una luminancia de adecuada uniformidad es importante tanto para el rendimiento como para la comodidad visual del conductor de un vehículo.

El criterio de uniformidad desde el aspecto del rendimiento visual es la razón  $L_{mín} / L_{av}$ , que se designa como razón global de uniformidad  $U_o$  y que no debe bajar del valor

0.4.

En la Fig. 4 se ve el efecto de un menor valor de  $U_o$  presentando la disminución de poder revelador con la disminución de  $U_o$  desde 0.4 a 0.2 . Sin embargo, se ha demostrado que una carretera alumbrada con un buen valor de  $U_o$  puede aún dar una incómoda impresión de luz - sombra. Por consiguiente, se debe utilizar un criterio adicional : el de comodidad visual. Este criterio se expresa por el cociente  $L_{mín} / L_{max}$  medidas a lo largo de la línea central de cada carril por un observador que mire en el mismo sentido que el tránsito. Este cociente se conoce como razón longitudinal de uniformidad  $U_L$ .

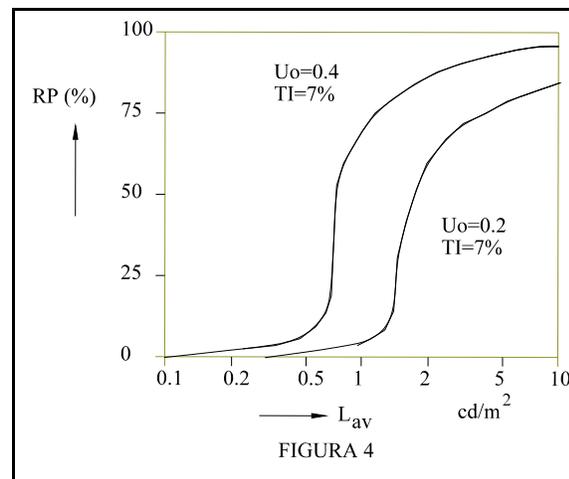


Fig. 4 : Poder discriminador RP en la posición más oscura de la carretera, como función de la luminancia media de la superficie de la carretera Lav , para razones globales de uniformidad  $U_o$  de 0.2 y 0.4.

La Fig. 5 muestra la correlación entre  $U_L$  y la apreciación subjetiva. Tanto el nivel medio de luminancia como la separación entre luminarias influyen sobre la sensación de alternancia luz-sombra . Esto se muestra en la

Fig. 6 , donde se presenta el valor justamente aceptable de uniformidad longitudinal en función de la separación entre luminarias y para diferentes valores de la luminancia media en la superficie de la carretera.

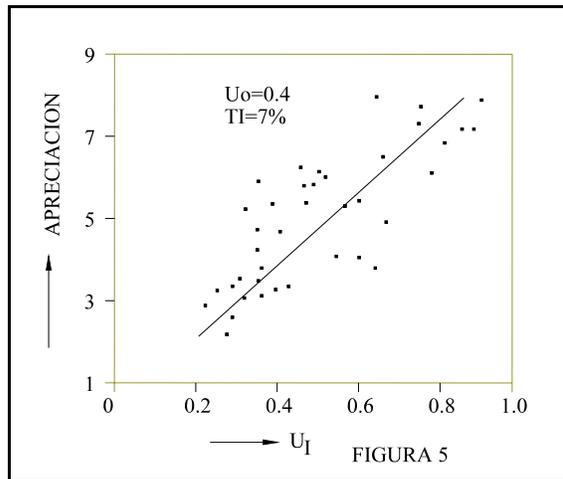


Fig. 5 : Evaluación de la sensación de " luz - sombra " como función de la razón longitudinal de uniformidad  $U_L$ , para carreteras principales y secundarias.

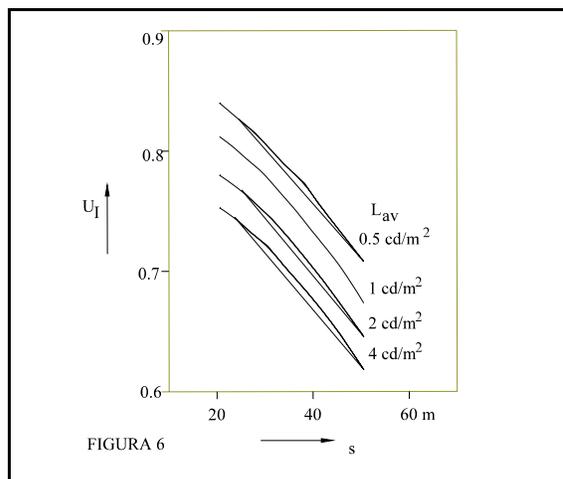


Fig. 6 : Valor aceptable de la uniformidad longitudinal  $U_0$  , en función de la distancia entre luminarias  $S$  , y para cuatro valores

diferentes de la luminancia media en la calzada ( para una velocidad del vehículo de 50 km / h ).

**Limitación del Deslumbramiento.**

En el alumbrado exterior se utilizan dos criterios relacionados con la noción de deslumbramiento: el deslumbramiento "fisiológico" o perturbador que se califica en términos de rendimiento visual; el deslumbramiento "psicológico" o molesto que se califica en términos de comodidad visual.

*Deslumbramiento perturbador*

El mecanismo por el que el deslumbramiento provoca pérdida en el rendimiento visual se puede comprender considerando la dispersión de la luz dentro del ojo . La luz de las fuentes deslumbradoras que se esparce en dirección de la retina hace que un velo brillante se superponga a la imagen nítida de la escena que se observa. Se puede considerar que este velo tiene una determinada luminancia, luminancia equivalente de velo  $L_v$  , que puede calcularse por la siguiente fórmula empírica :

$$L_v = k \sum \frac{E_{ojo i}}{\theta_i^2}$$

siendo:

$E_{ojo i}$  = iluminancia sobre el ojo (en un plano perpendicular a la dirección visual) producida por la fuente deslumbradora (lux).

$\theta_i$  = ángulo entre la dirección visual, y el

rayo de luz que incide sobre el ojo, procedente de la fuente deslumbradora (grados).

k = factor en función de la edad del observador (para los cálculos se toma igual a 10).

La luminancia equivalente de velo y el estado de adaptación del ojo, que para el alumbrado de carreteras está determinado principalmente por la luminancia media de calzada  $L_{av}$ , juegan un papel combinado en el rendimiento visual deficiente provocado por el deslumbramiento.

El criterio para el deslumbramiento perturbador es el denominado " incremento de umbral ", abreviado TI y definido a partir de la luminancia equivalente de velo y la luminancia media de la calzada por:

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{av}^{0.8}}$$

Con TI expresado en %.

El efecto sobre el rendimiento visual de un aumento del deslumbramiento perturbador puede verse en la figura 7, donde se presenta el poder revelador para dos valores de TI : el 7% , típico de luminarias rigurosamente controladas, y el 30 % para luminarias controladas menos estrictamente.

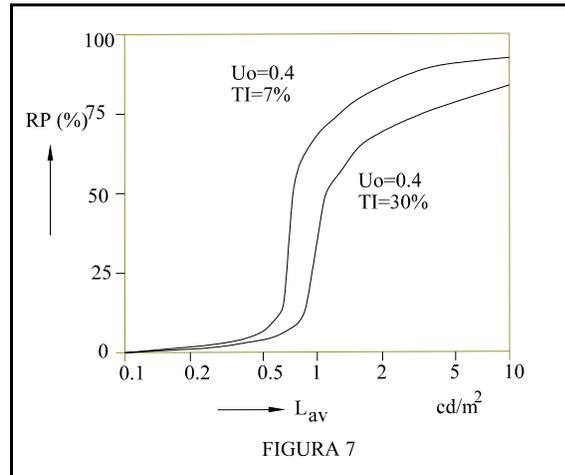


Fig. 7: Poder revelador RP en el sitio más oscuro de la calzada, como función de la luminancia media de la misma  $L_{av}$ , y para valores de incrementos de umbral TI del 7% y del 30% .

#### Deslumbramiento molesto

Se han hecho extensas investigaciones para determinar índices de deslumbramiento aplicables al alumbrado de las vías públicas. Se utilizaron modelos a escala y también instalaciones actualmente en uso. Se solicitó a un gran número de observadores evaluar el grado de deslumbramiento de varias instalaciones según una escala de 1 a 9 (cuadro 8). El promedio de estas evaluaciones para una instalación dada indica su grado de deslumbramiento molesto, expresándose en valores de G.

Los resultados de estas investigaciones indican que el deslumbramiento molesto de una vía con alumbrado artificial puede describirse por :

- La intensidad luminosa en un ángulo de  $80^\circ$  con la vertical en el plano  $C = 0^\circ$ ,  $I_{80}$ .

- La intensidad luminosa en un ángulo de 88/ con la vertical en el plano  $C = 0/$ ,  $I_{88}$ .
- El área emisora de luz de las luminarias proyectada bajo un ángulo de 76/,  $F$ .
- La luminancia media de la superficie de la calzada,  $L_r$ .
- La altura entre el plano a nivel de los ojos y el de las luminarias,  $h'$ .
- El número de luminarias por kilómetro,  $p$ .

- El factor de corrección para color,  $c$ .
- $c$  igual a 0.4 para sodio a baja presión
- $c$  igual a 0 para otras lámparas

Un análisis de estos factores permite establecer una fórmula para calcular el índice de deslumbramiento  $G$  de una determinada instalación. La fórmula indicada a continuación es válida para alturas de montaje entre 6.5 y 20 metros.

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \left( \log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{1/2 - 0.08} \log \frac{I_{80}}{I_{88}} - 1.29 \log F +$$

$$+ 0.97 \log L_r + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + c$$

<i>Indice</i>	<i>Deslumbramiento</i>	<i>Evaluación del alumbrado</i>
1	Insoportable	Malo
2	-	-
3	Molesto	Inadecuado
4	-	-
5	Admisible	Regular
6	-	-
7	Satisfactorio	Bueno
8	-	-
9	Imperceptible	Excelente

Cuadro 8 : Escala de 9 grados para evaluar el deslumbramiento molesto de instalaciones de alumbrado.

### Espectro de la Lámpara.

La composición espectral de la luz emitida por una lámpara determina en primer lugar la apariencia de color de la misma y la forma en que se apreciarán los colores de los objetos que ilumina. Estas características de la lámpara son, sin embargo, de importancia limitada para la mayoría de aplicaciones en alumbrado vial. Pero la composición espectral de la luz tiene también una apreciable importancia en los criterios usados en tales alumbrados en cuanto a la evaluación del rendimiento y comodidad visuales de los usuarios. Ello es conocido en base a resultados y mediciones tanto en vías públicas iluminadas artificialmente como a ensayos de laboratorios.

La influencia del espectro de la luz sobre la agudeza visual se desprende de la figura 9, que demuestra que la distancia de visibilidad es mayor con lámparas de sodio a baja presión que con las de mercurio a alta presión.

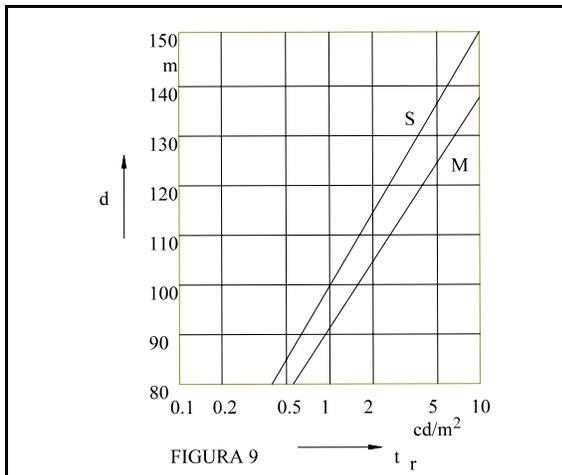


Fig. 9 : " Distancia de visibilidad " d (que es la distancia a la cual se observó

correctamente la abertura en el 80 % de los anillos de Landolt mostrados, lo que es una medida de la agudeza visual) iluminados con lámparas de sodio a baja presión S y lámparas de mercurio a alta presión M; en función de la luminancia media  $L_r$  de la calzada.

La influencia del espectro de la luz sobre la evaluación subjetiva de la iluminancia aparece en la figura 10. Se puede ver que la luminancia de la vía debe ser un 34 % mayor con lámparas de mercurio a alta presión que con las de sodio a baja presión si se desea obtener idéntica evaluación subjetiva.

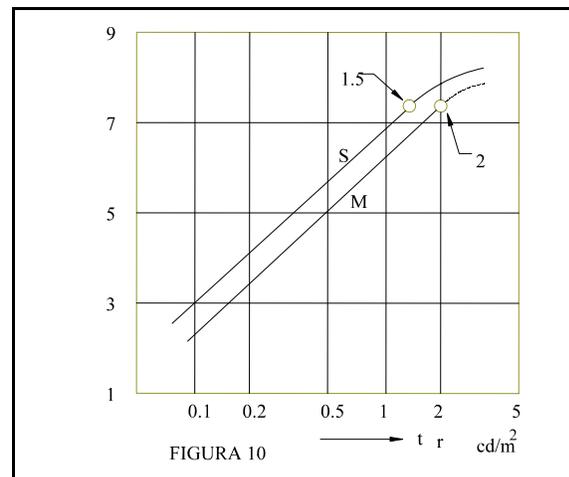


Fig. 10: Evaluación subjetiva de la luminancia de una vía pública con lámparas de sodio a baja presión S y lámparas de mercurio a alta presión M, en función de la luminancia media superficial medida en la calzada  $L_r$ .

La influencia del espectro de la luz en el deslumbramiento molesto se desprende de la figura 11. Resulta de ella que con lámparas de sodio a baja presión se permiten intensidades luminosas más altas que con

lámparas de mercurio para un mismo grado de deslumbramiento en un observador.

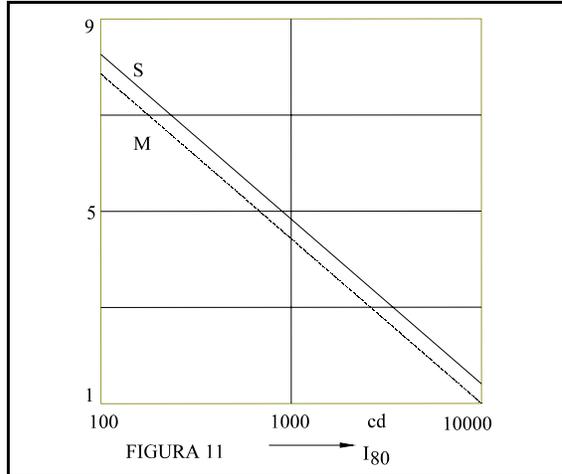


Fig. 11: Evaluación subjetiva del deslumbramiento molesto con lámparas de sodio a baja presión S y lámparas de mercurio a alta presión M en función de  $I_{80}$  (intensidad luminosa máxima de las luminarias en un ángulo de  $80^\circ$  con la vertical).

De estas consideraciones y de las investigaciones acerca de la influencia del color de la luz sobre la rapidez de percepción y tiempo de recuperación si se ha producido deslumbramiento se puede concluir que la luz de sodio a baja presión, comparada con otros tipos, produce :

- Mayor agudeza visual : para dar el mismo grado de agudeza visual con otros tipos de luz, la luminancia de la superficie de una vía debe ser 1.5 veces mayor aproximadamente.
- Una impresión de mayor luminosidad para determinada luminancia del pavimento.
- Mayor rapidez de percepción.
- Menor deslumbramiento molesto.
- Un tiempo menor de recuperación si se ha

producido un deslumbramiento.

### Orientación Visual.

Se deben tomar ciertas medidas en la geometría de la instalación para que permita una orientación visual. Todo este conjunto de medidas transmiten al usuario una rápida imagen para que inmediatamente identifique el curso de la vía y particularmente de la dirección que debe seguir a una distancia que dependerá del límite de velocidad permitida.

Durante la noche, la orientación visual en una vía no iluminada se restringe al área que cubren los faros del vehículo. Una disposición de luminarias que siga con exactitud la dirección de la calzada mejora la orientación y contribuye así a la seguridad y conveniencia de sus usuarios. Esto es especialmente importante en el caso de vías que tienen muchas curvas e intersecciones.

Por consiguiente, al proyectar una instalación de alumbrado público hay que pensar en una adecuada orientación del usuario y en especial en las zonas conflictivas donde la orientación puede ser errónea.

Los siguientes puntos son de gran importancia :

- a) En autopistas con varias calzadas y mediana se logra una buena orientación - aparte de otras ventajas - colocando los postes en la mediana.
- b) Una indicación clara del curso de la vía en una curva se logra colocando los postes en su lado exterior. La figura 12a muestra una curva donde no se ha hecho esto y la figura 12b la misma curva con los postes

colocados en su lado exterior . La vía tiene una luminancia más uniforme y su dirección está claramente indicada por la hilera de luminarias.

c) La orientación visual puede también servir para dirigir el tránsito a lo largo de ciertas vías. La utilización de lámparas con colores aparentes diferentes ha demostrado ser un medio muy eficiente para indicar la ruta aconsejable (fig. 13 ).

d) Durante la noche se obtiene una muy buena orientación visual si las vías principales y las vías de salida se iluminan con fuentes luminosas de diferente tipo (por ejemplo, sodio para la vía principal y mercurio para las salidas).

e ) Una orientación visual muy buena se logra montando las luminarias en suspensión catenaria (Figura 14 ).

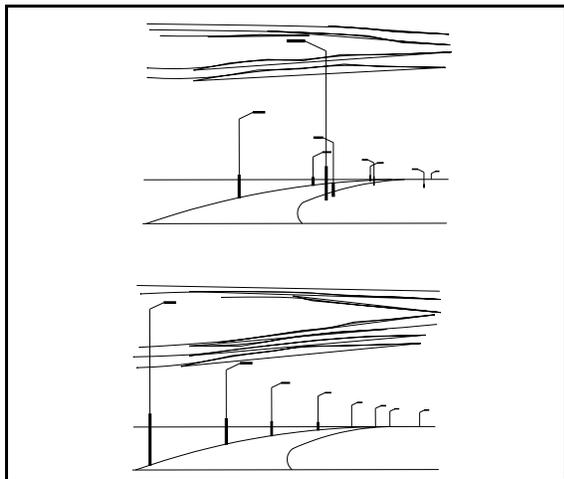


Fig. 12 : Orientación visual . La disposición irregular de las luminarias en la curva a ) no imparte al usuario ninguna información sobre el curso de la vía. Colocando las luminarias en el lado exterior de la curva b)

, se da una orientación clara del curso de la misma curva.

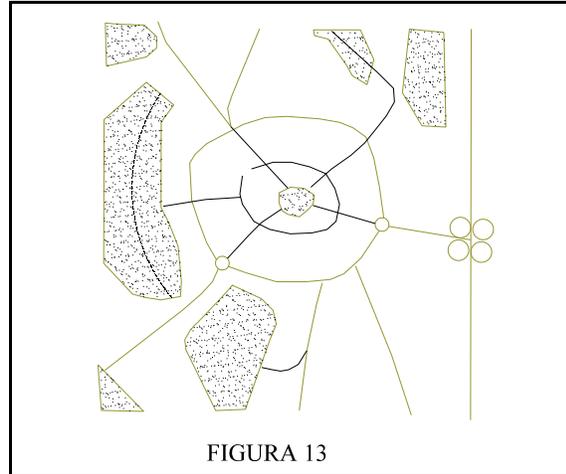


Fig. 13: Mapa de una ciudad donde se han marcado las vías según fuentes de luz de color aparente distinto. El tránsito que no necesita entrar al centro de la ciudad, sigue la iluminación de sodio instalado en las vías de acceso y de circunvalación (líneas llenas). El tránsito que se dirige hacia el centro de la ciudad, sale de la circunvalación tomando vías iluminadas por mercurio a alta presión (líneas de trazos).

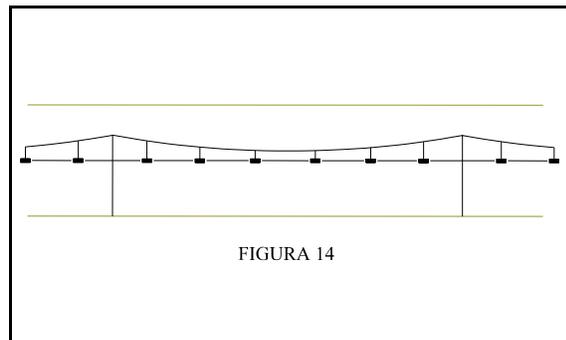


Fig. 14 : Sistema de alumbrado por catenaria.

## CLASIFICACIÓN DE CALZADAS

Las exigencias que debe cumplir una instalación de alumbrado público se encuentran recogidas en las recomendaciones de diferentes países. Algunos han basado sus recomendaciones en las internacionales formuladas por la CIE (International Commission on Illumination).

Los requisitos que las instalaciones de alumbrado público deben cumplir con el fin de proporcionar adecuadas condiciones visuales para un tránsito seguro dependen de la intensidad, velocidad y composición del tránsito y de la complejidad de la red vial. Por lo tanto, las recomendaciones para alumbrado de carreteras estipulan diferentes requisitos para diferentes categorías de vías. El cuadro 15 da las diversas categorías de calzadas según la definición de la CIE para este fin, mientras que el cuadro 16 resume los valores de las magnitudes fotométricas para esas categorías. Como puede verse en el cuadro 16, la CIE da diferentes recomendaciones para alrededores brillantes y oscuros dentro de la misma clase de calzada.

Se hace así porque diferencias grandes de luminancia dentro del campo de visión provocan una disminución de la sensibilidad de contraste del ojo en las partes más oscuras. Para compensar la pérdida de sensibilidad de contraste debe aumentarse el nivel medio de luminancia en la superficie de la calzada. La restricción del deslumbramiento bajo estas circunstancias puede hacerse algo menos estricta a causa del mayor nivel de adaptación.

