

**Infraestructura del transporte terrestre  
Diseño Geométrico**

**Introducción: Factores que  
influencian el diseño**

**Ing. Roberto D. Agosta**

**[robertoagosta@alum.calberkeley.org](mailto:robertoagosta@alum.calberkeley.org)**

**Ing. Arturo Papazian**

**[apapazian@fi.uba.ar](mailto:apapazian@fi.uba.ar)**



# Contenido

- **Conceptos básicos.**
- **Factores que influyen en el diseño vial.**
- **Criterios generales de diseño.**
- **Perfil transversal**
- **Trazado altimétrico: curvas verticales.**
- **Trazado planimétrico: curvas horizontales/peraltes.**
- **Desagües y drenajes.**
- **Movimiento de suelos.**

# Definiciones

El **diseño geométrico** de la carretera se refiere a los cálculos y análisis hechos por los ingenieros del transporte para **ajustar la carretera a la topografía del lugar**, satisfaciendo estándares de **seguridad**, de **servicio** y de **funcionamiento**.

Generalmente, tiene los siguientes objetivos:

1. **Determinar la traza** de la carretera propuesta.
2. **Incorporar características físicas al alineamiento** del camino para asegurar que los conductores tienen suficiente visión del camino (y de los obstáculos) hacia adelante de modo que puedan ajustar su velocidad de viaje para mantener seguridad y calidad de conducción.
3. Proporcionar una base **para evaluar y planificar la construcción de la sección transversal** de la carretera propuesta.

# Definiciones

**Diseño geométrico:** se refiere al dimensionamiento de los elementos físicos de la infraestructura, diferenciándose de otros aspectos del diseño, como el estructural.

**Comprende 5 aspectos básicos:**

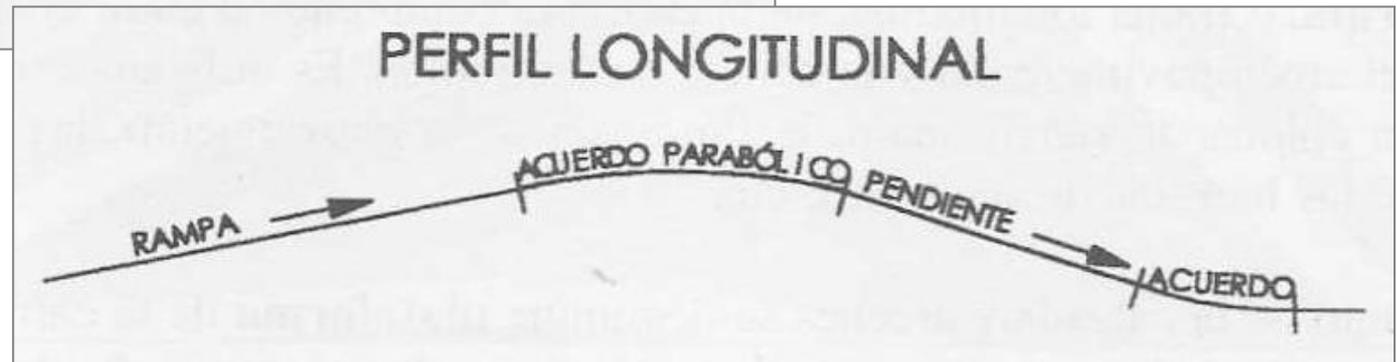
- ❑ sección transversal del camino;
- ❑ curvas horizontales (planimetría);
- ❑ curvas verticales (altimetría);
- ❑ peraltes; y
- ❑ desagües y drenajes.

**Trazado:** Definición - en planta y en elevación - de las coordenadas de la **rasante** del camino.

**Rasante:** Línea de eje del camino a la altura de la calzada.

# Definición del trazado de una carretera

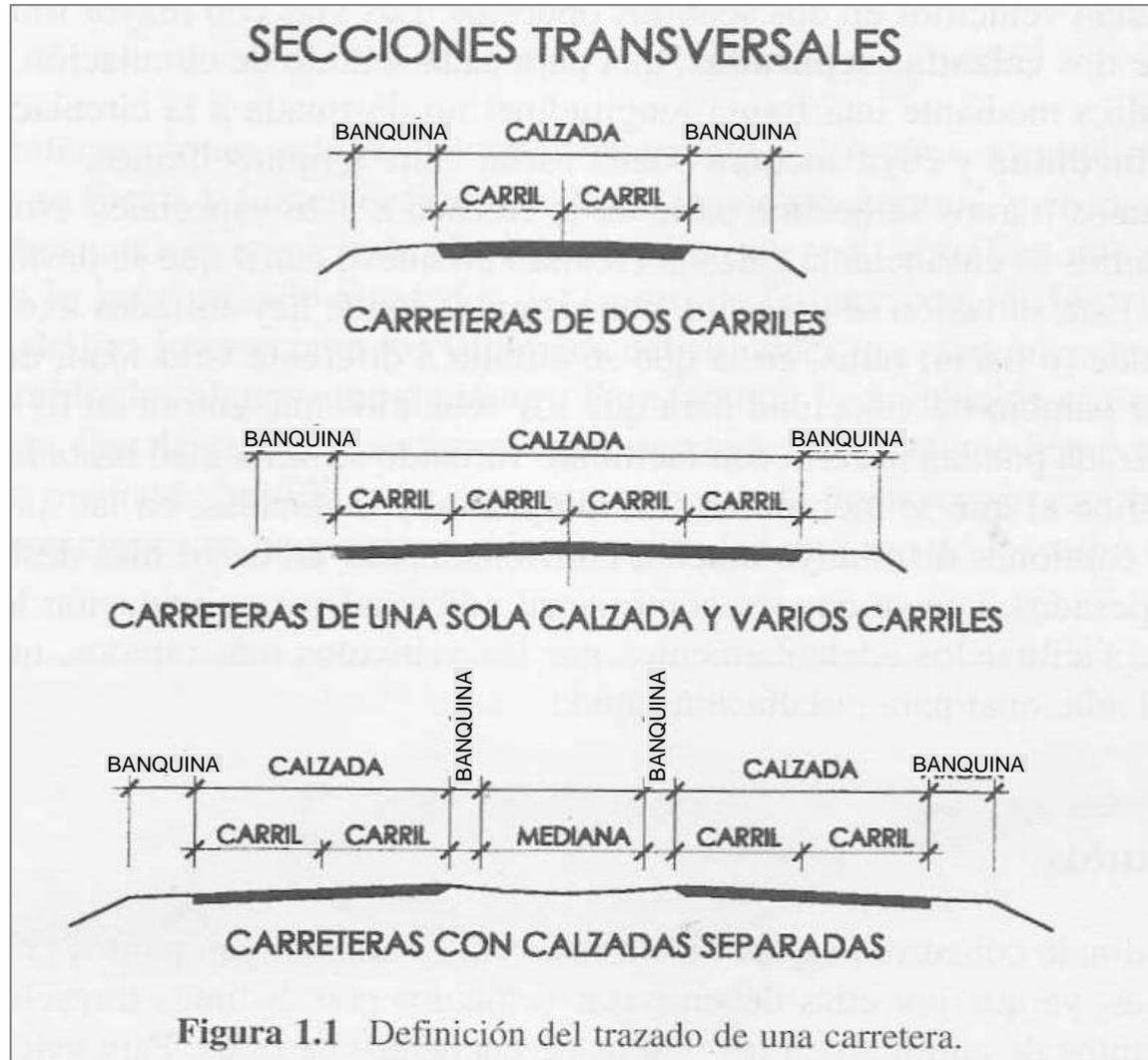
## Planimetría y altimetría



Fuente: Ingeniería de Carreteras, Tomo I, Kraemer et al., Ed. Mc Graw Hill, 2004

# Definición del trazado de una carretera

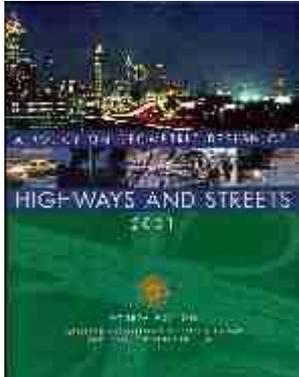
## Planimetría y altimetría



Fuente: Ingeniería de Carreteras, Tomo I, Kraemer et al., Ed. Mc Graw Hill, 2004

# Bibliografía

## The Green Book 2001



### A Policy on Geometric Design of Highways and Streets

American Association of State Highway and Transportation Officials  
(AASHTO)