En la situación inversa, alrededores oscuros y una superficie brillante de calzada, los ojos del conductor están adaptados al nivel de luminancia de ésta y, por lo tanto, se reduce la percepción en las zonas más oscuras de los alrededores y, por ende, de objetos contra las mismas. Consecuentemente, en el caso de calzadas con alrededores oscuros debe darse mayor énfasis al alumbrado de estos alrededores y al control del deslumbramiento. La CIE establece, en efecto, que es deseable que se ilumine una zona de unos 5m de ancho más allá de la calzada con un nivel de luminancia no menor del 50% existente en los 5m adyacentes de dicha calzada.

Cuadro N/15

<i>CATEGORIA DECALZADA</i>	<i>TIPO Y DENSIDAD DE TRANSITO</i>	<i>TIPO DE CALZADA</i>	<i>EJEMPLOS</i>
A	Tránsito motorizado pesado y de gran velocidad, mayor de 100km/h.	Calzadas con carriles separados, completamente libre de cruces a nivel. Accesos totalmente controlados.	Autopista
B	Tránsito motorizado rápido, menor o igual a 100km/h.	Carretera importante para tránsito motorizado, con o sin carriles separados para tránsito lento.	Carreteras interurbanas, Carreteras principales.
C	Tránsito motorizado pesado y de velocidad moderada. Tránsito pesado mixto de velocidad moderada.	Carreteras urbanas o rurales, importantes y de todo uso.	Carreteras de circunvalación. Carreteras radiales.
D	Tránsito mixto de importancia con mayor proporción de tránsito lento o peatonal.	Calles en ciudades o centros comerciales, de acceso a edificios públicos, donde el tránsito motorizado es denso y lento, presencia de peatones.	Carreteras interurbanas. Calles comerciales.
E	Tránsito mixto con límite de velocidad y densidad moderada.	Carreteras de unión entre zonas residenciales (calles residenc.) y carreteras de tipos A hasta D	Carreteras colectoras. Calles urbanas.

Cuadro N/16

<i>Clase de calle</i>	<i>Alrededores</i>	<i>Luminancia media en la superficie de la calzada. Lav (cd/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Uniformidad global Uo</i>	<i>Uniformidad longitudinal. Ul</i>	<i>Indice control de deslumbramiento G</i>	<i>Incremento umbral. TI (%)</i>
A	Cualquiera	2	0.4	0.7	6	10
B1	Claros	2	0.4	0.7	5	10
B2	Oscuros	1	0.4	0.7	6	10
C1	Claros	2	0.4	0.5	5	20
C2	Oscuros	1	0.4	0.5	6	10
D	Claros	2	0.4	0.5	4	20
E1	Claros	1	0.4	0.5	4	20
E2	Oscuro	0.5	0.4	0.5	5	20

Valores recomendados de los parámetros del alumbrado de calzadas. En Lav, Uo, Ul, G los valores deben ser mayor o igual que los indicados; en TI deben ser menor ó igual que los indicados.

## PROPIEDADES REFLECTIVAS DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA

Para el cálculo de la luminancia de la superficie de una calzada es indispensable conocer sus características reflectivas.

### Coeficiente de luminancia

Las características reflectivas de una calzada pueden expresarse mediante el coeficiente de luminancia  $q$ . Este coeficiente se define como la relación entre la luminancia en un punto determinado y la iluminancia horizontal en ese mismo punto.

$$q = \frac{L}{E}$$

El coeficiente de luminancia depende de las posiciones del observador y de la fuente luminosa con respecto al punto P que se considera.

$$q = f(\theta, \gamma, \phi)$$

Para la zona de la calzada que importa al conductor de un vehículo, o sea, entre 60 m y 160 m delante de él, el ángulo  $\theta$  varía solamente entre 1.5 y 0.5 grados. Por consiguiente se puede despreciar la variación de  $\theta$  y se ha establecido el valor fijo de  $1/$ .

$$L = q(\beta, \gamma) E(C, \gamma) = \frac{q(\beta, \gamma) I(C, \gamma)}{h^2} \cos^3 \gamma = \frac{R(\beta, \gamma) I(C, \gamma)}{h^2}$$

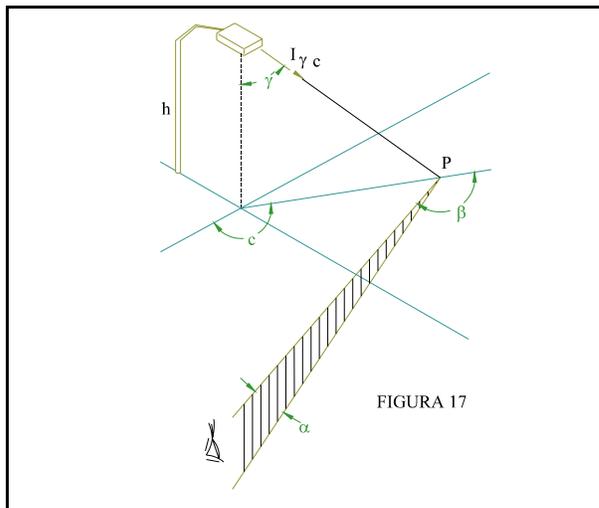


FIGURA 17

Fig. 17 : Angulos de los cuales depende el coeficiente de luminancia:

$\theta$  = ángulo de observación (desde el plano horizontal)

$\gamma$  = ángulo entre el plano de incidencia de la luz y el plano de observación.

$\phi$  = ángulo de incidencia.

C = Semiplano.

R = Coeficiente de luminancia reducido del pavimento.

I = Intensidad luminosa en el semiplano "C" y para un ángulo vertical  $\phi$ .

*Indicatriz de reflexión*

El coeficiente de reflexión de una vía depende así solamente de dos ángulos. Estos valores pueden presentarse mediante tablas en las cuales se indican normalmente los valores de  $q \cos^3 \beta = R$ , o mediante la indicatriz de reflexión (Fig. 18) . En esta figura, la longitud de una flecha trazada en una dirección (definida por los ángulos  $\beta$  y  $\beta'$ ) representa el valor del coeficiente de luminancia para tal dirección de incidencia de luz.

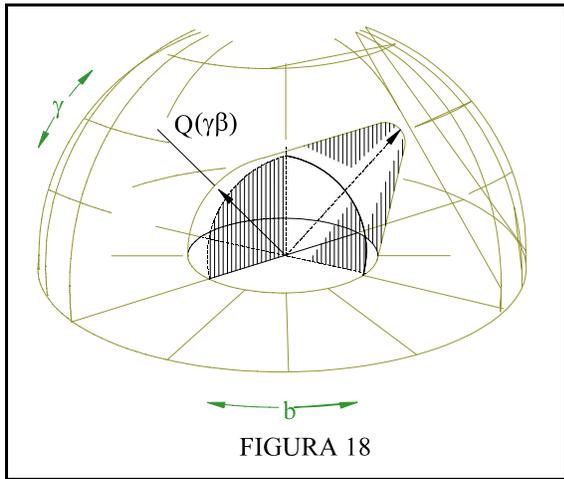


Fig. 18 : Indicatriz del coeficiente de luminancia, mostrando :  
 $q$  = coeficiente de luminancia.  
 $\beta$  = ángulo entre el plano de observación y el de incidencia de la luz.  
 $\beta'$  = ángulo de incidencia de la luz (desde la vertical).

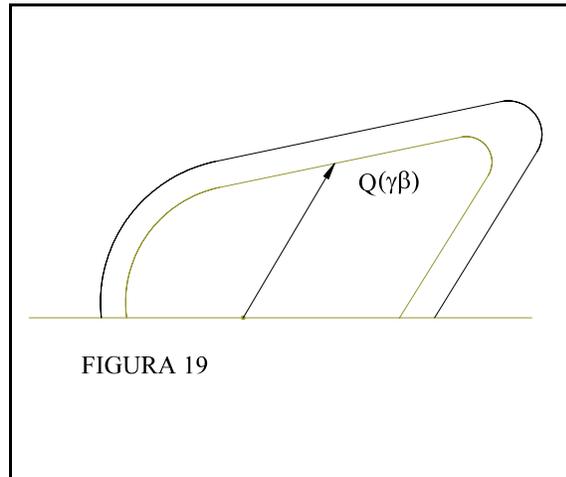


Fig. 19 : Indicatriz "q" a través de uno de los planos  $\beta$  para diferentes valores  $Q_0$  (volumen) y un valor constante de  $S_1$  y  $S_2$ .

Siendo  $S_1$  y  $S_2$  los factores que representan el grado de reflexión especular del pavimento, entendiéndose como reflexión especular la reflexión sin difusión, siendo la “difusión” el cambio de la distribución espacial de una radiación cuando ésta se desvía en muchas direcciones debido a una superficie o un medio.

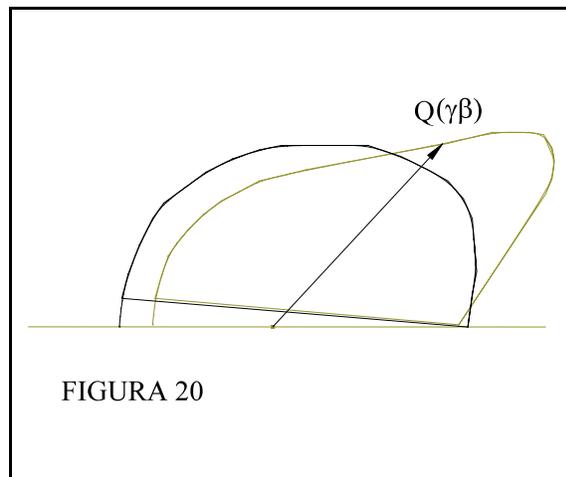


FIGURA 20

Fig. 20 : Indicatriz "q" a través de uno de los planos  $\tilde{\omega}$  para diferentes valores de  $S_1$  y  $S_2$  (forma) y un valor constante de  $Q_0$  (volumen).

Para el cálculo de luminancia, sin embargo, las características de un pavimento pueden definirse con suficiente exactitud en base a tres valores fáciles de medir :

La indicatriz de reflexión sólo se puede determinar con mediciones de laboratorio y lleva mucho tiempo.

- el coeficiente medio de luminancia,  $Q_0$ .
- el factor especular 1,  $S_1$
- el factor especular 2,  $S_2$

$$Q_0 = \frac{\int q d\omega}{\int d\omega} \quad S_1 = \frac{R(0.2)}{R(0.0)} \quad S_2 = \frac{Q_0}{R(0.0)}$$

definidos como:

siendo  $R(0.2)$  y  $R(0.0)$  valores de  $R$  para valores específicos de  $\tilde{\omega}$  y  $\phi$ ; a saber  $\tilde{\omega} = 0^\circ$  y  $\phi = 0^\circ$  para  $R(0.0)$  y  $\tilde{\omega} = 0^\circ$  y  $\phi = 63.4^\circ$  (arc. tg 2), para  $R(0.2)$ .

Si sólo cambia el valor  $Q_0$ , el volumen de la indicatriz cambia, pero su forma no y, por consiguiente, el grado de especularidad no se modifica (Fig. 19); sí, por el contrario, cambia la forma de la indicatriz se altera el grado de especularidad (Fig. 20).

El valor  $Q_0$  define el nivel de reflectancia total o "claridad" de la superficie de la calzada (volumen de la indicatriz) y los valores  $S_1$  y  $S_2$  el grado de especularidad (forma de la indicatriz).

Las superficies de vías en estado seco se han dividido en cuatro clases de acuerdo con su valor  $S_1$ . Estas clases se indican en el cuadro 21.

CLASE	GAMA DE VALORES $S_1$	TIPO DE REFLEXION
RI	$S_1 < 0.42$	Difusa
RII	$0.42 \leq S_1 < 0.85$	Aproximadamente difusa
RIII	$0.85 \leq S_1 < 1.35$	Ligeramente brillante
RIV	$S_1 \geq 1.35$	Brillante

Cuadro N°. 21 : Clasificación de pavimentos.

Si se comparan las indicatrices  $q$  (o las tablas  $R$ ) de distintos pavimentos que pertenecen a la misma clase y de igual valor  $Q_0$  (pero de diferentes valores  $S_1$ ), se puede observar que las diferencias entre unas y otras no son grandes. Esto quiere decir que para la

superficie de una calzada determinada los cálculos de luminancia pueden hacerse para un pavimento "normalizado" de la clase a la cual pertenece tomando en cuenta su valor  $S_1$ .

A continuación se indica la clasificación de los pavimentos normalizados :

Clase RI	$S1 = 0.25$
Clase RII	$S1 = 0.58$
Clase RIII	$S1 = 1.11$
Clase RIV	$S1 = 1.55$

Las indicatrices  $q$  o las tablas  $R$  para estas superficies normalizadas se indican usualmente para  $Q_0 = 1$ . Para hacerlas aplicables a los valores reales de  $Q_0$  es necesario multiplicar los resultados por  $Q_0$ .

## DISPOSICION DE LUMINARIAS

Vías con Tránsito en Ambos Sentidos.  
Hay cuatro formas de disposición de luminarias que han sido reconocidas como aptas para vías de esta clase.

### *Unilateral*

Esta disposición ( Fig. 22 a ), que consiste en la colocación de todas las luminarias a un mismo lado de la calzada, se utiliza solamente en el caso de que el ancho de la vía sea igual o inferior a la altura de montaje de las luminarias. La luminancia de la vía en el lado opuesto a la fila de luminarias será inevitablemente menor comparada con la del lado donde han sido colocadas aquellas.

### *Tresbolillo*

Esta disposición ( Fig. 22 b ) consiste en la colocación de las luminarias en ambos lados de la vía al tresbolillo o en zig zag y se emplea principalmente si el ancho de la vía es de 1.0 a 1.5 veces la altura de montaje. Hay que prestar cuidadosa atención a la uniformidad de las luminarias en la vía, manchas brillantes y oscuras pueden producir un efecto molesto de zig zag.

### *En oposición*

Esta disposición (Fig. 22 c) con luminarias colocadas una opuesta a la otra se utiliza ante todo cuando el ancho de la vía es mayor de 1.5 veces la altura de montaje.

### *Suspendidas en la mitad de la vía*

Esta disposición (Fig. 22 d) con las luminarias suspendidas a lo largo del eje de la vía se utiliza para vías estrechas con edificios en ambos lados que permiten la suspensión de las luminarias en cables anclados en ellos.

Se emplean también combinaciones de estas cuatro disposiciones básicas. Existen también disposiciones especiales con luminarias montadas a baja altura con el fin de proveer orientación visual . En este caso la luminancia de la vía será muy baja debido a las sombras producidas por otros vehículos que pasan y a la degradación debida al polvo acumulado en las luminarias.

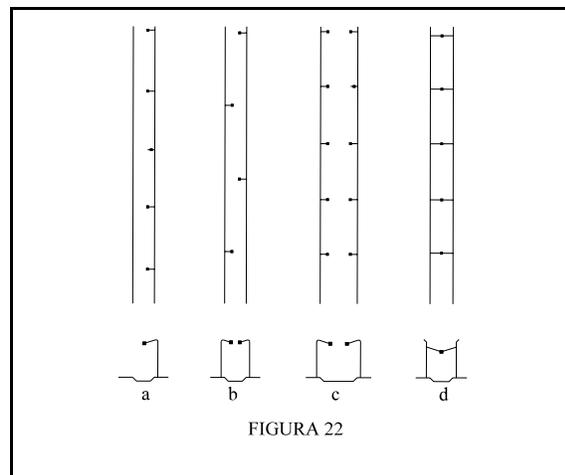


FIGURA 22

Fig. 22 : Disposición de luminarias para vías con tránsito en ambos sentidos:

- a) Unilateral
- b) Tresbolillo
- c) En oposición
- d) Suspendidas en el centro de la vía

### Autopistas y Vías de dos Calzadas.

Las disposiciones de las Fig. 22 son también aptas para autopistas y vías de dos calzadas. Para éstas, sin embargo, hay otras tres disposiciones posibles.

#### *Central con brazo doble*

Los postes están colocados exclusivamente en la mediana (Fig. 23a). Esto puede considerarse como disposición unilateral para cada una de las dos calzadas.

#### *Combinación de brazos dobles y disposición en oposición*

A los brazos dobles colocados en la mediana se agrega la disposición opuesta (Fig. 23b). Esto equivale a la disposición a tresbolillo para cada una de las calzadas.

#### *Disposición en catenaria*

Las luminarias (con espacios de 10 a 20 metros entre sí) están suspendidas de un cable montado a lo largo de la vía, encima de la mediana (Fig. 23c). Los postes que soportan el cable quedan bastante distanciados (60 a 90 metros). La disposición de catenaria ofrece:

- Excelente orientación visual.
- Excelente uniformidad
- Menor deslumbramiento que cualquier otro sistema (puesto que las luminarias se ven longitudinalmente)

-Mejor visibilidad, que se hace destacable especialmente si el tiempo es malo.

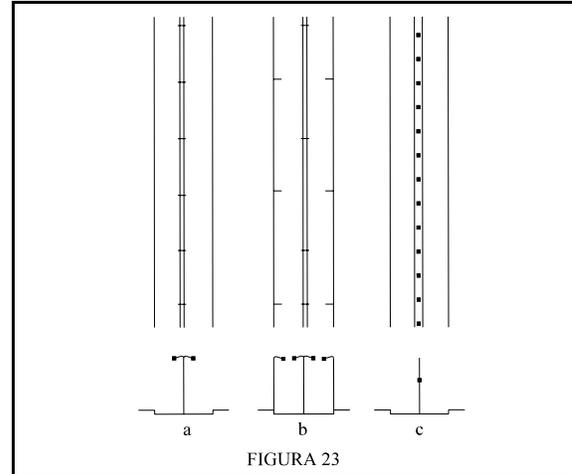


Fig. 23 : Disposición de luminarias para autopistas y vías de dos calzadas :

- a) En la mediana con brazo doble.
- b) Combinación de brazos dobles y disposición opuesta.
- c) Disposición en catenaria.

### Intersecciones.

#### *Con luminarias clásicas de alumbrado público*

En cruces, rotondas y vías de acceso la disposición de las luminarias debe ser tal que la bifurcación sea claramente visible a distancia. El alumbrado debería contribuir también a la prevención de congestiones de tránsito ayudando a los conductores en la selección de la salida conveniente.

Esta ayuda, especialmente durante la noche, se hace efectiva cuando :

- Dando a la vía una luminancia mayor en las zonas de bifurcación.

- Utilizando fuentes de luz con distinta apariencia de color.
- Utilizando luminarias de tipo distinto y en disposiciones diferentes para vías principales y secundarias.

#### *Alumbrado con postes altos*

Se prefiere la iluminación desde postes altos (de 20 metros o más) a la clásica en bifurcaciones complejas de vías principales y en nudos de autopistas. Las hileras de luminarias del alumbrado clásico pueden producir un efecto de desorientación, especialmente en interconexiones de vías de diferentes niveles.

Con un número reducido de luminarias de alta potencia en postes altos es posible imitar la uniformidad de la luz diurna. Al diseñar una instalación de esta índole se debe planificar cuidadosamente la posición de los postes y la selección de las luminarias a emplear.

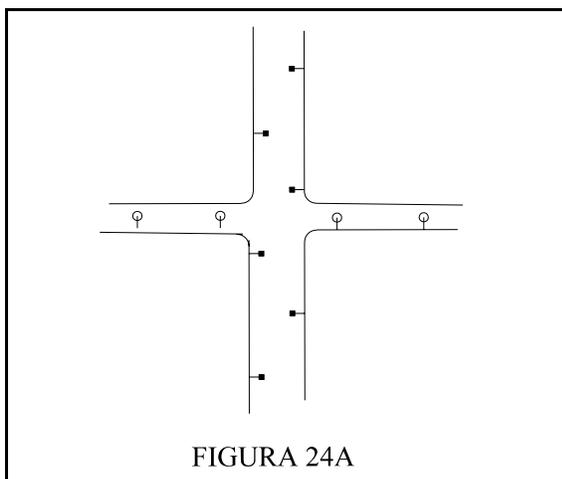


Fig. 24 a : Cruce de una vía principal con una secundaria.

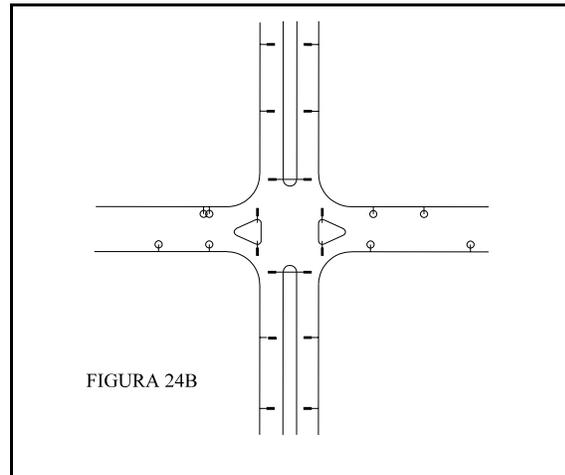


Fig. 24 b : Cruce de una vía de dos calzadas.

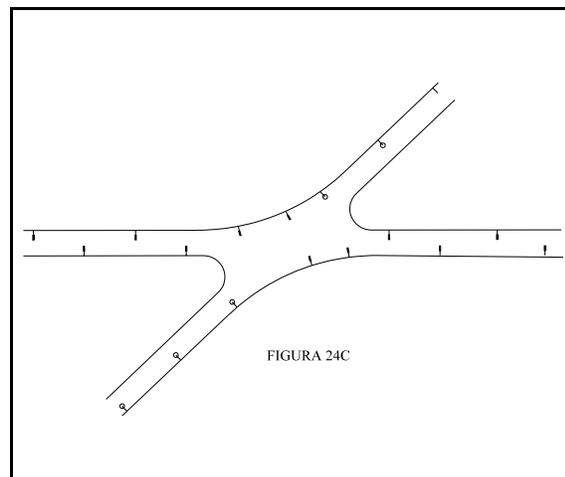


Fig. 24 c : Intersección de vías principales.

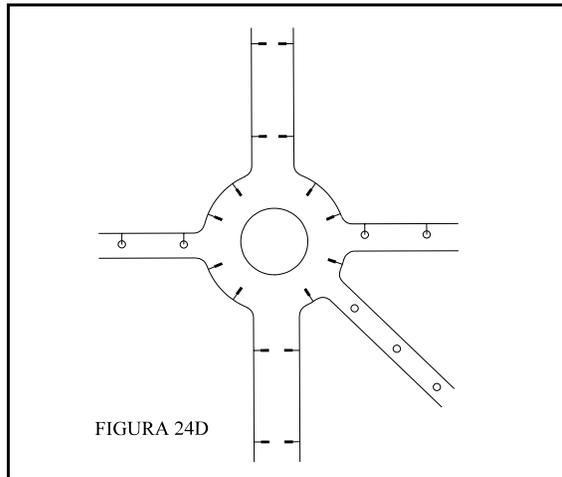


Fig. 24 d : Rotonda.

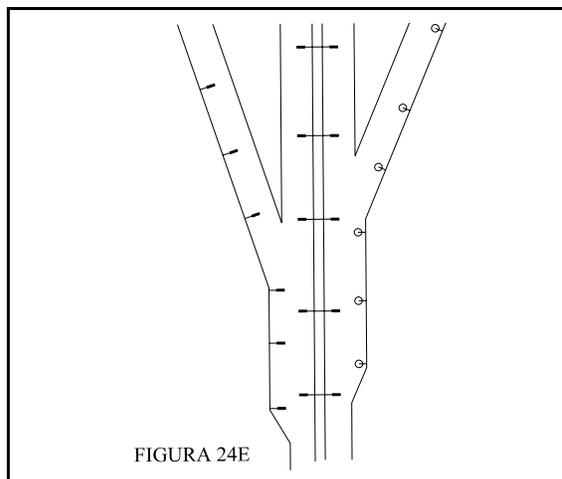


Fig. 24 e : Rampas ingreso y egreso de una autopista.

### Curvas.

Las curvas de radio grande (del orden de los 300 metros) pueden tratarse como vías rectas y colocarse las luminarias según uno de los esquemas anteriormente descritos. En curvas de radio más reducido las luminarias deben colocarse de forma que haya una adecuada luminancia de la vía y eficiente

orientación visual. Si el ancho de la vía es menor de 1.5 veces la altura de montaje, las luminarias deben colocarse a lo largo del lado exterior de la curva, en disposición unilateral (Fig. 25). En vías más anchas se debe aplicar la disposición pareada. La disposición a tresbolillo no da ninguna orientación visual y debe, por consiguiente, evitarse. En todas las curvas, la separación de las luminarias depende del radio de la curva: cuanto menor sea éste menor debe ser la separación. Como regla general, la distancia entre luminarias en las curvas debe reducirse entre 0.5 y 0.75 en relación con un tramo similar de una vía recta.

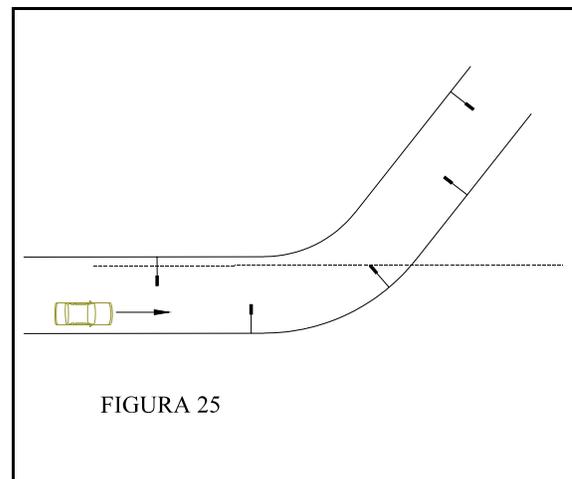


Fig. 25 : Luminarias colocadas en el lado exterior de la curva para contribuir a la orientación visual.

### Cálculos.

Este capítulo da métodos para el cálculo de los valores de iluminancia y de luminancia en la superficie de la calzada. Cuando se precisa un análisis detallado del diseño, la rapidez y exactitud obtenidas mediante computadoras son esenciales.

Sin embargo, para trabajos rutinarios de diseño no es imprescindible el uso de una computadora si se dispone de los denominados esquemas de alumbrado para las luminarias pertinentes. Si no se dispone de computadora ni de esquemas de alumbrado se pueden usar los datos fotométricos de la luminaria presentados en forma gráfica para comprobar algunos puntos en los tanteos de diseño.

### *Curva Isolux*

Como su nombre lo indica son las curvas de igual iluminancia, trazadas en un plano horizontal con la luminaria montada a una altura determinada sobre el mismo y para un cierto flujo de la fuente luminosa.

Las curvas que se trazan pueden ser de valores de iluminancia o de porcentajes del valor máximo de iluminancia. En general las coordenadas elegidas para el trazado están dadas en valores que equivalen a la relación distancia / altura de montaje.

Es decir, que toda curva Isolux debe indicar claramente, además de la identificación de la luminaria y la fuente luminosa, la altura de montaje ensayada y los factores de corrección por otras alturas, el ángulo de montaje y los valores de las curvas, y si éstas son porcentuales el valor de la iluminancia máxima.

### *Curva de utilización de rendimiento en calzada*

Esta curva nos define el factor de utilización del rendimiento de la luminaria como un cociente entre el flujo que llega a la calzada y el flujo total de la fuente luminosa de dicha

luminaria. Por lo general este rendimiento se da en función distancia transversal / altura de montaje hacia adelante (lado camino) y hacia atrás (lado vereda) limitadas ambas curvas por el plano  $C = 0^\circ = 180^\circ$  en una longitud infinita a lo largo de la calzada para el trazado de la curva de utilización longitudinal.

Los datos que deben figurar son :

- la identificación de la luminaria
- fuente luminosa
- ángulo de montaje

### *Curva de distribución polar*

Esta curva dibujada en coordenadas polares, nos informa la variación de la intensidad luminosa en función del ángulo  $\phi$  de emisión. En general las curvas se dibujan en tres semiplanos  $C - 0^\circ$ ;  $C - 90^\circ$ ;  $C - 270^\circ$  y para un cuarto semiplano que es aquel en el cual se ubica la intensidad luminosa máxima que emite la luminaria.

Los datos identificatorios de éstas curvas son:

- los de luminaria.
- de la fuente luminosa.
- el flujo luminoso.
- el ángulo de montaje

### *Curvas Isocandelas*

Estas curvas son el trazado de líneas correspondientes a un igual valor de intensidad luminosa, los que pueden ser absolutos o porcentuales referidos al valor máximo.

Existen diversas formas de presentación cuando se trata de una representación espacial, pues las proyecciones esféricas

empleadas pueden ser rectangular, senoidal, ó acimutal y cuyas coordenadas angulares son paralelas (representan los ángulos verticales  $\gamma$ ) y meridianos (representan los ángulos horizontales de los semiplanos C).

En cambio si la representación es la distribución en un plano horizontal, las coordenadas son valores indicativos de la relación distancia / altura de montaje.

Los datos necesarios que deben contener éstas curvas son:

- identificación de la luminaria y de la fuente luminosa
- flujo luminoso
- ángulo de montaje
- si son valores porcentuales, el valor de la intensidad máxima

### Cálculos de Iluminancia.

#### *Iluminación en un punto*

Método de cálculo " punto por punto ". El valor de la iluminancia en un punto de la superficie de una calzada es la suma de todas las iluminancias parciales producidas por las luminarias (omitiéndose las contribuciones procedentes de otras fuentes luminosas). La iluminancia total resultante en el punto P está dada por:

$$E_p = \sum \frac{I_{\gamma c}}{h^2} \cos^3 \gamma$$

donde  $I_{\gamma c}$  es la intensidad luminosa de una luminaria en dirección al punto P según los ángulos  $\gamma$  y C ( Fig. 26 ) y n es el número de luminarias.

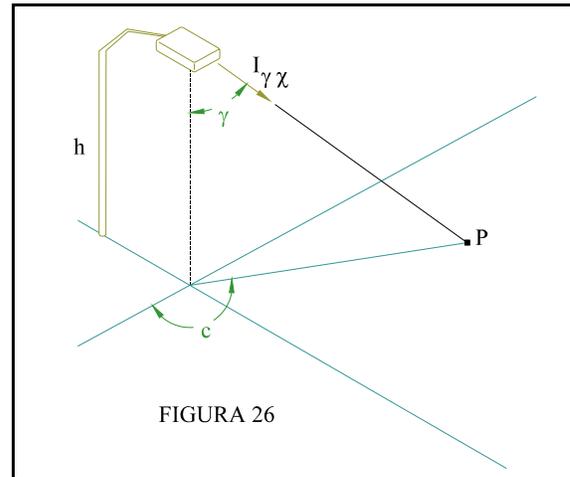


FIGURA 26

Fig. 26 : Iluminancia en un punto P.

Con ésta fórmula se puede calcular la iluminancia en distintos puntos de la calzada. Si éstos se trazan en un plano representativo de la vía y se conectan los de igual iluminancia, resulta el llamado diagrama Isolux. Con este diagrama se puede leer la iluminancia en cualquier punto de la calzada.

#### *Diagrama Isolux trazado por computadora*

La construcción de un diagrama Isolux mediante el método " punto por punto " es un trabajo que exige mucho tiempo, y para mayor rapidez se recurre al uso de diagramas Isolux calculados mediante computadora. Estos diagramas, incluidos en la información fotométrica para luminarias de alumbrado público, presentan curvas Isolux relativas para cada tipo de luminaria. Debemos decir que el valor de cada línea Isolux es un porcentaje de la iluminancia máxima producida por la luminaria.

La figura 27 presenta un diagrama Isolux típico producido con computadora. Como se ve, la cuadrícula está en múltiplos de la altura

de montaje  $h$  de la luminaria. La iluminancia relativa en cualquier punto, cuya posición es conocida en múltiplos de  $h$ , se puede leer directamente en el diagrama. El valor absoluto  $E_p$  de la iluminancia en un punto determinado se calcula mediante la ecuación:

$$E_p = E_r \frac{a \Phi_L n}{h^2}$$

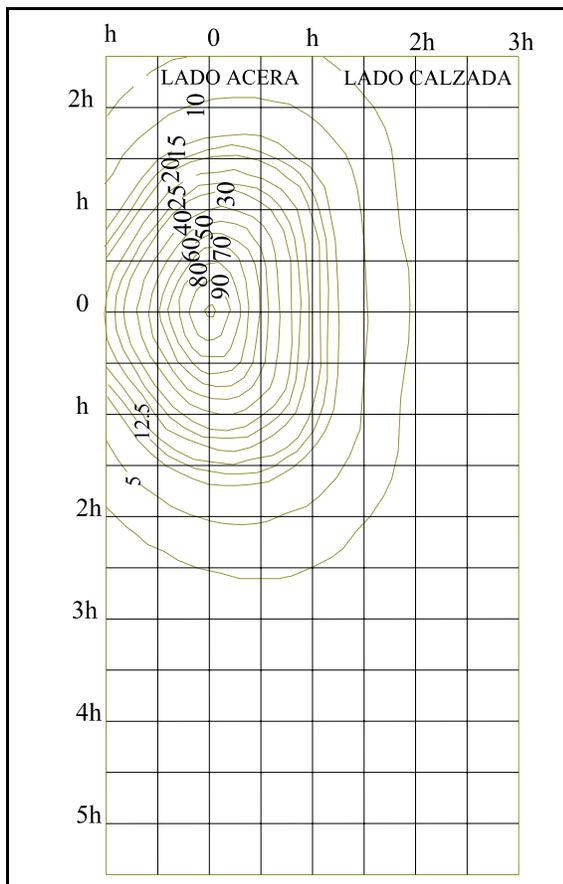


Fig. 27 : Un típico diagrama relativo Isolux de un plano al ser iluminado con  $E_{max} = 100\%$ .

siendo :

$E_r$  = iluminancia relativa en este punto.

$a$  = factor que corresponde al tipo de la luminaria seleccionada dado al pie del diagrama Isolux.

$A_L$  = flujo luminoso de la lámpara.

$n$  = número de lámparas por luminarias.

$h$  = la altura de montaje de la luminaria.

Repitiendo este procedimiento para todas las luminarias que tienen influencia es posible llegar a la iluminancia total de un determinado punto, cualquiera que sea la disposición de las luminarias.

*Iluminancia media*

Calculada como valor numérico. Después de haber calculado los valores de iluminancia para una zona de la calzada, la iluminancia media puede calcularse utilizando la fórmula:

$$E_{med} = \frac{\sum E_p}{n}$$

donde  $E_p$  es la iluminancia en cada punto  $P$  de la zona de estudio y  $n$  es el número total de puntos considerados. Está claro que cuando mayor sea el número de puntos calculados mayor será la exactitud del valor medio hallado.

*Cálculo empleando las curvas del factor de utilización*

El método más fácil y rápido de calcular la iluminancia media de una vía recta de longitud infinita es el de las curvas de factor de utilización contenidas en la información fotométrica, aplicando la siguiente fórmula:

$$E_{med} = \frac{\eta \Phi_L n}{ws}$$

donde :

$A_L$  = flujo luminoso de una lámpara.

$n$  = número de lámparas por luminaria.

$w$  = ancho de la calzada.

$s$  = separación de las luminarias.

$\$$  = factor de utilización.

En el alumbrado público el factor de utilización se define como la parte del flujo luminoso procedente de una luminaria que efectivamente alcanza la calzada, o sea :

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{utilizado}}}{\Phi_L}$$

En la información fotométrica, las curvas de factor de utilización de una luminaria aparecen en dos formas :

1- En función de distancias transversales de la vía expresadas como múltiplos de  $h$  y medidas desde la proyección de la luminaria hacia las dos aceras.

2- En función de los ángulos  $fl_1$  y  $fl_2$  que subtienden las luminarias con los bordes de la calzada.

En cada caso, los valores  $\$$  lado acera y  $\$$  lado calzada deben sumarse para llegar al factor de utilización que corresponda al ancho total de la vía (Fig. 28).

La primera forma (en múltiplos de  $h$ ) da un método sencillo para establecer el valor  $\$$  en una sección transversal de calzada conocida.

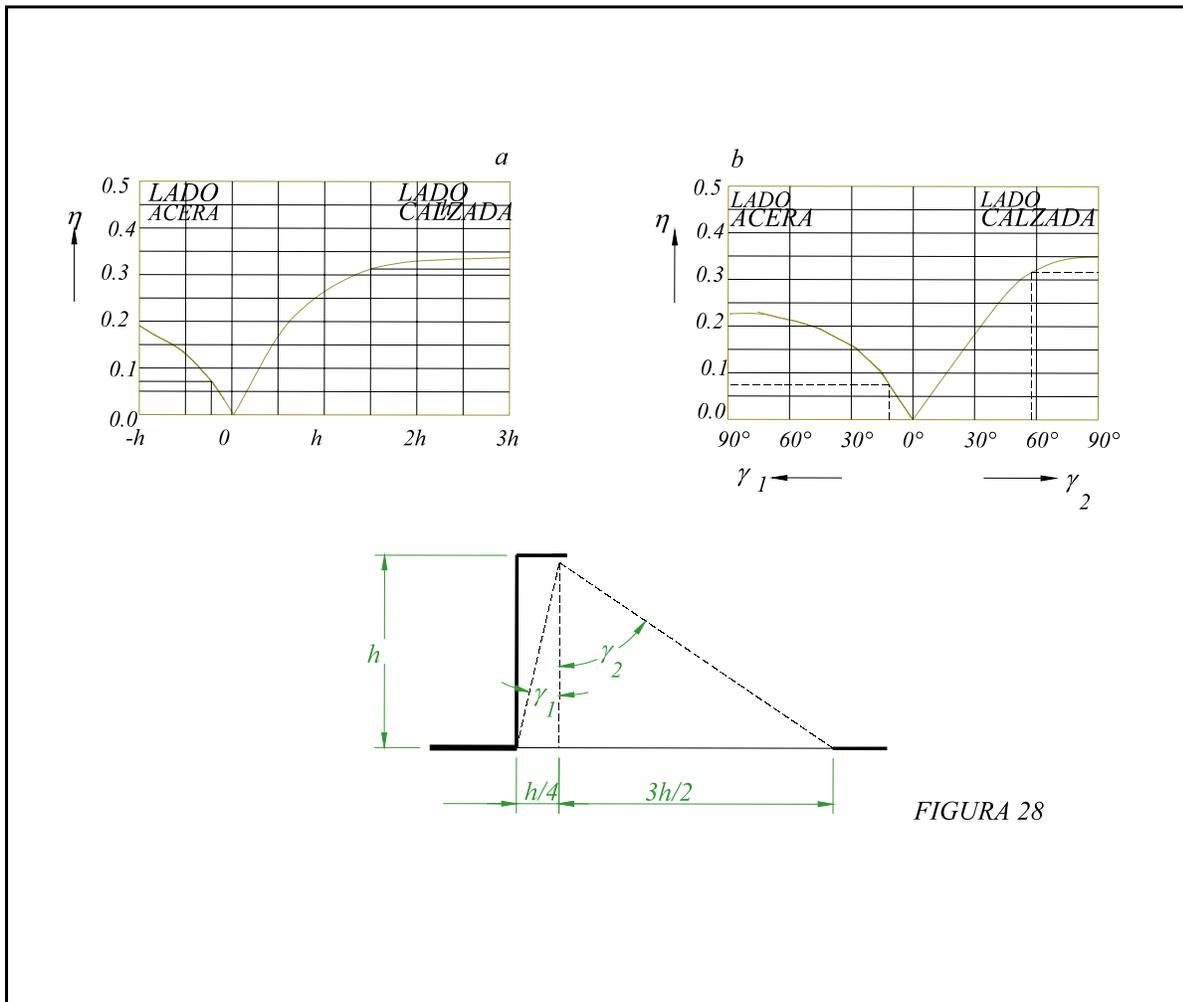


FIGURA 28

Fig. 28 : Curvas de factor de utilización:

a) Con  $\eta$  en función de  $h$ . En el caso mostrado

$$\eta = 0.075 + 0.32 = 0.395.$$

b) Con  $\eta$  en función de  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ . En el caso mostrado :

$$\gamma_1 = \arctg h/4h = 14^\circ \text{ y } \gamma_2 = \arctg 3h/2h = 56.5^\circ.$$

Por consiguiente,

$$\eta = 0.075 + 0.32 = 0.395.$$

La segunda forma (en ángulos) permite también determinar si un cambio de la

inclinación de las luminarias proporciona o no un factor de utilización mayor y, por consiguiente, una mejor iluminancia de la vía.

### Cálculos de Luminancia.

#### Luminancia en un punto

Método de cálculo "punto por punto". El método de calcular la luminancia de un punto es análogo al aplicable al cálculo de la iluminancia en un punto. La luminancia de

un punto de la superficie de una vía es la suma de todas las luminancias parciales producidas por las luminarias en ese punto. La luminancia total del punto P es :

$$L_p = \sum \frac{I_{\gamma c}}{h^2} q(\beta\gamma) \cos^3\gamma$$

Donde  $I_{flc}$  es la intensidad luminosa de la luminaria en dirección al punto P indicada por los ángulos  $\beta$  y  $\gamma$  (Fig. 26). Con esta fórmula se puede calcular la luminancia de distintos puntos de la calzada y se unen los de igual luminancia, resulta el llamado diagrama de isoluminancia o iso-cd/m<sup>2</sup>.

*Diagrama iso-cd/m<sup>2</sup> trazado por computadora:* La construcción de este tipo de diagrama mediante el método de punto por punto es un trabajo que necesita tiempo. Mucho más rápido se puede hacer con la ayuda de una computadora. Estos diagramas, incluidos en la información fotométrica para luminarias de alumbrado público, presentan curvas iso-cd/m<sup>2</sup> relativas, independientes de la altura de montaje, para cada tipo de luminaria y para las cuatro superficies "normalizadas" con  $Q_0 = 1$ . Esto significa que el valor de cada línea de isoluminancia está indicado como porcentaje de la luminancia máxima producida por la luminaria en la superficie de la vía. La figura 29 presenta un diagrama iso-cd/m<sup>2</sup> típico producido por un ordenador. Los diagramas han sido calculados para un observador situado en el plano  $C_0$  a una distancia de 10 h de la luminaria. La utilización de estos diagramas depende, por consiguiente, de la posición del observador.

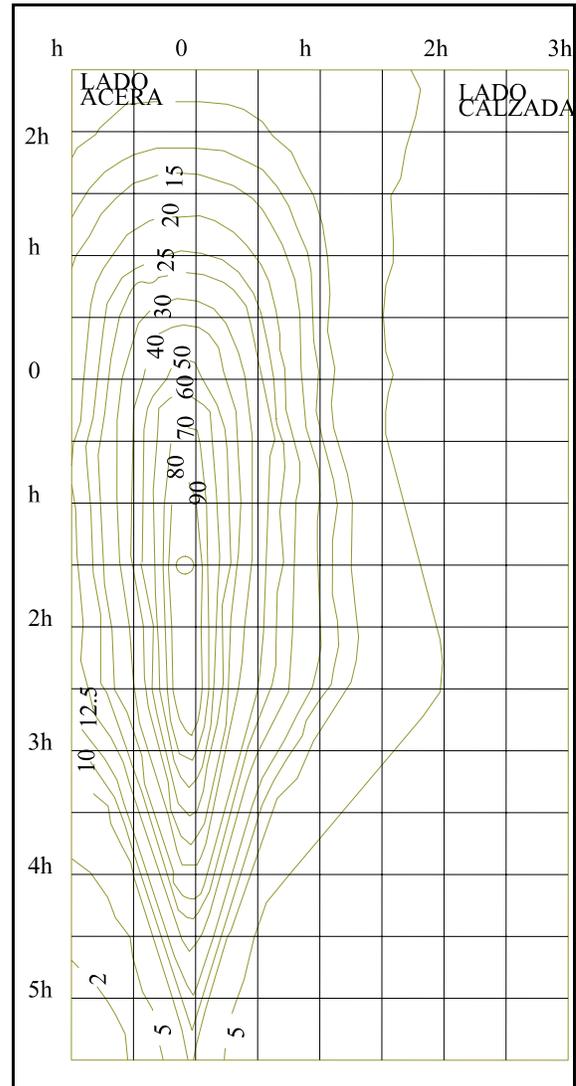


Fig. 29: Diagrama relativo Iso-cd/m<sup>2</sup> ( $L_{max} = 100\%$ ) para un pavimento de la clase RII.