### THE 2001 GREEN BOOK

**Diseño Geométrico de Carreteras y Calles, AASHTO-1994. Traducción Autorizada EGIC-1997**

- **TOMO I - Elementos**

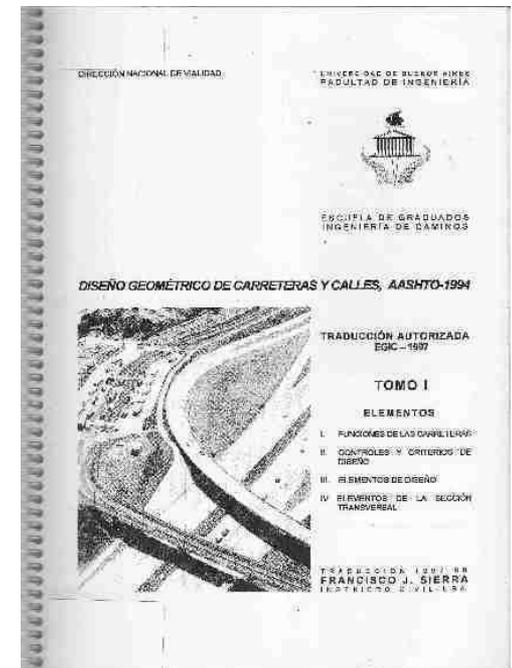
- I. Funciones de las carreteras
- II. Controles y criterios de diseño
- III. Elementos de diseño
- IV. Elementos de la sección transversal

- **TOMO II - Carreteras, calles y autopistas**

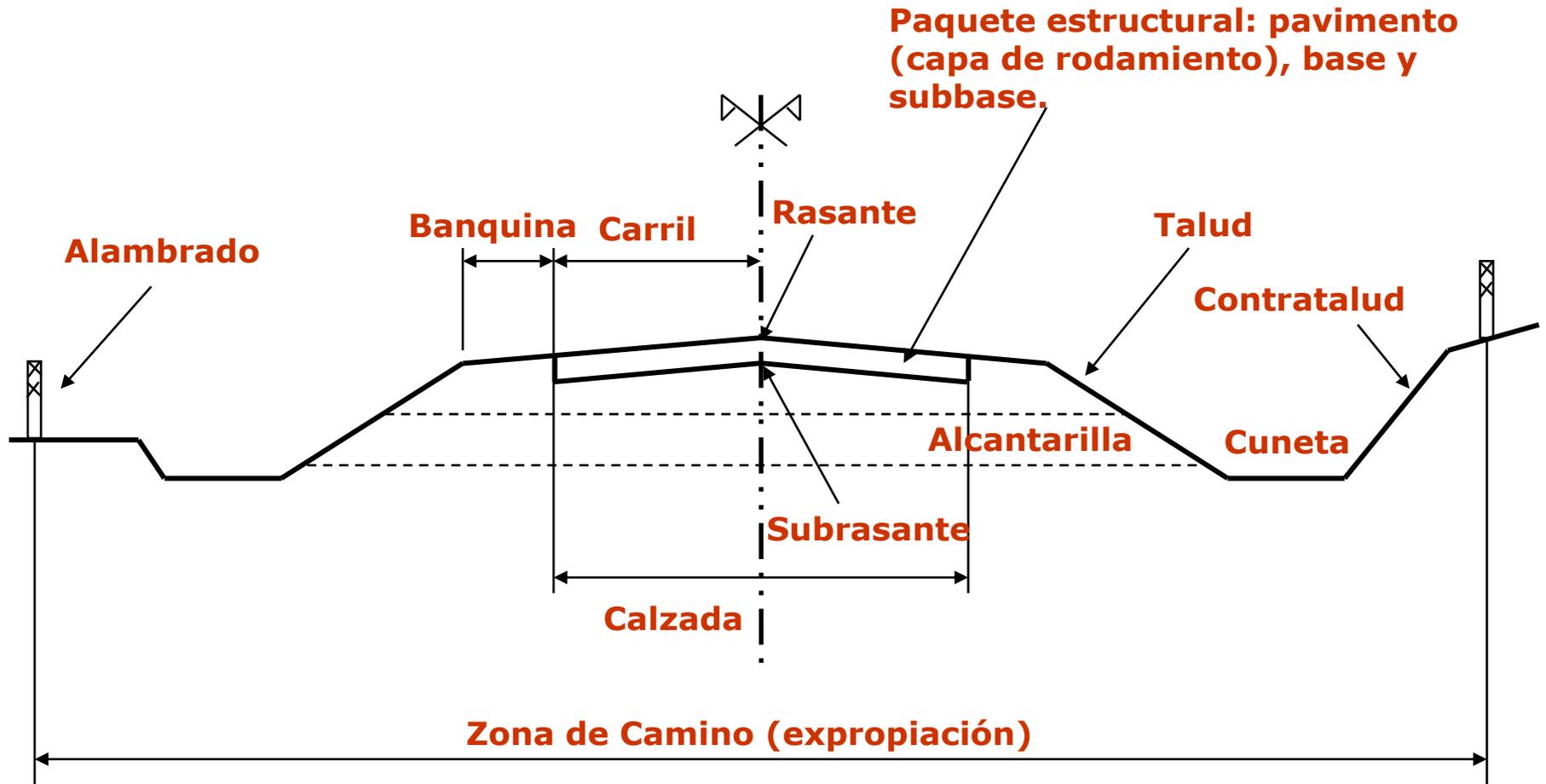
- V. Caminos y calles locales
- VI. Caminos y calles colectores
- VII. Caminos y calles arteriales rurales y urbanos
- VIII. Autopistas

- **TOMO III - Intersecciones y distribuidores**

- IX. Intersecciones a nivel
- X. Separaciones de nivel y distribuidores



# Elementos de la sección transversal de una obra vial



# Factores que influyen el diseño vial

## Resumen

- **Funcionalidad de la vía:**
  - ❑ categoría (especial y de I a V)
  - ❑ clasificación funcional
  - ❑ velocidad de diseño.
- **Tránsito:**
  - ❑ volumen esperado de tránsito
  - ❑ composición vehicular (clasificación)
  - ❑ nivel de servicio que se va a suministrar.
- **Vehículo de diseño**
- **Características de manejo.**
- **Topografía / geotecnia / clima:**
  - ❑ terreno llano, ondulado o montañoso.
  - ❑ tipos de suelos y yacimientos de materiales naturales.
  - ❑ ladera del sol en zonas de heladas.
- **Consideraciones de seguridad**

# Factores que influyen el diseño vial

## Resumen

### Otros factores:

- **Costos unitarios de insumos.**
- **Disponibilidad de recursos financieros.**
- **Consideraciones sociales:**
  - ❑ aislamiento de barrios
  - ❑ estética de diseño
- **Consideraciones ambientales:**
  - ❑ áreas sensibles
  - ❑ medidas de mitigación

**Estos factores son importantes, aunque en general se toman en consideración en las etapas preliminares de diseño.**

# Factores que influyen en el diseño vial

## Funcionalidad de la vía: movimientos

### Jerarquías de movimientos:

- movimiento principal;
- transición;
- distribución;
- colección;
- acceso; y
- terminación.