Se analizarán dos casos de posición de observador:

1. Observador en la prolongación de la hilera de luminarias (plano  $C_0$ )

Puesto que los diagramas han sido calculados

para un observador en el plano  $C_0$ , el procedimiento es aplicable directamente. Primero se hace, en papel transparente, un plano de la calzada a igual escala que el diagrama con las distancias en múltiplos de la altura de montaje. Se coloca luego este plano sobre el diagrama iso-cd/m<sup>2</sup> para la clase correspondiente de la superficie de la calzada con el eje longitudinal de la vía en paralelo con el del diagrama y con el punto (0,0) debajo de la marca de una luminaria. La luminancia relativa de este punto se calcula con la fórmula:

$$L_p = L_r \frac{a\Phi_L Q_0}{h^2}$$

donde:

$L_r$  = luminaria relativa de ese punto.

$a$  = factor que corresponde al tipo de luminaria seleccionado, dado al pie del diagrama iso - cd/m<sup>2</sup>.

$\Phi_L$  = flujo luminoso de la lámpara que lleva la luminaria.

$h$  = la altura de montaje de la luminaria.

$Q_0$  = coeficiente medio de luminancia.

Repitiendo este procedimiento con otras luminarias y sumando los resultados es posible llegar a la luminancia total de este punto.

## **2. Observador en un punto fuera de la hilera de luminarias**

La luminancia de un punto de la calzada situado entre el observador y la luminaria depende no solamente de la distribución luminosa de la luminaria, sino de la posición del punto con relación al observador y a la luminaria. A la inversa, la luminancia de un

punto de la calzada detrás de la luminaria depende casi exclusivamente de la distribución luminosa de la luminaria y, en grado mínimo, de la posición del observador.

Esto significa que el diagrama iso-cd/m<sup>2</sup>, aun cuando esté calculado para un observador en el plano  $C_0$ , puede utilizarse, como se explicó antes, siempre y cuando el punto en consideración se encuentre detrás de la luminaria. Para puntos entre luminarias y observador, sin embargo, el diagrama iso-cd/m<sup>2</sup> debe hacerse girar de tal forma que su eje longitudinal se alinee con la posición del observador tal como aparece en el plano de la calzada. La luminancia relativa se lee en el diagrama y su valor absoluto se calcula con las mismas fórmulas usadas en el caso 1 anterior. Este método es exacto dentro de un margen de error de más o menos el 19 %, siempre y cuando el diagrama iso-cd/m<sup>2</sup> no se gire más de 5°. Esto quiere decir que el observador, guardada la distancia de observación de 10 h, no debe alejarse más de 0.875 h de la línea  $C_0$ .

Este método está ilustrado en la Fig. 30, donde dos luminarias contribuyen a la luminancia del punto P.

En el caso de una disposición pareada de luminarias será necesario calcular la contribución de cada una de las cuatro luminarias que rodean el área. Esto se hace en la forma antes descrita, sin olvidar que se debe hacer girar el diagrama para mantener la orientación correcta hacia la calzada y hacia la acera.

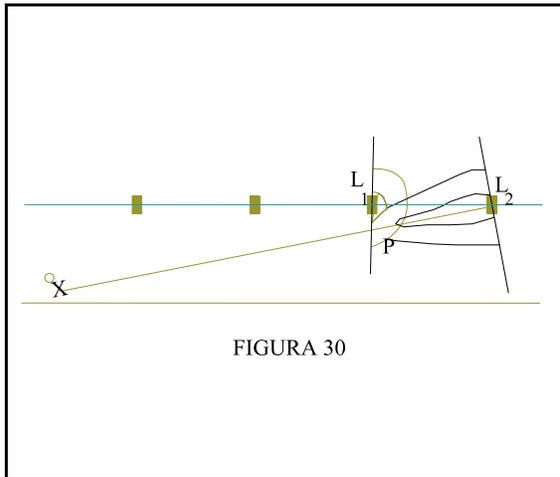


FIGURA 30

Fig. 30: Luminancia en un punto situado entre dos luminarias. Puesto que el punto P está situado delante de la luminaria  $L_2$  (visto por un observador en "O"), el diagrama isocd/m<sup>2</sup> debe girarse de tal modo que su eje longitudinal quede en línea con la posición del observador.

#### Luminancia media

Calculada como valor numérico. Después de haber calculado los valores de luminancia para los puntos de la retícula en que se ha dividido la calzada, la luminancia media en la zona de estudio se determina por :

$$L_{med} = \frac{\sum L_p}{n}$$

donde  $L_p$  es la luminancia de cada punto P de la zona de estudio y  $n$  es el número total de puntos considerados. Cuanto mayor sea el número de puntos calculados mayor será la exactitud del valor medio.

Cálculo utilizando las curvas de rendimiento en luminancia. El método más fácil y rápido de calcular la luminancia media de una calzada recta de longitud infinita y para una posición fija del observador es el de las curvas de rendimiento en luminancia, contenidas en la información fotométrica, aplicando la fórmula:

$$L_{med} = \eta_L Q_0 \frac{\Phi_L}{ws}$$

donde:

$\eta_L$  = factor del rendimiento en luminancia

$A_L$  = flujo luminoso de la lámpara

$Q_0$  = coeficiente de luminancia media

$W$  = ancho de la calzada

$S$  = separación de las luminarias

Con un factor de depreciación,  $d$ , esta fórmula se transforma en:

$$L_{med} = \eta_L Q_0 \frac{\Phi_L}{wsd}$$

En la información fotométrica el factor de rendimiento en luminancia se representa en función de la distancia desde la proyección de la luminaria hasta cada una de las aceras expresada en múltiplos de  $h$ . Cada diagrama (Fig. 31) es válido para tres posiciones -A, B, C- del observador, quien se encuentra a una distancia de  $10 h$  de la luminaria. La información fotométrica contiene diagramas para los cuatro tipos normalizados de pavimentos.

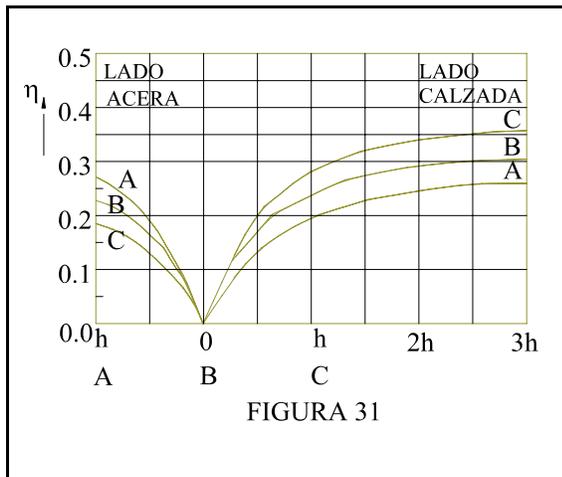


Fig. 31: Diagrama del rendimiento en luminancia.

Curva A: Para un observador situado en el lado de la acera a una distancia  $h$  de la hilera de luminarias.

Curva B: Para un observador situado en la prolongación de la hilera de luminarias.

Curva C: Para un observador situado en la calzada a una distancia  $h$  de la hilera de luminarias.

## EFICACIA ENERGÉTICA Y DE COSTOS

Hay muchos factores que juegan un importante papel en la eficacia energética y de costos de una instalación de alumbrado público. Son factores tales como: tipos de lámpara y de luminaria, accesorios, tipo de control de la luz (por ejemplo, células fotoeléctricas, relojes, conmutación manual, circuitos en luminarias con dos lámparas, atenuadores para luminarias con una lámpara), tipo y disposición de los postes, altura de montaje de las luminarias, propiedades reflectivas de la superficie y, por último, pero no de menor importancia, el programa de mantenimiento. La importancia

relativa de los factores mencionados dependerá de las circunstancias locales en relación con el costo de la mano de obra y la disponibilidad y precio de materiales y energía eléctrica. No hay, por lo tanto, reglas para minimizar costos y consumo de energía que sean de aplicación universal, pero sí es posible, sin ninguna duda, indicar determinadas tendencias generales.

### Eficacia de la Lámpara y Precio.

La eficacia luminosa de una lámpara tiene una influencia preponderante sobre el consumo de energía eléctrica y, en consecuencia, sobre los costos de funcionamiento de toda instalación de alumbrado que emplee dicha lámpara.

Otra diferencia importante entre los diversos tipos de lámparas es su precio: las lámparas de sodio a baja y alta presión son más caras que las de mercurio a alta presión y éstas a su vez más caras que las lámparas fluorescentes tubulares.

Las comparaciones energéticas y económicas entre instalaciones de alumbrado vial sobre las bases de diferentes circunstancias locales demuestra que la tendencia más positiva desde el punto de vista de costo anual total (costos de mantenimiento más amortización de la inversión inicial) es siempre hacia lámparas de sodio a baja presión, seguidas directamente por las de sodio a alta presión. Estas comparaciones indican también que se obtienen generalmente costos más bajos y menor consumo de energía con alturas de montaje de valor aproximadamente igual al ancho total de la calzada para disposiciones unilaterales de luminarias y de valor igual a la mitad del ancho total para disposiciones

pareadas y en mediana central.

Esto contradice la creencia, casi general, de que siempre se pueden obtener ahorros de costos y energéticos empleando mayores alturas de montaje con sus consiguientes mayores separaciones entre luminarias.

### **Características de Luminarias.**

Además del tipo de lámpara, el tipo de luminaria utilizado - específicamente su distribución de luz - tiene una influencia capital tanto sobre el costo como sobre el consumo de energía. A este respecto es importante considerar el factor de salida de flujo de las luminarias (rendimiento).

Sin embargo, utilizar una luminaria que tenga un alto rendimiento, pero pobre distribución de luz, exige emplear también una menor separación entre postes para poder cumplir los requisitos de uniformidad de luminancias. La combinación de un alto rendimiento y de una buena distribución de luz es de hecho el único medio de mantener al mínimo los costos y el consumo de energía.

### **Mantenimiento.**

Una instalación de alumbrado vial sólo se mantendrá funcionando eficazmente durante el tiempo en que esté bien conservada. Desde luego, es inevitable alguna degradación en su calidad, incluso para una instalación que esté bien conservada, y ese deterioro será máximo justamente antes de que le corresponda la operación preventiva de mantenimiento. Cuanto mayor sea el intervalo entre operaciones de conservación y cuanto más deficiente sea el propio mantenimiento, mayor ha de ser el nivel inicial de alumbrado

(y mayor el consumo de energía durante la vida activa de la instalación) para garantizar que la calidad y el nivel del mismo nunca bajará de los mínimos especificados. Por lo tanto, un plan de mantenimiento cuidadosamente elaborado (y realizado) ayudará a hacer que la instalación de alumbrado vial sea eficaz en ahorro de costos y en consumo de energía.

### **Control de Utilización.**

Otra posible contribución al ahorro tanto de costos como de energía puede hacerse empleando un control selectivo de la utilización del alumbrado; a saber: adaptando el nivel del mismo a lo que realmente es necesario en cada situación y momento. Esto debe hacerse sin que cambie la uniformidad de la distribución luminosa, por lo que solo suelen emplearse dos métodos de control: luminarias con dos lámparas, en que una de las lámparas se apaga cuando se pueda aceptar una reducción temporal en el nivel del alumbrado, o luminarias con una sola lámpara dotadas de equipos atenuadores de flujo luminoso.

## **ALUMBRADO DE TUNELES**

### **Requisitos Durante el Día.**

#### *Zona de entrada o umbral*

El conductor que se acerca a la entrada de un túnel durante el día ha de adaptar sus ojos del alto nivel de luminancia que prevalece en el exterior a la luminancia del interior. Por consiguiente, si el túnel es largo y el nivel de luminancia dentro de él es mucho más bajo que el de fuera, el túnel se presenta como un hueco "negro", por lo que no será visible

ningún detalle de su interior (Fig. 32).

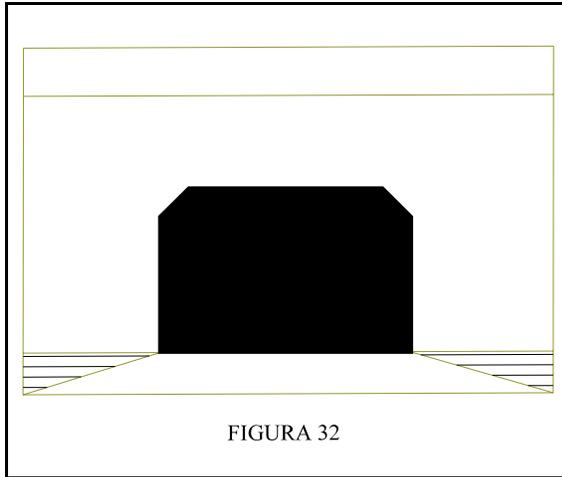


Fig. 32: Efecto de "agujero negro" en la entrada de un túnel largo.

Para hacer visibles los obstáculos dentro del túnel hay que aumentar el nivel de luminancia de su entrada, esto es, en la zona de umbral. El nivel de luminancia requerido en esta zona depende de la denominada "luminancia externa de adaptación", que es función a su vez de la magnitud y distribución de las luminancias exteriores del túnel.

Las luminancias exteriores, que juntan determinan la luminancia externa de adaptación, difieren grandemente según los diversos tipos de túneles. En los túneles de montaña, por ejemplo, la luminancia externa de adaptación queda determinada principalmente por el brillo de los alrededores montañosos de la entrada al túnel. En los túneles submarinos, el cielo brillante por encima de la entrada del túnel puede influenciar fuertemente en la luminancia externa de adaptación. Para pasos inferiores o bajo pasos elevados, la

luminancia externa de adaptación depende parcialmente de la estructura en cuestión y parcialmente de la luminancia del cielo. Sin embargo, en zonas edificadas el cielo sólo forma a menudo una pequeña parte del campo de visión, lo que implica que, desde el punto de vista de adaptación, la situación es más similar a la que se encuentra en túneles de montaña.

Para la mayoría de los tipos de túnel se puede tomar medidas especiales para bajar la luminancia externa de adaptación. Tales medidas incluyen el empleo de materiales oscuros no reflectivos para la superficie de la calzada en la zona cercana al túnel, para la fachada de la entrada del túnel y (para túneles submarinos) las paredes en la cortadura de acceso; plantar árboles o arbustos al lado y encima de la entrada para protegerla del brillante cielo, y hacer la propia entrada al túnel tan alta y ancha como sea posible.

En la práctica, la máxima luminancia externa de adaptación que se observa (que corresponde a una iluminancia horizontal de alrededor de 100.000 lux) varía, de acuerdo con el tipo de túnel y las medidas tomadas, entre 3.000  $\text{cd/m}^2$  y más de 8.000  $\text{cd/m}^2$ . La forma en que está relacionada la luminancia externa de adaptación con la luminancia necesaria en la zona de umbral se muestra en la Fig.33. De esta figura se puede deducir que la luminancia de la zona umbral debe ser como mínimo el 10 % del valor externo para el grado de visibilidad de objetos que se considera en la figura.

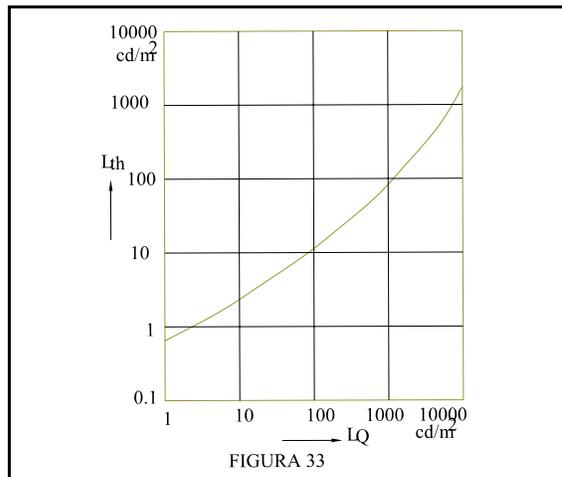


Fig. 33: Relación entre la luminancia externa  $L_0$  y la de la zona de umbral  $L_{th}$ , para hacer visible un objeto "crítico" en el 75 % de los casos, a una distancia de 100 metros, si éste se expone durante 0.1 segundos. (Un objeto crítico es de 20 x 20 cm., con un contraste del 20 %.

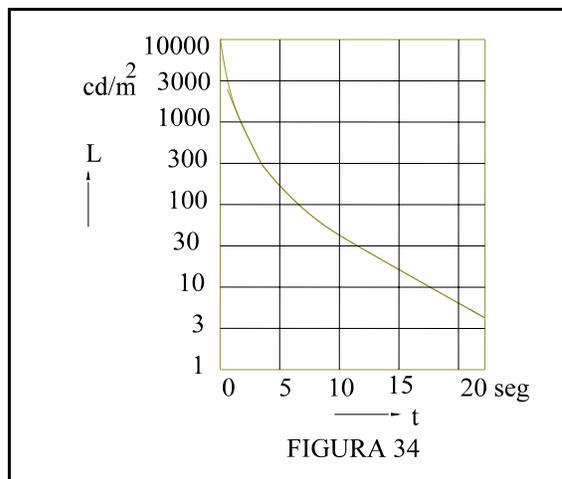


Fig. 34: Relación entre tiempo de adaptación  $t$  y luminancia  $L$ .

La longitud de la zona umbral depende principalmente de la distancia a la cual deba ser visible un objeto crítico (definido en la

figura 33), lo que depende de la velocidad permitida dentro del túnel. En la práctica, la longitud de la zona de umbral es de 40 a 80 metros para velocidades entre 50 y 100 km/h.

El alto nivel de alumbrado en la zona de umbral puede obtenerse por la iluminación artificial interna del túnel. Alternativamente se puede crear artificialmente una zona de umbral delante de la entrada al túnel con la iluminación adecuada mediante el uso de paralúmenes (paneles o estructuras traslúcidas) que controlen la luz diurna que llega a la calzada, lográndose así el nivel de luminancia deseado.

Tales paralúmenes (paneles o estructuras traslúcidas) deben construirse de manera que sea imposible a la luz directa del sol alcanzar la superficie de la calzada o los ojos del conductor con el fin de evitar sombras molestas sobre la calzada o parpadeo incómodo.

Un grave inconveniente de los paralúmenes es que su transmitancia varía con las condiciones luminosas del cielo, aparte de estar frecuentemente influenciada por el ensuciamiento.

#### Zona de transición

El conductor que entra en un túnel necesita cierto tiempo para que sus ojos se adapten a un nivel inferior de luminancia. Por consiguiente, es preciso que la transición del nivel más alto al más bajo reinante en el túnel se haga gradualmente. Los ensayos realizados han demostrado que un 75 % de los conductores consideran aceptable un período de aproximadamente 15 segundos para una transición de 8.000  $\text{cd/m}^2$

(luminancia de la luz diurna) a  $15 \text{ cd/m}^2$  (luminancia en la zona central del túnel) (figura 34).

Utilizando la curva de la figura 34 y sabiendo la velocidad del tránsito se puede calcular el gradiente ideal de luminancia para cualquier túnel. La figura 35 muestra el gradiente de luminancia calculado para una velocidad de  $75 \text{ km/h}$ .

La manera en que se aplica la curva de reducción de luminancia en la figura 35 está de acuerdo con las recomendaciones de la CIE.

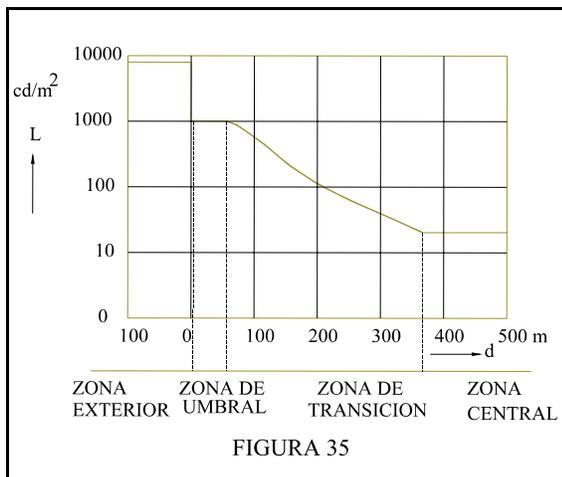


Fig. 35: Gradiente de luminancia recomendado en un túnel, para vehículos con velocidad de  $75 \text{ km/h}$ .

### Zona central

En túneles largos, a la zona de transición (o de adaptación) sigue otra en la que el nivel de luminancia se mantiene constante. En esta zona, la central, la adaptación no está forzosamente terminada y es necesario disponer en ella de un nivel de luminancia lo suficientemente elevado. La experiencia lograda en túneles existentes y en maquetas revela que un mínimo de  $15 \text{ cd/m}^2$  es recomendable para la luminancia media de las calzadas en esta zona. Para túneles muy largos o con un límite de velocidad muy bajo es aceptable una luminancia de  $5$  a  $10 \text{ cd/m}^2$ .