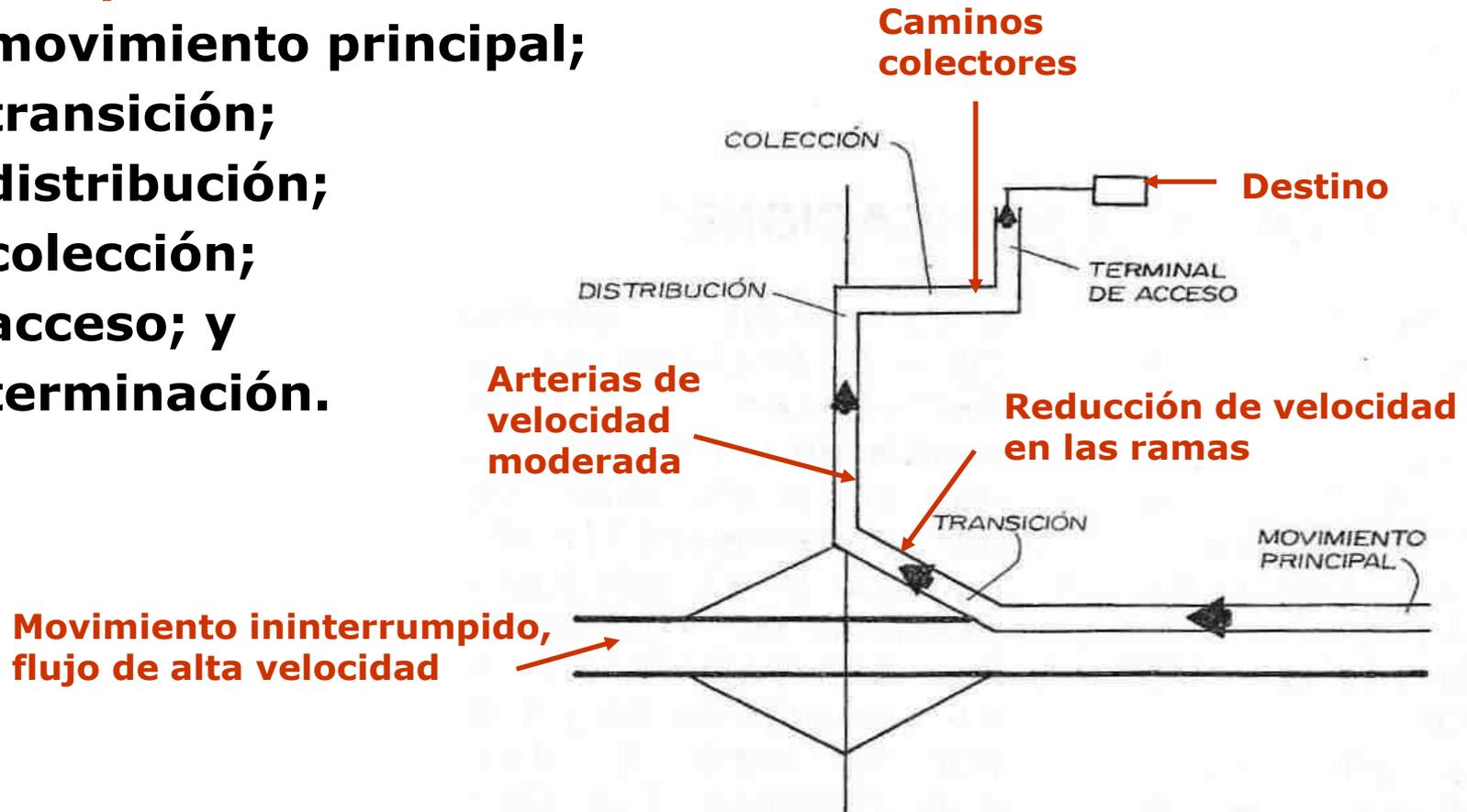


Figura I-1. Jerarquía de movimientos.

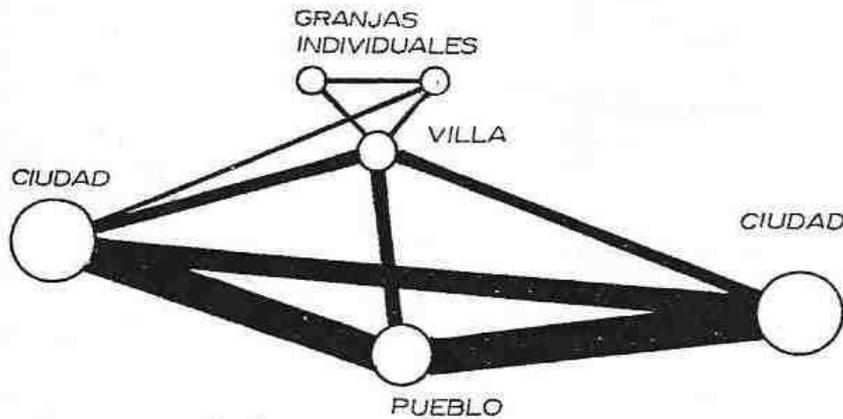
# Factores que influyen en el diseño vial