### Zona de salida

Durante el día, la salida de un túnel se presenta al conductor que se encuentra dentro como un agujero brillante contra el cual los obstáculos son claramente visibles en silueta. Este efecto de silueta puede acentuarse (figura 36) dando a las paredes una alta reflectancia. Puesto que la adaptación de un nivel bajo de luminancia a otro mayor se efectúa rápidamente, las exigencias de la iluminación de la zona de salida son mucho menos severas que las de la zona de entrada. Hay sin embargo, una ventaja al hacer la iluminación de la salida simétrica con la de la entrada: se puede usar un solo túnel para el tránsito en ambos sentidos si el otro está bloqueado por tránsito o mantenimiento.

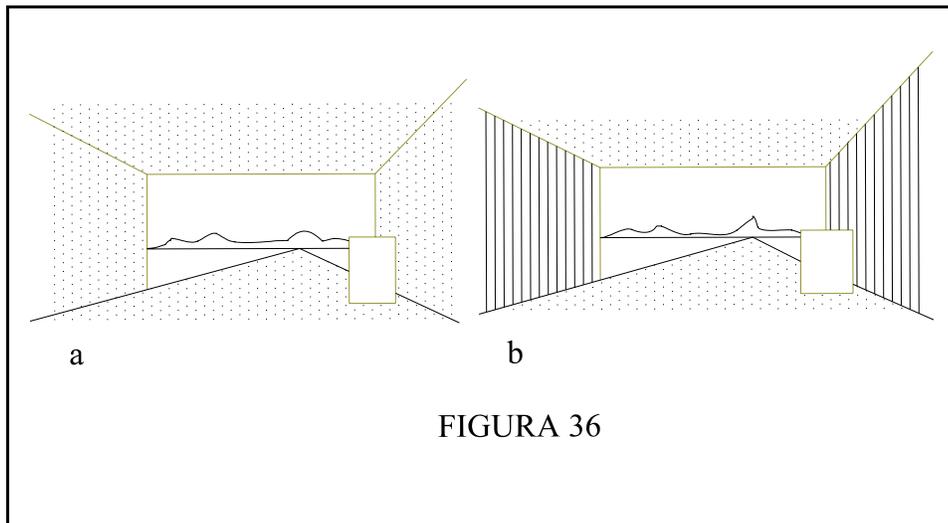


FIGURA 36

Fig.36: Efecto de silueta en la zona de salida (a), que puede ser acentuado por paredes claras (b).

#### *Luminancia de las fuentes de luz*

La altura de montaje de las fuentes luminosas en los túneles es inferior a la empleada en la iluminación de vías. Hay, por consiguiente, mayor posibilidad de que una luminaria no apantallada produzca deslumbramiento. Un apantallamiento adecuado es lo más importante en la zona central, por ser relativamente oscura. En la zona de umbral, con su alto nivel de luminancia, el apantallamiento no es tan exigente y la luminancia de las fuentes puede ser más alta. Esto contribuirá también a que el conductor se dé cuenta de que está entrando en un túnel. Una diferencia de colores entre la luz del día y la iluminación de la entrada del túnel sirve al mismo fin.

#### *Efecto de parpadeo*

Cuando las fuentes luminosas están montadas en hileras discontinuas pueden producir

parpadeo en los ojos del conductor. El parpadeo lo produce la luz emitida por las luminarias mismas y por sus reflexiones en superficies brillantes, como la capota del propio coche o la parte trasera del vehículo precedente. El grado de molestia para un conductor dado depende del número de parpadeos por segundo (frecuencia de parpadeo).

En la figura 37 se dan las separaciones de luminarias que no son permisibles en función de la velocidad del vehículo si se quiere evitar frecuencias molestas de parpadeo. Para túneles cortos, la gama de frecuencias prohibidas disminuye debido a que el grado de molestia es también una función del tiempo de exposición al parpadeo. La línea de trazos de la figura 37 indica, a manera de ejemplo, el desplazamiento de la cota superior de separaciones prohibidas para un túnel cuya longitud total es de 250 m.

#### *Túneles cortos*

Para fines de alumbrado se define como corto un túnel en el que -sin tránsito- la salida y sus

alrededores son claramente visibles desde un punto situado fuera de la entrada al mismo.

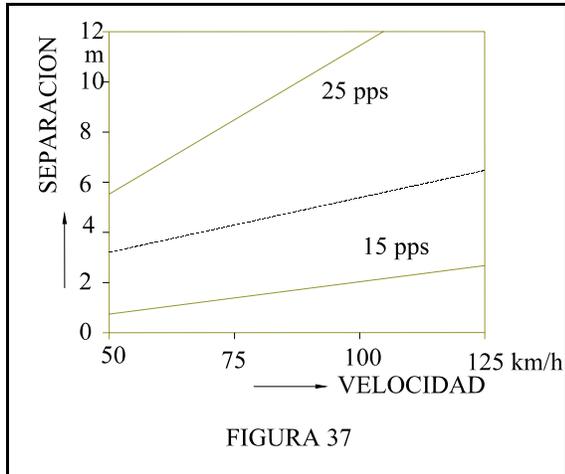


FIGURA 37

Fig. 37: Separaciones entre luminarias "prohibidas" (zona sombreada) en función de la velocidad del vehículo, para evitar el parpadeo molesto en un túnel (con frecuencias inferiores a 2.5 pps o superiores a 15 pps). La línea de trazos indica el límite superior de la zona prohibida para un túnel relativamente corto (250 m).

Para el conductor que se acerca a un túnel corto éste aparecerá en su campo de visión como un marco oscuro con un centro brillante. De la longitud de este marco, visto en perspectiva, depende de que un obstáculo sea visible o no en silueta contra la alta luminancia de la salida (Figura 38). Un túnel puede tener hasta 50 metros de largo sin que necesite alumbrado durante las horas del día. Por otra parte, si un túnel corto no es al mismo tiempo recto o si el tránsito es muy intenso, el efecto de silueta es menos marcado y puede ser necesaria una iluminación artificial.

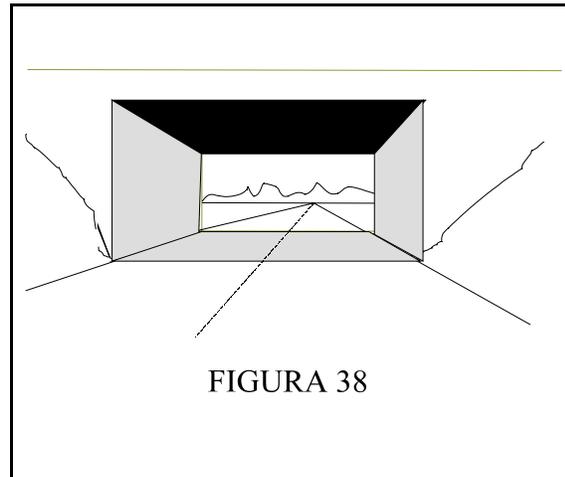


FIGURA 38

### Requisitos Durante la Noche.

En cuanto a los requerimientos del alumbrado durante las horas de la noche, la situación es inversa a la de las horas del día. El nivel de luminancia fuera del túnel es entonces menor que el de dentro y el problema de adaptación al agujero negro puede aparecer en la salida. No habrá dificultades mientras la relación entre la luminancia dentro del túnel y fuera de él sea menor de 3:1. Esta condición no se logra, sin embargo, si la iluminación del túnel sigue funcionando con la misma intensidad durante la noche. El alumbrado adicional instalado en las distintas zonas para cubrir las exigencias de la luz diurna debe apagarse y la iluminación reducirse en número o atenuarse para lograr una luminancia media de  $3 \text{ cd/m}^2$  en toda la longitud del túnel.

Las vías de salida con poca iluminación deben equiparse con una instalación de alumbrado aceptable en una longitud de unos 200 metros desde las salidas del túnel para ayudar a la adaptación de la visión del conductor.

## Consideraciones Generales.

### *Reflectancia y color de calzada, paredes y techo*

Para obtener un alto nivel de luminancia dentro del túnel lo más económicamente posible, la calzada y las paredes deben tener un alto grado de reflectancia. (Debería aumentarse artificialmente el brillo de la calzada).

Para una buena orientación visual es deseable que haya una pequeña diferencia de luminancia o de color entre la calzada y las paredes. deben evitarse superficies con reflexión especular. El acabado de las paredes debe ser de material fácil de limpiar.

### *Polvo y gases de escapes*

El tránsito que atraviesa un túnel acarrea gran cantidad de polvo. Además, los gases de escape de los vehículos contienen cantidades grandes de partículas de carbón sin quemar. Estas nubes de partículas reducen la agudeza visual en el túnel. Este efecto puede compensarse en parte con un alto nivel de iluminancia. Pero hay que establecer una buena ventilación para eliminar tales concentraciones rápidamente.

Además de que estas concentraciones de polvo y gases de escapes reducen la visibilidad, producen un rápido ensuciamiento de la superficie dentro del túnel. Este ensuciamiento causa una pronta disminución de luminancias, efecto que puede remediarse únicamente con frecuentes limpiezas de paredes y luminarias.

## Equipo de Alumbrado.

### *Lámparas y luminarias*

Se recomienda una hilera continua de lámparas fluorescentes a lo largo del túnel. Para el alumbrado adicional que se precisa en las zonas de umbral y de transición se recomiendan las lámparas de sodio a baja presión por su eficacia notablemente elevada. Cuando se requieren niveles muy altos de alumbrado (como sucede a veces en los túneles submarinos) pueden resultar más económicas las lámparas de sodio a baja presión debido a que, con su mayor flujo luminoso, se precisa un número menor de luminarias.

Las luminarias deben ser:

- Robustas, con un mínimo riesgo de daño tanto por el tránsito como por la limpieza.
- A prueba de agua y resistentes a los materiales de limpieza y gases de escape.
- De fácil acceso y mantenimiento.
- Con capacidad para el control adecuado de la luminancia de la fuente luminosa.
- Provistas de fusibles independientes.

### *Alumbrado de emergencia*

Debe disponerse de alguna forma de alumbrado de emergencia que entre automáticamente en funcionamiento cuando falle la red principal de suministro. Como mínimo deberá conectarse una de cada tres luminarias al sistema de emergencia, de manera que, bajo ninguna circunstancia, pueda disminuirse de repente el nivel de alumbrado por un factor mayor de 3.

### *Equipo de regulación*

Puesto que el alumbrado de un túnel ha sido

diseñado para ser compatible con un nivel máximo de iluminancia exterior (alrededor de 100.000 lux), es necesario - tanto desde el punto de vista de la economía como del confort visual - que los niveles de iluminación dentro del túnel queden automáticamente ajustados a las variaciones de la iluminación exterior. Hay dos métodos para conseguirlo:

1. Como respuesta a las modificaciones de la iluminancia horizontal del exterior.
2. Como respuesta a las modificaciones de la luminancia del exterior.

El método 2 es preferible, porque asegura un ajuste correcto a las condiciones variables de la superficie de la calzada, como, por ejemplo, si está húmeda o seca. Este método necesita colocar un fotómetro a una distancia de unos 100 metros de cada entrada y dirigido hacia ella. Los dos fotómetros miden la luminancia que prevalece en la superficie de la calzada, frente a la entrada del túnel, en sus alrededores y en el cielo. La señal producida por los fotómetros sirve para ajustar automáticamente los niveles de alumbrado dentro del túnel a los valores requeridos.

### **Recomendaciones Generales.**

Las recomendaciones que siguen son generales y solo intentan constituir una ayuda en la toma de decisiones sobre si es necesario o no proveer iluminación en un camino existente o en un proyecto en desarrollo.

Para las tomas de esas decisiones debe tenerse también muy especialmente en cuenta las específicas condiciones que puedan presentarse en un lugar determinado. Estas

condiciones se refieren especialmente a la frecuencia con que pueden producirse formación de niebla en zona de calzada..

Dichas condiciones locales pueden introducir modificaciones en el proyecto de iluminación general que se prepare para un camino determinado.

### **ILUMINACION CONTINUA EN AUTOPISTAS.**

La continuidad de iluminación en autopistas se considera necesaria en aquellas secciones de la misma que, próximas a centros poblados de importancia, presentan un tránsito medio diario anual de 30.000 vehículos o más. Asimismo, debe mantenerse dicha continuidad en aquellas secciones donde existen tres o más intercambiadores de tránsito sucesivos ubicados con un promedio de separación de 2.5 km o menos y las áreas adyacentes a la zona de camino tienen un carácter netamente urbano.

También debe mantenerse dicha continuidad de iluminación cuando se trata de una sección de autopista que por una longitud de 3.5 km o más atraviesa una zona suburbana bien desarrollada o en un área urbana en las que existen una o más de las siguientes condiciones:

- 1- El tránsito local opera en una red de calles que posee su propio sistema de iluminación, el cual, todo o en parte, es visible desde la autopista.
- 2- La autopista cruza a través de una serie de áreas urbanas cuyas calles están iluminadas.
- 3- Los cruces de las calles transversales,

algunas de las cuales pueden contar con iluminación, ocurren a intervalos de 0.8 km o menos.

4- Los elementos que constituyen el diseño geométrico de la sección transversal se encuentran sustancialmente reducidos con respecto a sus dimensiones normales.

También debe considerarse necesaria la continuidad de iluminación en las autopistas cuando la relación entre el índice de accidentes nocturnos y el índice de accidentes diurnos es, en la misma, dos veces mayor que el promedio de igual relación en todos los caminos o secciones similares no iluminadas de la región, zona o provincia, y siempre que los estudios que se realicen indiquen que con dicha continuidad en la iluminación ha de producirse una significativa disminución en el índice de accidentes nocturnos.

## **ILUMINACION EN INTERCAMBIOS.**

### *Iluminación completa*

La iluminación completa de un intercambio se considera necesaria cuando el tránsito medio diario anual que sale o entra a la autopista por sus distintas rampas excede de 10.000 vehículos en áreas urbanas, de 8.000 vehículos en áreas suburbanas y de 5.000 vehículos en áreas rurales.

En igual forma debe considerarse como necesaria dicha iluminación, cuando el tránsito, en la calle o camino que cruza la autopista, alcanza los valores mencionados para cada una de las áreas.

Asimismo, debe tenerse en cuenta la

necesidad de iluminar completamente los intercambios cuando los mismos se encuentran en zonas comerciales o industriales que cuenten con una iluminación importante durante las horas nocturnas ubicada en las proximidades de aquellos, o también cuando el camino o calle que cruza tenga su propia iluminación hasta, por lo menos, 800 metros a cada lado del intercambio.

También se considera que un intercambio debe llevar iluminación completa cuando la relación entre el índice de accidentes nocturnos y el índice de accidentes diurnos es, en el mismo como mínimo 1.5 veces el promedio de igual relación de todos los intercambios no iluminados de la región, y siempre que los estudios indiquen que la iluminación completa del intercambio producirá una sustancial reducción en el índice de accidentes nocturnos.

### *Iluminación parcial*

La iluminación parcial de un intercambio se considera necesaria cuando el tránsito medio diario anual en sus rampas de entrada y salida supera los 5.000 vehículos en áreas urbanas, los 3.000 en áreas suburbanas y los 1.000 en zonas rurales.

Igualmente, un intercambio deberá llevar iluminación parcial si el tránsito medio diario anual en las calzadas principales de la autopista excede los 25.000 vehículos en zonas urbanas, los 20.000 en zonas suburbanas y los 10.000 en áreas rurales.

La iluminación parcial de un intercambio deberá ser asimismo provista cuando la relación entre el índice de accidentes diurnos

sea por lo menos 1.25 o mayor que el promedio de igual relación de todos los intercambios no iluminados de la región y los estudios indiquen que puede esperarse una sustancial reducción en el índice de accidentes nocturnos a raíz de dicha iluminación parcial.

#### *Otras recomendaciones*

En general todos los intercambios e intersecciones requieren un estudio especial de la iluminación que les corresponde para mantener la seguridad de la circulación durante las horas nocturnas o cuando la visibilidad se halla restringida. En efecto, cada intersección, a nivel o a diferente nivel, con o sin ramales de interconexión, constituye un caso particular y como tal debe ser tratado. Para ello deben tenerse en cuenta los problemas de conducción que se originan por la curvatura de los ramales, por la existencia de zonas de intercambio y de zonas de convergencia de distintas corrientes de tránsito. Como norma general, es recomendable que la intensidad lumínica en los intercambios e intersecciones se incremente en un 50 % con respecto a los valores existentes a lo largo de las calzadas principales.

Cabe señalar, además, que, cuando una autopista posee continuidad en su iluminación, los intercambios de la misma deberán ser provistos con iluminación completa.

Asimismo, es conveniente la iluminación de las uniones de las rampas con el camino o calle secundaria, cualquiera sean los volúmenes de tránsito que se prevean. Ello es necesario porque, generalmente, en esas áreas

donde terminan las rampas, se colocan isletas u otros tipos de canalizaciones elevadas y, además, las distancias de visibilidad suelen ser muy restringidas.

Los puentes y otros tipos de estructuras deben también, en general, ser provistos con intensidades luminosas mayores que en el resto de la autopista.

#### *Iluminación en caminos rurales*

La experiencia acumulada en varios países ha demostrado que en los caminos rurales ha sido posible mejorar fundamentalmente la seguridad de los mismos durante las horas nocturnas mediante la iluminación de aquellas secciones consideradas como peligrosas, incluyendo las intersecciones. Esto es particularmente cierto en aquellas intersecciones con compleja geometría o con canalizaciones sobresalientes del nivel del pavimento.

### **SEGURIDAD**

Aunque la correcta iluminación nocturna ayuda a reducir los accidentes como consecuencia de las mejoras en las condiciones de visibilidad, particularmente cuando el camino cruza zonas urbanas o suburbanas, no todos los aspectos de un sistema de iluminación pueden resultar positivos.

Los soportes o columnas que sostienen las luminarias deben ser rígidos y contruídos en forma tal que ofrezcan el menor riesgo posible a los vehículos y sus ocupantes. Los estudios sobre accidentes realizados en diferentes países demuestran que la mayoría de los choques entre vehículos y objetos

físicos se producen dentro de una zona de 9 m. de ancho medidos desde el borde del pavimento. Esto significa que podría reducirse a un mínimo las posibilidades de un accidente si se pudiera alejar los postes por lo menos a la distancia indicada. Esta solución requiere, sin embargo, montajes especiales de las luminarias, mayor altura y mayor terreno disponible adyacente al camino, lo que resulta mayores costos del sistema que lo hacen impracticable. Aún cuando la distancia a que se ha hecho referencia puede reducirse entre los 5-7 metros, cuando las velocidades de circulación se hallan comprendidas entre 45 Km/h y 60 Km/h, será necesario en algunos casos tomar otras medidas de precaución adicionales.

En estas condiciones las columnas o soportes deben ubicarse protegidos por barreras de seguridad que les sirva de protección. En las intersecciones o intercambios la solución puede ser la utilización de postes de mayor altura y concentración de luminarias con el fin de disminuir el número de obstáculos laterales al camino.

Cuando se coloque el soporte detrás de una barrera de seguridad tipo flexible o semirígido, deberá cuidarse que exista suficiente espaciamiento o distancia entre ambos para asegurar que la barrera flexione o deforme sin inconvenientes.

En general el proyectista debe aunar con criterio tanto lo relativo a la disposición geométrica de los elementos de iluminación como a su seguridad para poder brindar un servicio seguro y eficiente.

## EJEMPLOS PRÁCTICOS CÁLCULOS DE ILUMINANCIA

Para los siguientes ejemplos se usa el mismo tipo de luminaria. Los diagramas respectivos aparecen en las figuras 27 y 28.

### EJEMPLO N° 1

Hallar la iluminancia de la superficie de una vía en el punto P, fig. 38, sabiendo que la altura de montaje es de 10 metros y que cada lámpara tiene un flujo luminoso de 40.000 lúmenes.

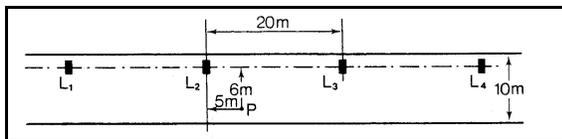


Fig. N°38

1.- Se determina la distancia desde la hilera de luminarias al punto P en múltiplos de la altura de montaje  $h$ . Se traza una línea en el diagrama isolux con esta misma distancia desde y paralela a la hilera de luminarias (línea AA de la figura 39).

2.- Se determina la distancia hasta el punto P de cada luminaria desde la línea cero transversal y se expresa en función de la altura de montaje  $h$ .

De la figura 38 se deduce:

Desde  $L_1$  hasta P = 25m = 2,5  $h$

Desde  $L_2$  hasta P = 5 m = 0,5 $h$

Desde  $L_3$  hasta P = 15 m = 1,5 $h$

Se trazan estas distancias a lo largo de la línea AA, marcando así los puntos  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  de la Figura 39.

3.- Se lee la iluminancia relativa en cada uno de estos tres puntos y se calcula la iluminancia total en el punto P, así :

$$E_{L1} = 3\% \text{ de } E_{max}$$

$$E_{L2} = 53\% \text{ de } E_{max}$$

$$E_{L3} = 13\% \text{ de } E_{max}$$

Total = 69% de  $E_{max}$  (la contribución de otras luminarias puede desecharse)

Entonces:

$$E_{max} = \frac{a\Phi}{h^2} = 0,187 \times \frac{40.000}{10^2} = 74,8 \text{ lux}$$

La iluminancia  $E_p$  en el punto P es, por consiguiente :

$$E_p = \frac{69}{100} \times 74,8 \text{ lux} = 51,6 \text{ lux}$$

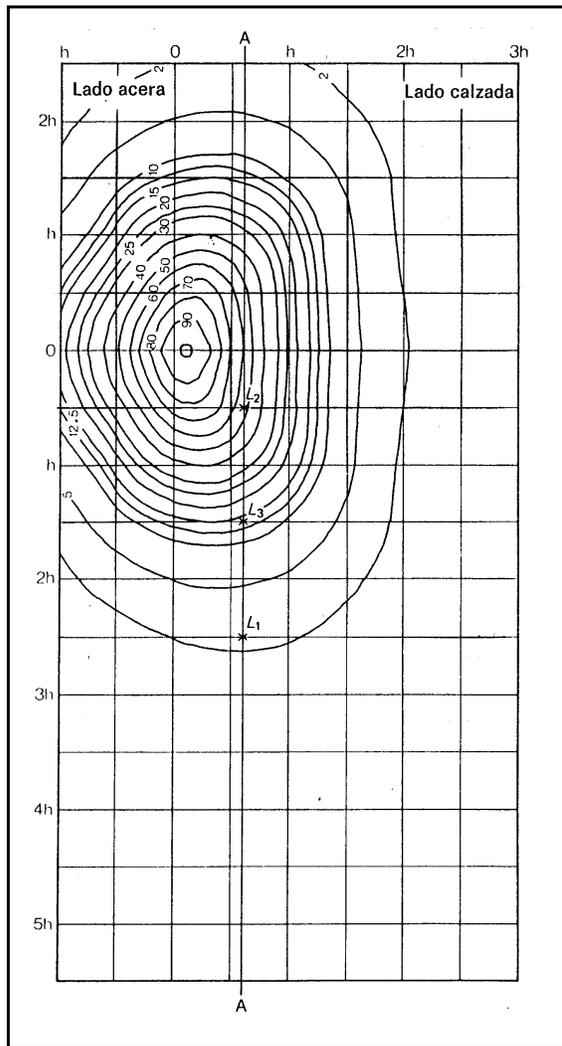


Figura N° 39

El diagrama relativo Isolux de la Figura 27 utilizado para determinar la contribución de las luminarias  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  a la iluminación en el punto P ( Figura 38 ).

## EJEMPLO N° 2

Hallar la separación máxima posible para una disposición unilateral de luminarias que dé una uniformidad de iluminación de  $E_{mín} / E_{máx}$  igual o mayor que 0,2 sabiendo que las

luminarias tienen una altura de montaje de 10 metros, que el saliente del brazo es 2,5 metros y que el ancho de la vía es 12,5 metros.

1.- Se determina la distancia desde la proyección de la hilera de luminarias hasta cada una de las aceras en múltiplos de la altura de montaje  $h$ . Se trazan dos líneas en el diagrama isolux con estas mismas distancias desde la hilera de luminarias (línea cero) longitudinal y paralelas a ella (líneas AA y BB de la figura 40).

Para una uniformidad de iluminación mayor o igual que 0,2, la suma de  $E_{mín} (L_1) + E_{mín} (L_2)$  debe ser por lo menos el 20% de  $E_{máx}$ . Así, pues, la  $E_{mín}$  de una luminaria debe ser por lo menos el 10% de  $E_{máx}$ .

2.- Se trazan en el diagrama isolux los dos puntos donde la curva del 10% cruza las dos líneas que representan las aceras: estos son los puntos a y b de la figura 40. La distancia desde el eje transversal de la luminaria hasta el punto más cercano de los dos ( punto b) es igual a la mitad de la separación  $s$  necesaria para producir la uniformidad requerida en el ancho total de la vía. Por consiguiente, se desprende de la Figura 40 :

$$\begin{aligned} s / 2 &= 1.5 h \\ s &= 3.0 h \\ &= 3.0 \times 10 \text{ metros} \\ &= 30 \text{ metros (separación máxima)} \end{aligned}$$

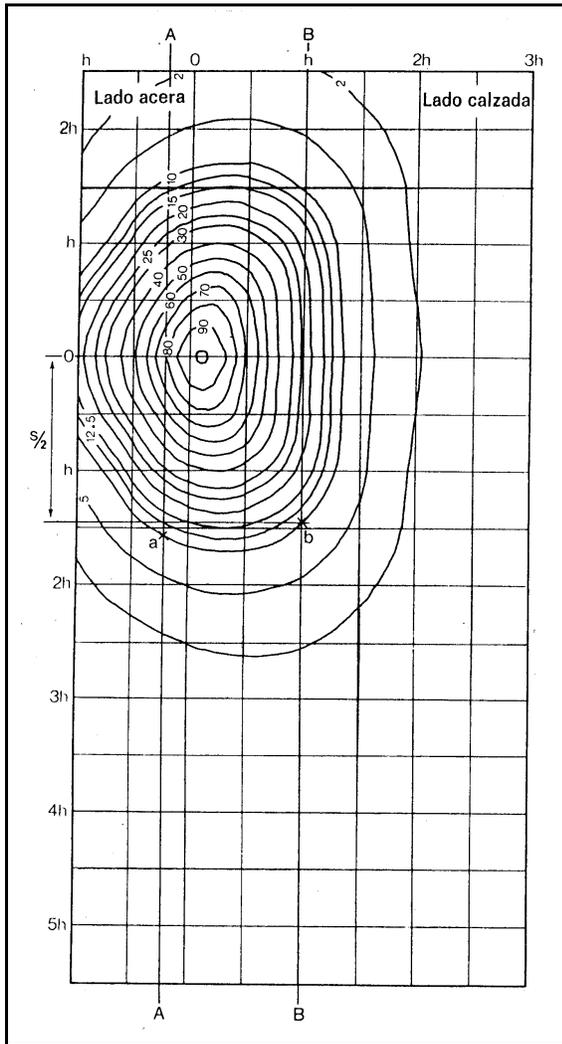


Figura N° 40

El diagrama relativo isolux de la figura 27 utilizado para determinar la separación  $s$  entre dos luminarias para obtener una uniformidad de iluminancia  $E_{mín} / E_{máx}$  mayor e igual de 0.2.

EJEMPLO N° 3a

Hallar la iluminancia media del carril derecho de una vía con disposición unilateral de luminarias a lo largo del borde izquierdo

(figura 41) sabiendo que la altura de montaje de las luminarias es de 10 metros y que cada lámpara tiene un flujo luminoso de 40.000 lúmenes.

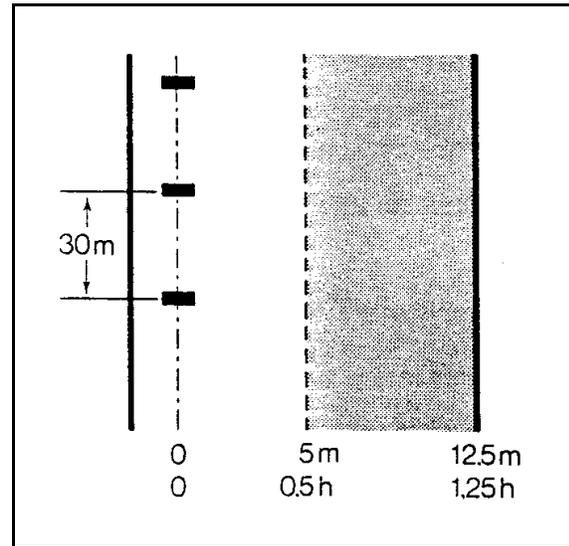


Figura N°41

1.- Se determina el factor de utilización del carril derecho. De la figura 28:

$$\eta_{0 - 1,25h} = 0,30$$

$$\eta_{0 - 0,50h} = 0,17$$

Por consiguiente,

$$\eta_{0,50 - 1,25h} = 0,30 - 0,17 = 0,17:$$

2.- Se sustituye este valor de  $\eta$  en la ecuación:

$$E_{med} = \frac{\eta \Phi_L}{WS}$$

por lo tanto

$$E_{med} = \frac{0,13 \times 40.000}{7,5 \times 30} = 23,1 \text{ lux}$$

#### EJEMPLO N° 3b

Hallar la iluminancia media del carril derecho con una disposición unilateral a lo largo del borde derecho (figura 42) sabiendo que la altura de montaje es de 10 metros y que cada lámpara tiene un flujo luminoso de 40.000 lúmenes.

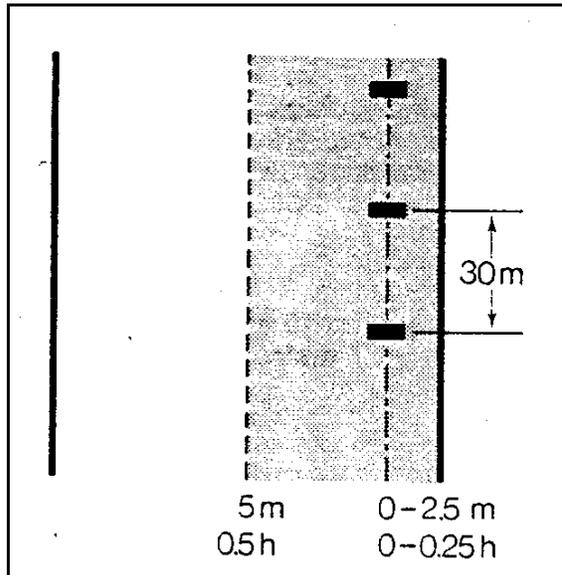


Figura N°42

1.- Se determina el factor de utilización del carril derecho. De la Figura 28 :

$$\$ \text{ hacia la acera} = 0.075$$

$$\$ \text{ hacia la calzada} = 0.17$$

$$\text{Por consiguiente, } \$ \text{ acera} + \$ \text{ calzada} = \\ = 0.075 + 0.17 = 0.245$$

2.- Se sustituye este valor \$ en la ecuación :

$$E_{med} = \frac{\eta \Phi_L}{WS}$$

reemplazando:

$$E_{med} = \frac{0,245 \times 40.000}{7,5 \times 30} = 43,5 \text{ lux}$$

#### EJEMPLO N° 3 c

Hallar la iluminancia media del carril derecho de una vía con disposición pareada (fig. 43) sabiendo que la altura de montaje de las luminarias es de 10 metros y que cada lámpara tiene un flujo luminoso de 40.000 lúmenes.

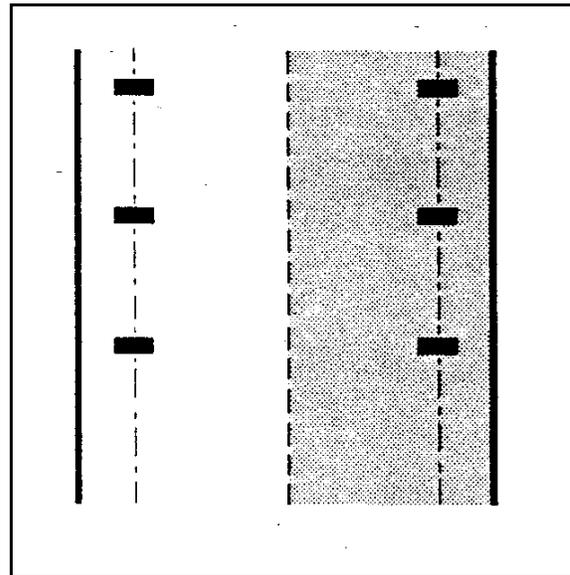


Figura N° 43

1.- Se calcula, como en los ejemplos 3a y 3b, la iluminancia producida por cada hilera de luminarias. La iluminancia total es simplemente la suma de estas iluminancias

parciales, o sea :

$$E_{med} = 23,1 + 43,5 \text{ lux} = 66,6 \text{ lux}$$

EJEMPLO N° 4

Hallar el ángulo de inclinación  $\gamma$  - sea  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  ó  $15^\circ$  - que produce el máximo de iluminancia media a todo lo ancho de la vía (figura 44) sabiendo que la altura de montaje de la luminaria es de 10 metros y que el saliente del brazo es 2,5 metros. Cuanto mayor sea el factor de utilización mayor será la iluminancia media. Por consiguiente, se determina el factor de utilización para cada uno de los cuatro ángulos admisibles de inclinación utilizando la fórmula:

$$\eta = \eta \gamma_1 + \tau + \eta \gamma_2 - \tau$$

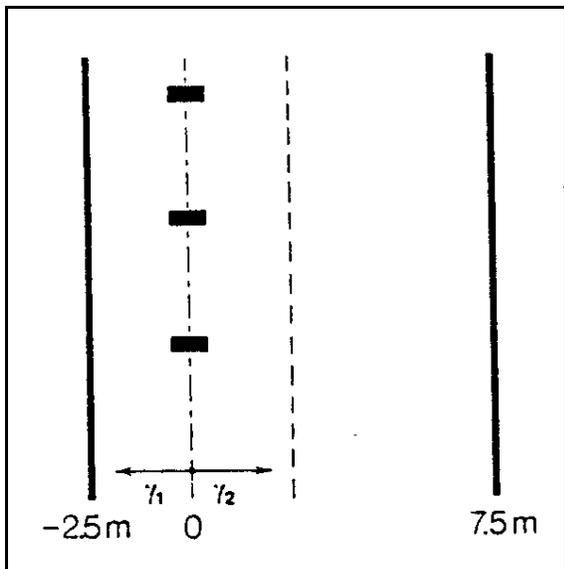


Figura N° 44

donde:

$\gamma$  = ángulo de inclinación

$$f_{l_1} = \arctg 2,5 / 10 = 14^\circ$$

$$f_{l_2} = \arctg 7,5 / 10 = 37^\circ$$

Por consiguiente, según la figura 28 :

$$\begin{aligned} \text{para } \gamma \geq 0^\circ : \eta &= \eta_{14^\circ} + \eta_{37^\circ} \\ &= 0,08 + 0,2 = 0,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{para } \gamma \geq 5^\circ : \eta &= \eta_{19^\circ} + \eta_{32^\circ} \\ &= 0,11 + 0,21 = 0,32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{para } \gamma \geq 10^\circ : \eta &= \eta_{24^\circ} + \eta_{27^\circ} \\ &= 0,13 + 0,18 = 0,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{para } \gamma \geq 15^\circ : \eta &= \eta_{29^\circ} + \eta_{22^\circ} \\ &= 0,14 + 0,14 = 0,28 \end{aligned}$$

Resultado: la iluminancia media máxima se obtiene con un ángulo de inclinación de  $5^\circ$ .

Nota.- Es posible que una inclinación que dé una iluminancia media mayor produzca al mismo tiempo una uniformidad menor o un mayor deslumbramiento.

**EJEMPLOS PRACTICOS CALCULOS DE LUMINANCIA**

EJEMPLO N°1

Hallar la luminancia mínima y máxima dentro de la zona comprendida entre dos luminarias sucesivas con los siguientes datos :

Flujo luminoso por lámpara = 40.000 lúmenes

Altura de montaje = 10 metros

Separación de luminarias = 40 metros

Ancho de la calzada = 15 metros

Distancia de la luminaria  $L_1$  al observador = 100 metros

Tipo de pavimento = clase II

$Q_0 = 0,10$  ( cd / m<sup>2</sup> ) lux

$L_{L2} = 4\%$  de  $L_{max}$

Total = 8% de  $L_{max}$

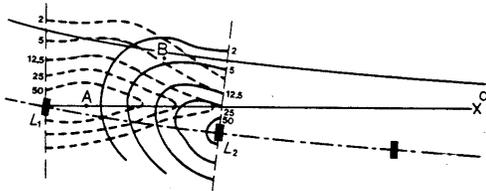


Fig. N° 45: Hallar la luminancia máxima y mínima entre las luminarias  $L_1$  y  $L_2$ . En este ejemplo, la distancia de la hilera de luminarias hasta la posición del observador se separó exageradamente para hacer más claro el dibujo.

1.- Se dibuja un plano de la calzada a igual escala (en múltiplos de la altura de montaje de la luminaria) y se marca la posición del observador.

2.- Se coloca sucesivamente el punto central (0.0) del diagrama iso-cd/m<sup>2</sup> encima de cada luminaria con el eje longitudinal del diagrama paralelo al eje de la vía. Para la luminaria  $L_1$  se hace girar el diagrama hacia el observador.

3.- Se comprueba que el ángulo de giro no sea mayor de 5°.

4.- Se lee la contribución de cada luminaria en los puntos A y B, que son los de mayor y menor luminancia respectivamente.

Punto A:

$L_{L1} = 100\%$  de  $L_{max}$

$L_{L2} = 1\%$  de  $L_{max}$

Total = 101% de  $L_{max}$

Punto B:

$L_{L1} = 4\%$  de  $L_{max}$

Siendo:

$$L_{max} = \frac{a \Phi_L Q_0}{h^2}$$

$$= 0,104 \times \frac{40.000 \times 0,10}{10^2} = 4,16 \text{ cd / m}^2$$

Resulta la luminancia máxima

$$L_{max} = \frac{101}{100} \times 4,16 = 4,2 \text{ cd / m}^2$$

y la mínima

$$L_{mín} = \frac{8}{100} \times 4,16 = 0,33 \text{ cd / m}^2$$

EJEMPLO N° 2

Hallar la luminancia media de la superficie del carril derecho de la Figura 43 sabiendo que el observador está en la prolongación de la hilera derecha de luminarias y que:

el flujo luminoso por lámpara = 20.000 lúmenes

la altura de montaje = 10 metros

la separación = 50 metros

tipo de pavimento normalizado = clase II

$$Q_0 = 0,10 \text{ ( cd / m}^2 \text{ ) / lux}$$

1.- Se determina el factor de rendimiento en luminancia para cada hilera de luminarias.

Lado Izquierdo:

El observador se encuentra a 10 metros (1h) a la derecha de la hilera.  
 Por consiguiente, se debe utilizar la curva "C" de la figura 46

Por lo tanto:

$$\eta < ( 0 - 1,2 h ) = 0,29$$

$$\eta L ( 0 - 0,6 - h ) = 0,19$$

o sea

$$\eta L ( 0,6 - 1,2 h ) = 0,29 - 0,19 = 0,10$$

Lado derecho:

El observador se encuentra en la prolongación de la hilera de luminarias y , por consiguiente, se debe utilizar la curva "B" de la Figura 46.

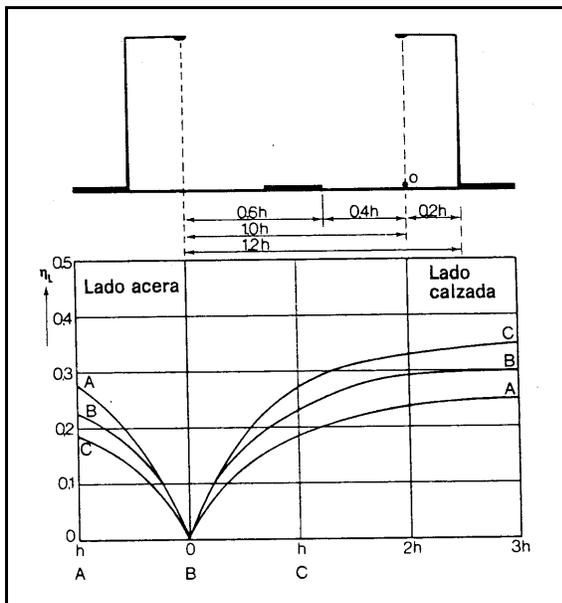


Figura N° 46

Por consiguiente:

$$\$L \text{ (hacia la acera)} = 0,09$$

$$\$L \text{ (hacia la calzada)} = 0,15$$

$$\$L \text{ (hacia la acera)} + \$L \text{ (hacia la calzada)} = 0,09 + 0,15 = 0,24$$

2.- Se calcula la contribución de cada hilera de luminarias utilizando la ecuación:

$$L_{med} = \eta L Q_0 \frac{\Phi L}{S W}$$

Lado izquierdo:

$$L_{med} = 0,10 \times 0,10 \times \frac{20.000}{50 \times 6} = 0,67 \text{ cd / m}^2$$

Lado derecho:

$$med = 0,24 \times 0,10 \times \frac{20.000}{50 \times 6} = 1,60 \text{ cd/m}^2$$

3.- Sumando los resultados del lado derecho y del lado izquierdo:

$$L_{med} = 0,67 + 1,60 = 2,27 \text{ cd / m}^2$$

### ILUMINACION EN AREAS RESIDENCIALES Y PEATONALES

En aquellas zonas de las áreas residenciales en que está permitido el tránsito el alumbrado debe estar diseñado en vías a lograr seguridad en la calzada por un lado y protección y amenidad por otro. En las áreas peatonales cerradas a todo tránsito, la seguridad vial deja de ser un objetivo del diseño y puede ponerse todo el énfasis en dotarlas de un alumbrado que proteja

eficazmente y sea ameno.

El alumbrado de ambas áreas residencial y peatonal debe y puede, si se diseña adecuadamente, aumentar el atractivo de la zona tanto a los residentes como a los visitantes. Esta meta puede ser alcanzada por arquitectos, urbanistas y técnicos de alumbrado trabajando conjuntamente y cada uno aprovechando el conocimiento y experiencia del otro.

### **Criterios de Alumbrado.**

Las demandas sobre alumbrado de peatones y residentes puede resumirse como sigue:

**Peatones:** que facilite el movimiento y la orientación y que posibilite el reconocimiento de los rasgos faciales.

**Residentes (en sus hogares) :** que ayude a detectar la presencia de intrusos y que no constituya una incomodidad (especialmente en forma de deslumbramiento) .

**Ambos grupos:** que mejore el atractivo de los alrededores y que sea suficientemente funcional como para reprimir la violencia, el vandalismo y el crimen.

### **Nivel de Iluminación.**

Las recomendaciones para el alumbrado de paseos públicos y áreas peatonales pueden compararse a las del alumbrado de carreteras en tanto y en cuanto ambas estén diseñadas para facilitar el reconocimiento y movimiento nocturno. Hay tres puntos principales de diferencia para el alumbrado de peatones. El primero es que, comparados con vehículos motorizados, los peatones se mueven mucho

más lentamente, con lo que se dispone de mucho más tiempo para que la visión se adapte a los cambios de luminancia.

Los niveles de alumbrado y la uniformidad son, por lo tanto, menos críticos, especialmente la segunda, que en el caso del tránsito motorizado, que es mucho más rápido. La segunda diferencia es que, mientras el conductor de un vehículo no se apoya exclusivamente en el alumbrado de la calzada para su orientación - tiene los faros del vehículo para ayudarle- , un peatón solo tiene la iluminación prevista a lo largo del paseo; el valor mínimo de ese alumbrado es , por consiguiente, de enorme importancia. El tercer punto de diferencia es que el peatón, en mayor medida que el conductor, necesita sentirse seguro y protegido en sus pasos, de manera que el alumbrado deberá facilitar el reconocimiento facial de los transeúntes.

#### *Seguridad de movimientos*

Es importante para los peatones poderse mover de manera segura, por lo que el alumbrado debe ser suficiente para revelar los obstáculos del camino potencialmente peligrosos, así como irregularidades y baches. Estos requisitos se cumplen si la iluminancia horizontal en cualquier punto no es menor de 0,2 lux y preferentemente un valor mínimo de 1 lux, siendo éstos los valores recomendados por la CIE sobre alumbrado de emergencia en el interior de edificios.

#### *Reconocimiento facial*

Es importante para los peatones poderse reconocer entre sí cuando se encuentran. Un reciente estudio muestra que el parámetro de

alumbrado que mejor correlación guarda con el reconocimiento facial es la iluminancia semicilíndrica. De las pruebas realizadas en exteriores, bajo alumbrados típicos y en zonas residenciales, se deduce que para un buen reconocimiento facial a una distancia de observación de 4 metros (la distancia segura si se presiente un ataque) se requiere una iluminancia semicilíndrica en la cara de 0,8 lux.

### *Orientación*

Una buena orientación implica la capacidad para identificar casas y otros edificios y peculiaridades de los alrededores, especialmente cruces viales. Estos requisitos se cumplimentarán como meta rutinaria con la mayoría de los sistemas de alumbrado residencial. Los letreros con los nombres de las calles en especial tienen que estar bien iluminados.

### *Seguridad*

El alumbrado residencial tiene normalmente que cumplir una función doble desde el punto de vista de la seguridad: debe disuadir a posibles intrusos o ladrones; aun fracasando en esto, debe como mínimo revelar su presencia a los residentes y transeúntes. Ambos objetivos se alcanzan normalmente si se cumplen las exigencias requeridas para un buen reconocimiento facial.

El peatón es especialmente vulnerable al ataque en la oscuridad. Se espera, para combatir esto, que el alumbrado facilite el reconocimiento de las caras desde una distancia a la que todavía sea factible evitar o repeler la amenaza.

### *Niveles recomendados*

Cuando no se considera la seguridad vial de los conductores el alumbrado de las áreas residenciales o peatonales se ha diseñado siempre en base a los valores recomendados para iluminancia horizontal, que se muestran en el cuadro adjunto. Por conveniencia, los 0,8 lux de iluminancia semicilíndrica que se han mencionado se expresan aquí por la iluminancia horizontal que en general de adoptan 5 lux. Debe notarse, sin embargo, que la relación entre iluminancia horizontal y semicilíndrica depende de la distribución de luz y de la colocación de las luminarias en la instalación. Esto significa que una instalación diseñada específicamente para satisfacer el mínimo de 0,8 lux (semicilíndrica puede dar menos de 5 lux de iluminancia horizontal y ser aceptable.

<i>ILUMINANCIA</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
0,2 Lux	Mínimo para seguridad de movimientos; detección de obstáculos.
5 Lux	Media para "seguro" reconocimiento facial.
20 Lux	Alumbrado atractivo.

Iluminancias horizontales recomendadas para áreas residenciales o peatonales.

### **Control del Deslumbramiento.**

El problema del deslumbramiento es menos crítico para los peatones que para los conductores, principalmente a causa de la diferencia en velocidad. El peatón tiene mucho más tiempo para adaptar su visión a los cambios de brillo en su campo visual, por

lo que es menos probable que se vea cegado hasta el extremo de chocar con un obstáculo del camino. Una regla importante para mantener el deslumbramiento en un mínimo aceptable es que no se coloque ninguna fuente de luz sin apantallar al nivel de los ojos; deben ponerse más bajas de un metro o más altas de tres metros aproximadamente.

Un peatón está más expuesto a sufrir deslumbramiento molesto que deslumbramiento perturbador. La validez del índice de deslumbramiento (G) -la medida para el deslumbramiento molesto- no se ha investigado para luminarias con altura de montaje inferior a los 6,5 metros. Además, incluso cuando la altura de montaje es superior a ese valor rara vez se puede usar el índice de deslumbramiento en recomendaciones relativas a zonas residenciales, porque en ellas la disposición de las luminarias es siempre irregular y G sólo puede determinarse para hileras de luminarias dispuestas regularmente.

Sin embargo, en la práctica, la sensación de deslumbramiento vendrá provocada por luminarias concretas brillantes que aparecen cerca de la línea directa de visión y no por el efecto combinado de todas las luminarias del área. Es razonable, por lo tanto, limitar la luminancia de cada luminaria para ángulos críticos de emisión.

Se ha comprobado que el producto  $LA^{0,25}$  (expresándose L en  $\text{cd}/\text{m}^2$  y A en  $\text{m}^2$ ) es el parámetro de la luminaria más aconsejable para controlar el deslumbramiento en zonas residenciales. El valor de este parámetro nunca debe pasar las 2.000  $\text{cd}$ , y para alturas de montaje inferiores a los 6 m será preferible un "máximo" inferior.

Una luminaria mal situada con respecto a una casa vecina puede, con la luz lanzada a través de las ventanas de la casa, contribuir a una iluminación interior no deseada y crear una perturbación visual e incluso deslumbramiento al mirar hacia afuera. Si no se pueden situar las luminarias evitando este problema, se deben emplear al menos luminarias bien apantalladas.

### **Instalaciones de Alumbrado.**

#### *Lámparas*

Las investigaciones recientes parecen sugerir que en la evaluación de un ambiente exterior pesa mucho más la apariencia en color que el rendimiento en color.

Las viviendas están principalmente iluminadas por lámparas de incandescencia que tienen como media una temperatura de color de 2.750 °K. Este color de luz sirve como referencia, es el color que crea la ambientación de las horas del atardecer.

Para lograr unidad y armonía en la noche dentro del total de la zona residencial es deseable emplear lámparas con temperatura de color cercana a esos 2.750 °K. Es preferible además quedarse cortos en ese valor que pasarse, las lámparas de sodio (1.800 °K - 2.000 °K) parecen subjetivamente más similares a una lámpara incandescente que las de vapor de mercurio de 3.300 °K.

La temperatura de color de las lámparas utilizadas en áreas residenciales debe situarse, por lo tanto, entre 1.88 °K y 3.300 °K, con una cierta preferencia para los valores incluidos en la gama de 2.000 °K a 3.000 °K. Las lámparas de mercurio a alta

presión son las que se utilizan con mayor frecuencia en áreas residenciales. Las lámparas de sodio a alta presión son también apropiadas para áreas residenciales, especialmente desde que se puede disponer en versiones de baja potencia y bajo flujo luminoso.

Las lámparas de sodio a baja presión con su alta eficacia, y su altísimo potencial en ahorro de energía las hace muy atractivas para aquellas situaciones en que no se requiere un buen rendimiento en color.

### *Luminarias*

Se dispone hoy día de una gran variedad de luminarias para el alumbrado de áreas residenciales o peatonales con diferentes formas, distribución de luz y estilos.

El estilo y la forma de las luminarias son los factores más importantes para determinar el aspecto diurno (y a menudo el nocturno) de una instalación de alumbrado. Pero por la noche lo realmente importante es la distribución de luz, la forma y las dimensiones de las luminarias. Estos factores determinan su brillo y la distancia a que pueden espaciarse para una determinada disposición.

Cuando la instalación de alumbrado deba satisfacer también las necesidades de los conductores, la mejor elección, desde el punto de vista económico, es normalmente el uso de luminarias tradicionales.

### **Montaje de Luminarias.**

El alumbrado en las zonas residenciales se realiza normalmente mediante luminarias

montadas de una o más de las cuatro formas siguientes: sobre postes o columnas, adosadas a las fachadas, colgadas de cables y a ras del suelo.

### *Luminarias montadas sobre postes o columnas*

Las luminarias *post-top*, por lo cual entendemos luminarias montadas en "punta de poste" (no en el extremo del brazo de una ménsula) y a una altura aproximada de 3 a 8 metros, son las más empleadas en áreas residenciales.

La altura de montaje depende en gran medida de la superficie de la zona que se quiere iluminar. Las luminarias *post-top*, sean de estilo moderno, sean en el estilo antiguo de las farolas de gas, son aptas normalmente para iluminar el sendero y su entorno cercano, por lo que se montan a una altura entre tres y cinco metros por encima del nivel del suelo. Cuando la superficie a iluminar es de mayor extensión es más habitual encontrar que las luminarias empleadas son más funcionales que decorativas y que están montadas algo más altas, entre 5 y 8 metros.

### *Luminarias adosadas a las fachadas*

El alumbrado mediante luminarias apoyadas en las paredes de las casas es una solución buena y atractiva al problema de iluminar calles cuando no hay sitio para columnas o en zonas bordeadas con edificios históricos que no debieran nunca ser dañados por los postes de alumbrado.

Esta antigua forma de montaje puede también usarse con gran efecto en centros cívicos modernos. Luminarias decorativas montadas

de esta manera, destacando claramente su forma, pueden aumentar la estética del entorno.

#### *Luminarias colgadas de cables*

Cuando una zona debe mantenerse libre de farolas y columnas y cuando el montaje de las luminarias sobre la fachada no es aconsejable (porque la iluminarían excesivamente) se pueden colgar las luminarias de un cable que, a manera de puente, atraviese la calle y esté anclado en los edificios de ambos lados.

#### *Luminarias a nivel del suelo*

En los jardines y parques y a lo largo de los paseos públicos, donde el único propósito es dotarlos de ambientación y orientación, se puede frecuentemente, y con ventajas desde el punto de vista estético, montar las luminarias muy cerca del suelo .

## **DEPRECIACION Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO PUBLICO.**

### **Introducción.**

El presente informe técnico tiene por objeto pasar revista y analizar las diferentes causas de deterioro y de depreciación de instalaciones de alumbrado público y establecer conclusiones en lo que concierne a:

- Por una parte las características a exigir a los materiales nuevos empleados en una instalación.

- Por otra parte los métodos más convenientes para el mantenimiento de diversas categorías de instalaciones.

### **Depreciación de Instalaciones.**

Las características de una instalación de alumbrado público, y por lo tanto sus performances, se modifican con el tiempo, por imperio de numerosas causas, donde las principales son:

- a) La baja progresiva del flujo emitido por la o las fuentes luminosas.
- b) El ensuciamiento de las fuentes luminosas.
- c) El envejecimiento de órganos (reflectores, refractores, etc.).
- d) El ensuciamiento de las partes ópticas de las luminarias.
- e) Apagado prematuro de una fuente.
- f) Las vibraciones sometidas al material, y las causas accidentales deformantes.

Además, existen ciertas causas posibles de reducción del rendimiento de una instalación, que atenúan de una manera no acumulativa y que son:

- g) Elevación o reducción excesiva de la temperatura en el interior de la luminaria.
- h) Destrucción prematura de equipos auxiliares.
- i) Una tensión incorrecta en bornes de las fuentes.

Debe entenderse por mantenimiento no solamente la reposición del elemento deteriorado, sino también el análisis del caudal que provoca una reposición prematura.

Un ejemplo práctico se evidencia en la corta vida de las lámparas a descarga, a consecuencia de hallarse alimentadas por balastos que no respetan los valores eléctricos adecuados.

#### *Nota*

La calidad y el rendimiento de una instalación de alumbrado público, tiene relación a la mayor o menor rapidez de decrecimiento de su performance, dependiendo en fuerte proporción de la juiciosa selección de la luminaria, de la fuente y del equipo auxiliar, etc, y de la mayor o menor adaptación perfecta de tales elementos unos con los otros.

Así, las indicaciones dadas en el presente capítulo son todas establecidas bajo la hipótesis de que todos los elementos han sido juiciosamente seleccionados en función de la necesidad y condición de toda suerte de características de la instalación e igualmente en función unas de las otras dado que todos los factores deteriorantes mencionados, pueden ser paliados total o parcialmente por las periódicas operaciones de reemplazo de elementos usados y de la limpieza de partes sucias.

Por el contrario, nada puede actuar contra los factores a) y c) una vez realizada la instalación.

#### *Rendimiento Global De La Instalación*

Este rendimiento es evidentemente igual al

rendimiento inicial multiplicando por el producto de todos los factores de depreciación: quiere decir que la ausencia de toda operación de reemplazo o de limpieza hace que el rendimiento de la instalación tienda rápidamente a cero, eso hace que tome interés capital que tales operaciones se efectúen, desde el doble punto de vista de la economía y de la seguridad.

Aún con mantenimiento sistemático, los valores prácticos medios integrados del alumbrado (y por lo tanto de la luminancia) de una instalación, son inferiores en un 20 a un 30% a los valores iniciales calculados.

Por tal razón, en numerosos países, las especificaciones o códigos de buena práctica recomiendan calcular una instalación de modo de producir una iluminancia E o luminancia L multiplicada por:

$$1 / 1 - 20\% = 1,25$$

#### *Influencia de las radiaciones de las características reflejantes de las calzadas*

Las propiedades reflejantes de una superficie de calzada se modifican lentamente, durante la puesta en servicio. Esta evolución es más sensible en el curso de los primeros seis meses y luego se hace más lenta.

En el estado actual de los conocimientos y dado por una parte la gran variedad de cubiertas y por otra la influencia decisiva del volumen y la naturaleza del tránsito (velocidad, proporción de cargas pesadas, etc.) es imposible predeterminedar con precisión cual será la evolución de las propiedades reflejantes de la calzada. Se logra una idea aproximada por comparación

con una instalación existente y de características semejantes en todos sus puntos.

#### *Baja de flujo de fuentes luminosas.*

El flujo luminoso de todas las fuentes decrece regularmente a lo largo de su puesta en servicio. Dada la incertidumbre de cifras en este dominio, no es posible dar indicaciones cuantitativas. Las indicaciones concernientes a la depreciación de una fuente luminosa deberá solicitarse a los constructores.

#### *Ensuciamiento de fuentes y de luminarias y envejecimiento de luminarias*

La rapidez y gravedad del ensuciamiento de fuentes y luminarias varía considerablemente según la naturaleza de la conformación de la luminaria (abierta o cerrada, hermética o no), altura de montaje, y el grado de humedad y de polución de la atmósfera ambiente, que depende de numerosos factores (volumen y naturaleza de circulación, clima, régimen de vientos, emplazamiento de la instalación, etc.).

A título de ejemplo, en la figura 47 se dan los factores de baja de flujo emitido por la luminaria según los diferentes grados de polución de la atmósfera del American National Standard Practice for Roadway Lighting ( Edición 1973 ).

La curva I corresponde a las condiciones generales siguientes:

- suelo natural ( empedrado , hierba ), tránsito moderado y poco rápido, ausencia de cargas pesadas, zonas rurales y residenciales.

La curva II corresponde a la circulación más

importante, presencia de cargas pesadas, vías mayores en centros urbanos.

La curva III para tránsito muy importante, zonas periféricas.

La curva IV para autopistas con fuerte tránsito, vías mayores en centros urbanos, zonas densas.

La curva V para zonas densas a circulación muy densa, presencia de industrias polucionantes (usinas a gas, centrales térmicas, industrias químicas, etc.).

Se puede ver que en las condiciones más desfavorables el flujo que emiten las luminarias, en siete años puede reducirse a 30 % del flujo inicial.

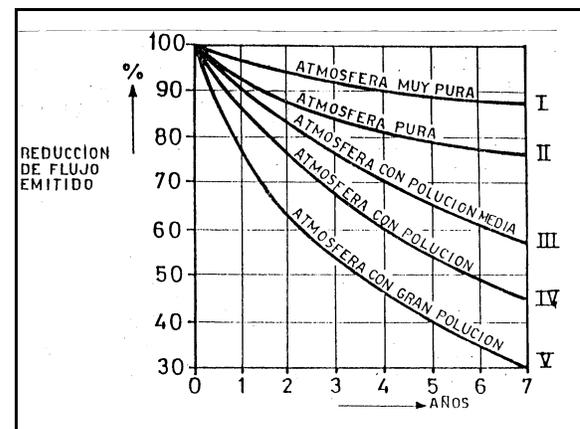


Figura N° 47 : Años siguientes a la primer operación de limpieza de la luminaria .

#### *Variación excesiva de la temperatura en el interior de la luminaria*

Las variaciones de la temperatura de la atmósfera en el interior de la luminaria, obedece a una periodicidad anual resultante

de la sucesión de las estaciones, a una periodicidad cotidiana resultante de alternancias de día y de noche y del encendido o apagado de la lámpara.

La temperatura interior varía fuertemente según los horarios de encendido y de extinción en relación a horas diurnas y nocturnas.

Los altos niveles de temperaturas presentan los siguientes inconvenientes:

a) Los calentamientos y eventualmente los enfriamientos excesivos deterioran y pueden sacar rápidamente de servicio, las partes en plástico, las pinturas y barnices, los aislantes y las juntas elásticas.

b) Pueden destruir elementos esenciales de la lámpara.

c) Produce una reducción de flujo. Esta baja de rendimiento es especialmente importante en casos de tubos fluorescentes y de lámparas a vapor de sodio de baja presión.

d) En el caso de luminarias cerradas, la baja presión interna que resulta de la refrigeración del equipo después de su extinción, puede generar cierta condensación. Estos efectos pueden reducirse en proporción apreciable, recurriendo a un cierto número de precauciones, tales como:

1- En los países cálidos, el empleo de luminarias de tipo abierto o perfectamente estancas. Las luminarias estancas a emplear deben ser de dimensiones suficientes.

2- Para todas las luminarias, equipos auxiliares, conductores eléctricos, aislantes, etc., utilizados en los países cálidos, exigir materiales enteramente “tropicalizados” y resistentes a calentamientos excesivos, a la humedad y el moho.

3- Para las fuentes luminosas de gran potencia y en general para todas las fuentes donde el funcionamiento requiere altas temperaturas, emplear luminarias de dimensiones suficientes para contener tales lámparas.

4- Emplear para las categorías de fuentes solamente luminarias especialmente diseñadas para tal categoría y tal potencia.

5- En caso de utilización de luminarias cerradas, pero no herméticas, prever un dispositivo de evacuación de agua de condensación.

6- En caso de utilización de una luminaria abierta, preferir un modelo de circulación de aire, que permite la auto limpieza por las corrientes de convección.

#### *Vibraciones y causas accidentales deformantes*

Las luminarias, lámparas, etc. sufren generalmente vibraciones que son producidas en forma casi permanente por el tránsito de vehículos pesados y en forma intermitente por los vientos. Por efecto de las fuerzas de inercia, estos movimientos son susceptibles de llevar a la degradación y a la misma destrucción del material. Estas vibraciones, en ciertos casos, por fenómenos de resonancia pueden tomar amplitudes peligrosas. Por las graves consecuencias que pueden originar estas vibraciones citaremos:

- La destrucción prematura de fuentes luminosas por desprendimiento del zócalo.

- La desfocalización de la fuente por destornillado de la base, o por desplazamiento de la óptica.

- Destrucción total o parcial de la óptica o

luminaria.

- Destrucción del ensamble luminaria pescante o pescante - columna.

Estos graves efectos conducen a una depreciación prematura de la instalación y debe ser prevenida.

Para una misma naturaleza del suelo, y para condiciones análogas de régimen de vientos y de tránsito, los fenómenos de resonancia dependen:

- De la altura de montaje.
- De la longitud del brazo o pescante.
- De la toma del viento.
- Del peso de la luminaria.
- Del módulo de resistencia de la columna a la flexión.

Para prevenir y evitar que las vibraciones tomen una amplitud peligrosa se recurre a :

- Columnas con elevado módulo de resistencia a la flexión.
- Pescantes o brazos de corta longitud.
- Las luminarias de poco peso y dimensiones moderadas, particularmente en el sentido transversal.

Por otra parte, con el objeto de limitar las consecuencias dañosas de las vibraciones se tomarán un cierto número de precauciones:

- Generalización del empleo de contra tuercas o sistemas equivalentes.
- Fijación de lámparas por medio de portalámparas a freno, esta precaución evita que, por efecto de la vibración, la base de la lámpara se afloje progresivamente, lo que puede modificar la posición de la lámpara con respecto al sistema óptico modificando la

repartición de la luminancia sobre la calzada.

- Elección de un modelo de luminaria que soporte con éxito las pruebas más severas de resistencia a la vibración y al choque.

#### *Reducción de la vida del balasto*

La vida media de los balastos es normalmente de 10 años de funcionamiento continuo.

Pero una elevación del 10 % por sobre su temperatura óptima de funcionamiento, es susceptible de reducir su vida a la mitad.

#### *Tensión incorrecta en bornes de lámparas o del equipo lámpara - accesorios*

Una tensión en bornes de la lámpara no conforme a la tensión prevista, produce una variación sensible del flujo emitido. Si la tensión en bornes baja, se reduce el flujo luminoso en mayor proporción, pero paralelamente aumenta la vida útil.

### **MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES.**

Es necesario agrupar las operaciones de control de mantenimiento, de limpieza y de reemplazo bajo la forma de visitas sistemáticas y reducir a un mínimo las intervenciones fuera de programa efectuadas por la demanda. Cuando estas intervenciones existen se pueden ver comprometidos los siguientes elementos :

- Resistencia mecánica de todas las piezas.
- Solidez de todas las ensambladuras.
- Protecciones contra la corrosión.
- Estanqueidad de las luminarias cerradas.
- Los aislantes, pinturas y barnices.

Las precauciones que permitan, un gran espaciamiento en las intervenciones, representa una mayor durabilidad de los materiales .

La frecuencia de las intervenciones depende de:

- La naturaleza de la instalación (urbana, rutas, o autopistas).
- Para las instalaciones urbanas, de la importancia de la aglomeración, y del carácter y la clase de la vía.
- Del clima y del grado de polución de la atmósfera.

Lo aquí establecido parte de la hipótesis de que el horario anual de funcionamiento es el mismo para todos los puntos luminosos de la instalación y que comprende entre 4.000 y 4.200 horas por año.

Por lo anterior resulta que es imposible dar una recomendación general en cuanto a la frecuencia para los diversos mantenimientos, las cuales deberán ser calculadas en cada caso particular teniendo en cuenta los datos reales de cada caso. Los datos siguientes deben considerarse a título general y simplemente como ejemplos.

#### *Las diferentes categorías de intervenciones*

- a) Reemplazo de lámparas y eventualmente de equipos auxiliares, se cuidará que la base de la lámpara se adapte perfectamente al receptáculo o portalámpara.
- b) Verificación del encendido y apagado, verificación del funcionamiento correcto del telecomando para alumbrado público, así como la señalización luminosa y detección de defectos eléctricos y de roturas por accidentes.

c) Limpieza de lámparas y de sistemas ópticos.

d) Pintura periódica.

e) Poda de árboles, de modo de permitir la emisión del cono máximo de cada luminaria.

#### *El reemplazo de lámparas y la limpieza*

El procedimiento consiste en suprimir los recorridos de localización de lámparas muertas, y efectuar el reemplazo global simultáneo de todas las lámparas de una misma vía o sector, que tengan un número de horas de funcionamiento inferior a la vida media. Este procedimiento supone la posibilidad de no ceder a las reclamaciones locales de cambios de lámparas y proceder, en principio, al reemplazo masivo en fechas previstas.

El reemplazo sistemático constituye el método más económico, contando además con la ventaja de poder efectuar en esa oportunidad todas las operaciones de mantenimiento corrientes de luminarias y equipo, a saber:

- La puesta correcta del sistema óptico.
- La limpieza de la luminaria.
- La verificación del sistema auxiliar.
- La verificación de las partes mecánicas de la luminaria.

En relación al número óptimo de horas de funcionamiento después del cual se efectuará el reemplazo de lámparas, deberá recurrirse al fabricante para cada tipo de lámpara.

#### *Limpieza*

En general y particularmente en las zonas de fuerte polución y en las vías de tránsito

intenso, es imposible conformarse con la limpieza efectuada en coincidencia con los reemplazos sistemáticos y deberán efectuarse limpiezas intermedias.

Aún con un mantenimiento muy metódico, la instalación no recobra jamás el nivel de su flujo inicial. Bajo la hipótesis de reemplazos de fuentes cada 6.000 horas, el gráfico de flujo adopta la forma de la figura N°48.

La figura N° 49 muestra la variación del flujo emitido por una instalación, con limpieza a la mitad del intervalo que separa dos reemplazos sistemáticos, los reemplazos sistemáticos se han efectuados cada 8.000 horas, las limpiezas todos los años.

### **MANTENIMIENTO MECANICO**

Se tiene que efectuar una verificación periódica ( en general todos los años ) de la base y la verticalidad de la columna, el estado de la puerta para fusibles, del pescante y de su dispositivo de orientación y de todas las partes mecánicas de la luminaria.

### **MANTENIMIENTO ELECTRICO Y OPTICO**

- Verificación, cada 12 o 18 meses de la correcta puesta a tierra de las columnas, consolas, dispositivos de señalización, etc.
- Verificación del buen aislamiento de todos los elementos metálicos de la instalación, incluso luminarias.
- Verificación periódica ( cada 2 años ) de la instalación ( líneas, soportes y acometidas ).
- Verificación periódica ( cada 2 años ) del buen estado de los conductores en el interior de la columna. Esta verificación debe englobar los tableros, relojes, relays,

dispositivos de telecomando, contactores, transformadores, bobinas, equipos auxiliares, fusibles.

- Medición periódica de iluminancia y luminancia sobre la calzada.
- Mantenimiento de la señalización luminosa eventualmente asociada al alumbrado público.

### **MANTENIMIENTO DE LA PROTECCION CONTRA LA CORROSION Y PINTURA**

Para las columnas de acero, una protección total y eficaz es obtenida por galvanización en caliente por inmersión total de la columna en el baño, bajo la condición de una galvanización de muy buena calidad.

Es necesario establecer un programa sistemático de verificación de la protección contra la corrosión y del estado de la pintura. Este programa se efectuará para columnas en acero y su base:

- a) Cada 5 a 7 años, reposición completa de la pintura comprendiendo:
  - El raspado a vivo de las superficies oxidadas.
  - Tratamiento apropiado de todas las superficies a pintar.
  - Aplicación de una capa de protección anticorrosiva sobre las superficies libres de todo resto de pinturas.
  - Aplicación de una capa de pintura.

- b) Cada 3 años, una renovación limitada que comprende:
  - Aplicación de una capa de pintura luego del tratamiento de protección de superficies oxidadas. Esta intervención, efectuada metódicamente, puede permitir no recurrir a la renovación completa de la pintura hasta los

8 a 10 años, dado que es fácil controlar la oxidación en sus comienzos.

En cuanto a las columnas de hormigón, pueden pasar los primeros 10 años sin protección ni mantenimiento. Pero pasado este período, hay que asegurarse que no hayan desprendimientos en los cimientos, particularmente en la puerta practicada en la base.

Los soportes de aluminio o de polyester no necesitan prácticamente ningún mantenimiento.

### **MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE COLUMNAS DE GRAN ALTURA**

Las instalaciones de alumbrado a muy gran altura se componen generalmente de un mástil, de los equipos de alumbrado, y de una plataforma fija o móvil situada en la parte superior que soportan las luminarias.

La gran altura complica los problemas de mantenimiento es por ello que conviene utilizarse mástiles contruídos en materiales que necesiten un mantenimiento limitado. Los mástiles pueden estar implantados en zonas de circulación, por lo que una de las primeras precauciones es el de establecer accesos para los vehículos de mantenimiento.

#### *Plataforma fija*

Cuando la plataforma es fija, el acceso a los sistemas luminosos debe poder efectuarse con toda la seguridad posible, es decir por el interior si el mástil lo permite. En todos los casos, deben existir plataformas a intervalos regulares para permitir un descanso al personal de mantenimiento.

Personal éste que debe estar asegurado mediante cinturón de seguridad. La plataforma misma deberá estar provista de elementos de seguridad y emplazamientos para fijar los cinturones.

Se puede recurrir también a un equipo móvil para subir al personal al mástil.

#### *Plataforma móvil*

Cuando la plataforma es móvil permite atender las luminarias a nivel de suelo. Esta solución es la más segura. Es más costosa en la inversión pero más económica en el mantenimiento. La plataforma debe tener un dispositivo paracaídas infalible a la caída. Los diversos elementos de la plataforma deben estar sólidamente ensamblados, los ensambles deben resistir las vibraciones.

Una instalación bien ejecutada no debe tener necesidad de ser mantenida en períodos menores de 2 años. Los contactos eléctricos deben verificarse todos los años, y el movimiento del sistema móvil cada 3 meses.

### **DEPRECIACION Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO DE TUNELES**

#### *Influencia de modificación de las características reflejantes de la calzada*

En los túneles, los vehículos se mantienen en la misma línea, de modo que las variaciones de las características reflejantes de la calzada se acentúan en las zonas de rodamiento.

### *Variaciones excesivas de temperatura de las luminarias*

El funcionamiento continuo de las instalaciones de alumbrado de túneles, hace que las variaciones de temperatura sean reducidas.

De todas maneras, conviene prestar atención al aumento de temperatura ligada al empleo de lámparas a vapor de sodio a alta presión, lo que conduce a limitar el número a dos en un mismo artefacto estanco ( sobre todo si el equipo auxiliar está incorporado ).

### *Reemplazo de lámparas y limpieza*

El cambio de lámparas se efectuará cuando el flujo residual sea el 80 % del flujo inicial. En túneles las luminarias que queden fuera de funcionamiento deben ser reemplazadas inmediatamente.

Las ópticas son limpiadas al mismo tiempo que las paredes del túnel, con intervalos que pueden variar entre dos semanas a algunos meses.

### *Mantenimiento de la protección contra la corrosión y pintura*

Para evitar los efectos de la corrosión debida a la humedad o del gas emitido por los vehículos, el material en túnel es realizado generalmente con aleaciones de aluminio, en acero cadmiado, o todo otro material no corroible.

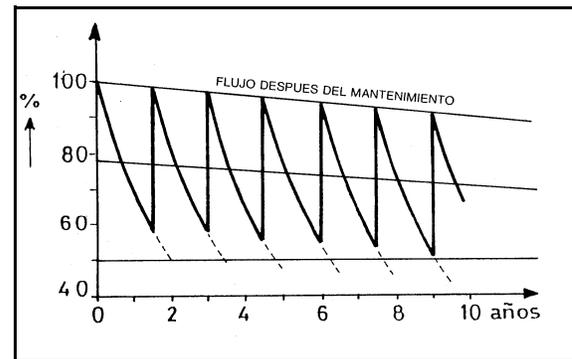


Figura N° 48

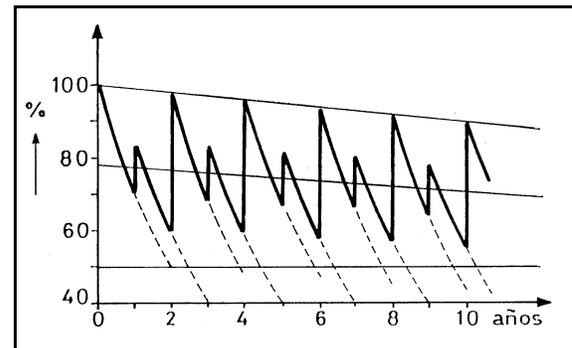


Figura N° 49

## GLOSARIO

Los términos y definiciones componentes de este glosario están ordenados alfabéticamente usando su forma más común.

**Absorción:** transformación de la energía radiante en otro tipo diferente de energía por interacción con la materia.

**Agudeza visual:**

1.- Cualitativamente: capacidad para distinguir objetos que se encuentran juntos o muy próximos entre sí.

2.- Cuantitativamente: valor recíproco de la separación angular ( generalmente en minutos de arco) que media entre dos objetos, puntos o líneas tan próximos que apenas pueden percibirse como dos cosas diferentes.

**Alcance (de una luminaria de alumbrado vial) :** característica de una luminaria que indica cuánto alcanza la luz a lo largo de una calzada. Las luminarias se clasifican en cuanto a su alcance como de corto, medio o largo alcance.

**Altura de montaje:** la distancia entre el plano de referencia y el plano en el cual se encuentran las luminarias.

**Angulo sólido (G) :** ángulo subtendido en el centro de una esfera por un área de la superficie numéricamente igual al cuadrado del radio. Unidad: estereorradian, sr.

**Angulo visual:** ángulo subtendido por un objeto o detalle en el punto de observación; se mide normalmente en minutos de arco.

**Anillo de Landolt:** anillo bidimensional con

una abertura cuyo ancho, así como el espesor del anillo, es igual a 1/5 del diámetro exterior del anillo.

**Coefficiente de luminancia (q) :** para unas determinadas direcciones del rayo incidente y de la visual de observación, es la razón de la luminancia de un elemento de la superficie de la calzada a la iluminancia en ese elemento.

Unidad: candelas por metro cuadrado por lux;  $\text{cd/m}^2/\text{lux}$ .

**Coefficiente medio de luminancia (Q<sub>0</sub>) :** una medida de la luminosidad en la superficie de una calzada y definida por el valor promediado del coeficiente de luminancia q sobre un ángulo sólido especificado de incidencia de luz.

**Coefficiente reducido de luminancia (r) :** producto del coeficiente de luminancia (q) por  $\cos^3 \text{fl}$ , siendo fl el ángulo de incidencia de la luz.

**Comodidad visual :** el grado de satisfacción visual producido por el entorno luminoso.

**Contraste de luminancia (c) :** entre dos partes del campo visual es la diferencia relativa de luminancia de estas partes, según la fórmula:

$$C = L_1 - L_2 / L_2$$

aplicable cuando el tamaño de las dos partes difiere considerablemente y siendo  $L_1$ = luminancia de la parte más pequeña (el objeto) y  $L_2$ = luminancia de la parte más grande (el fondo).

**Control** : característica de una luminancia determinada por el valor del "índice específico" (SLI) y que indica el grado de control de deslumbramiento. Por su grado de control las luminarias se clasifican como "limitado", "moderado" o "intenso".

**Control de deslumbramiento (G)** : número que indica el grado en que está controlado el deslumbramiento molesto en una determinada instalación de alumbrado vial.

**Curva isocandela (diagrama)** : curva trazada en una esfera imaginaria con la fuente de luz en su centro que une todos los puntos que corresponden a aquellas direcciones en las cuales la intensidad luminosa tiene el mismo valor o la proyección plana de esta curva.

**Curva iso-luminancia** : lugar geométrico de los puntos de una superficie donde la luminancia tiene el mismo valor para determinadas posiciones del observador y de la fuente o fuentes de luz con relación a la superficie.

**Curva isolux** : lugar geométrico de los puntos de una superficie donde la iluminación tiene el mismo valor.

**Descarga eléctrica en un gas** : paso de una corriente eléctrica a través de gases o vapores gracias a la producción y al movimiento de partículas ionizadas bajo la influencia de un potencial eléctrico. Esto da como resultado una emisión de radiación electromagnética que tiene un papel esencial en todas las aplicaciones de este fenómeno en el alumbrado.

**Deslumbramiento** : estado de visión con

molestia o reducción en la capacidad de percibir objetos significativos o ambas cosas a la vez debido a una distribución o gama de luminancia impropias o debido a contrastes extremos en el espacio o en el tiempo.

- **Deslumbramiento molesto** : deslumbramiento que causa molestia sin reducir necesariamente la visión de objetos.

- **Deslumbramiento perturbador** : deslumbramiento que reduce la visión de objetos sin causar necesariamente molestia.

**Dispersión** :

1.- Fenómeno de cambio de velocidad en la propagación de una radiación en función de su frecuencia, lo que produce la separación de los componentes monocromáticos de una radiación compleja.

2.- Propiedad de un dispositivo óptico o de un medio para producir este fenómeno.

3.- Cantidad que expresa esta propiedad..

**Dispersión de una luminaria de alumbrado vial** : Característica de una luminaria que indica cuánto se "dispersa" la luz a través de la calzada. Las luminarias se clasifican en cuanto a su dispersión como estrechas, medias y anchas.

**Disposición a tresbolillo** : disposición según la cual las luminarias se sitúan alternativamente a cada lado de la calzada.

**Disposición central doble** : disposición según la cual las luminarias se sitúan a lo largo de la zona central de reserva de una calzada, normalmente en postes en forma de T.

**Disposición en catenaria** : disposición de luminarias suspendidas con sus planos de distribución principal perpendiculares al eje

de la calzada.

**Disposición pareada (o en oposición) :** disposición según la cual las luminarias se sitúan a cada lado de la calzada, una enfrente de otra.

**Disposición unilateral :** disposición según la cual las luminarias se sitúan a un solo lado de la calzada.

**Distancia de frenado :** distancia total recorrida por un vehículo hasta que se detiene completamente y desde que el conductor tiene la oportunidad para percatarse de que debe parar el vehículo.

**Eficacia de una fuente radiante (  $\eta_c$  ):** razón del flujo radiante (potencia) emitido por la fuente a la potencia consumida.

**Eficacia luminosa (de una fuente de luz):** cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida. Se expresa en lúmenes por watio (lm/w).

**Factor de luminancia :** relación de la luminancia media en ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) a la iluminancia media (en lux) en el alumbrado vial.

**Factor de luminancia (  $\tilde{\rho}$  ) :** en un punto de un cuerpo no autorradiante, en una dirección dada y en condiciones especificadas de iluminación es la relación entre la luminancia de este cuerpo a la de un difusor perfecto en reflexión o transmisión iluminado de una manera idéntica.

**Factor de utilización :** relación entre el flujo útil y el flujo emitido por las lámparas.

**Factor especular (  $S_1$  y  $S_2$  ) :** factor que

representa el grado de reflexión especular de una calzada.

**Flujo luminoso (  $A_v$  ) (  $A$  ) :** cantidad derivada del flujo radiante mediante una evaluación de la radiación según su efecto sobre un receptor selectivo cuya sensibilidad espectral está definida por las eficiencias luminosas espectrales normalizadas.

Unidad: lumen, lm.

**Iluminancia (  $E$  ) :** en un punto de una superficie es el cociente del flujo luminoso incidente en un elemento de la superficie que comprende el punto dividido por el área de este elemento.

Unidad: lux, lx.

**Incandescencia :** emisión de radiación visible debida a excitación térmica.

**Incremento de umbral (  $TI$  ) :** cifra que indica el grado en que está limitado en una luminaria el deslumbramiento perturbador.

**Índice específico de la luminancia (  $SLI$  ) :** parte del control de deslumbramiento ( $G$ ) que es inherente a la propia luminaria y, por lo tanto, independiente de la altura de montaje y de la luminancia de la calzada.

**Intensidad luminosa (  $I_v, I$  ) :** de una fuente en una dirección dada es el cociente del flujo luminoso que sale de una fuente difundido en un elemento de un ángulo sólido que contiene la dirección dada dividido por el elemento del ángulo sólido.

Unidad: candela, cd.

La intensidad luminosa de las luminarias se indica normalmente mediante un diagrama de intensidad luminosa o un diagrama isocandela.

**Lámpara de descarga :** lámpara que produce luz gracias a una descarga eléctrica a través de un gas, un vapor metálico o una mezcla de diversos gases y vapores.

**Lámpara de mercurio a alta presión :** lámpara de vapor de mercurio, con o sin capa de fósforo, en la cual en funcionamiento la presión parcial de vapor es del orden de  $10^5$  N/m<sup>2</sup>.

**Lámpara de mercurio a baja presión :** lámpara de vapor de mercurio, con o sin capa de fósforo, en la cual en funcionamiento la presión parcial de vapor no excede de 100 N/m<sup>2</sup>.

**Lámpara de sodio a alta presión :** lámpara de vapor de sodio en la cual en funcionamiento la presión parcial de vapor es del orden de  $10^4$  N/m<sup>2</sup>.

**Lámpara de sodio a baja presión :** lámpara de vapor de sodio en la cual en funcionamiento la presión parcial de vapor no excede de 5 N/m<sup>2</sup>.

**Ley de la inversa de los cuadrados :** la que indica que la iluminancia en un punto de un plano perpendicular a la línea que une este punto con la fuente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre fuente y plano.

$$E = I/d^2$$

**Ley del coseno :** ley que expresa que la iluminancia en un punto de un plano es proporcional al coseno del ángulo de incidencia ( el ángulo comprendido entre la dirección de la luz incidente y una línea perpendicular a este plano).

$$E = I/d^2 \cos \theta$$

**Longitud de onda (  $\lambda$  ) :** distancia en el sentido de la propagación de una onda periódica entre dos puntos sucesivos en los cuales la fase es la misma ( en el mismo instante ).

Unidad: metro, m.

**Luminancia ( L ) :** en una dirección dada, en un punto de la superficie de una fuente o en un punto del trayecto del haz luminoso es el cociente del flujo luminoso que sale, llega o atraviesa un elemento de superficie en un determinado punto y radiado en las direcciones definidas por un cono elemental que contiene las mismas dividido por el producto del ángulo sólido del cono y el área de la proyección ortogonal del elemento de la superficie en un plano perpendicular a la dirección dada.

Unidad: candela por m<sup>2</sup>, cd / m<sup>2</sup>

**Luminancia equivalente de adaptación :** valor de la luminancia uniforme enfrente de un observador que produciría el mismo grado de perceptibilidad que se tiene con una distribución real de luminancia no uniforme que se está considerando.

**Luminancia equivalente de velo:** luminancia que tiene que sumarse, por superposición, tanto a la luminancia de fondo como a la del objeto con el fin de que la diferencia umbral de luminancias en ausencia de deslumbramiento perturbador sea igual que la obtenida en presencia de dicho deslumbramiento.

**Luminaria :** aparato que distribuye, filtra o transforma la radiación luminosa procedente de una lámpara o lámparas y que incluye

todos los elementos necesarios para fijar y proteger estas lámparas y para conectarlas a la fuente de energía.

**Luminiscencia** : fenómeno de emisión de radiación electromagnética originado por la materia, la cual en ciertas longitudes de onda o en ciertas regiones limitadas del espectro excede la emisión térmica de esta materia a la misma temperatura. Esta radiación es propia de la materia emitente.

**Potencia radiante (  $A_c$  ,  $A$  )** : potencia emitida, transferida o recibida en forma de radiación.

Unidad : vatio, W.

**Reflectancia ( factor de reflexión )** : relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo incidente.

**Reflexión** : devolución de radiación por una superficie sin cambio de frecuencia de los componentes monocromáticos que la integran.

**Uniformidad global (  $U_o$  )** : razón de la luminancia mínima de un determinado tramo de calzada a la luminancia media del mismo.

**Uniformidad longitudinal (  $U_L$  )** : razón de la luminancia mínima a la máxima a lo largo de una línea paralela al eje de la calzada pasando por la posición del observador.

**Utilancia (  $U$  )** : relación entre el flujo útil y el flujo que sale de una luminaria.

**Velocidad de percepción** : valor recíproco del tiempo mínimo que ha de estar expuesto un objeto para que sea detectada su presencia.

**Zona de transición en un túnel** : zona intermedia entre la zona de umbral y la parte interior donde puede disminuirse gradualmente la luminancia para facilitar la adaptación visual al pasar de la luminancia exterior a la interior de valor notablemente más bajo.

**Zona umbral de un túnel** : parte inicial de un túnel que debe estar alumbrada con el fin de permitir, a los conductores que llegan, la percepción oportuna - y con tiempo de reacción - de los posibles obstáculos.