## Funcionalidad de la vía: relaciones funcionales

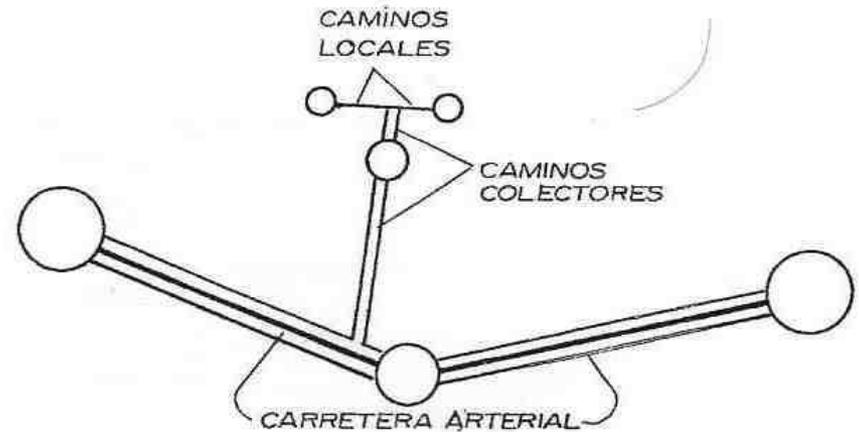
### Categorización de viajes



### Clasificación funcional



(A) LÍNEAS DE DESEO DE VIAJES



(B) RED DE CAMINOS PREVISTA

### Clasificación s/área:

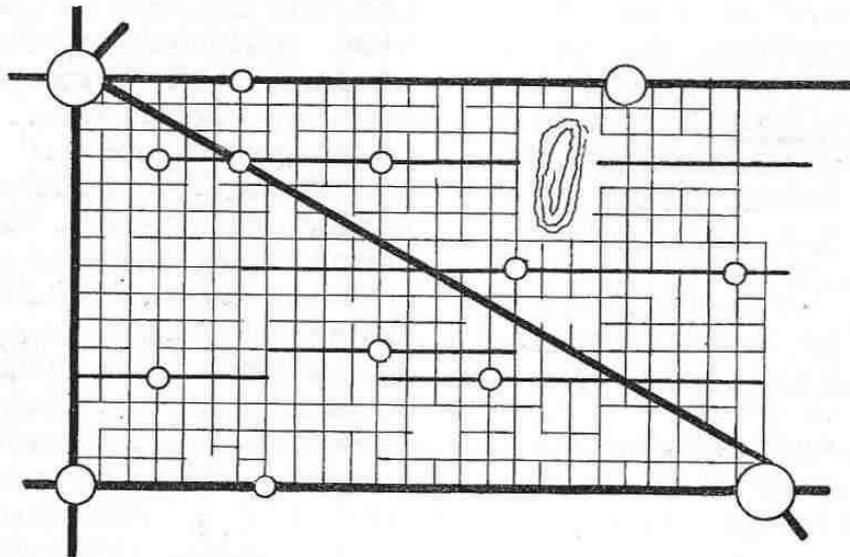
- Caminos rurales
- Caminos urbanos

≠ Uso del suelo  
≠ Densidad población

≠ Patrones de viaje

# Factores que influyen en el diseño vial

## Clasificación funcional de caminos rurales



REFERENCIAS :

-   CIUDADES O PUEBLOS
-  VILLAS
-  ARTERIALES
-  COLECTORES
-  LOCALES

### ● Zona rural

#### □ Arterias principales

- Autopistas
- Otras arterias principales

#### □ Arterias menores

#### □ Colectoras rurales

#### □ Caminos locales rurales

Figura I-3.

Ilustración esquemática de una red de carreteras rurales clasificada funcionalmente.

# Factores que influyen en el diseño vial

## Sistema funcional de vías urbanas

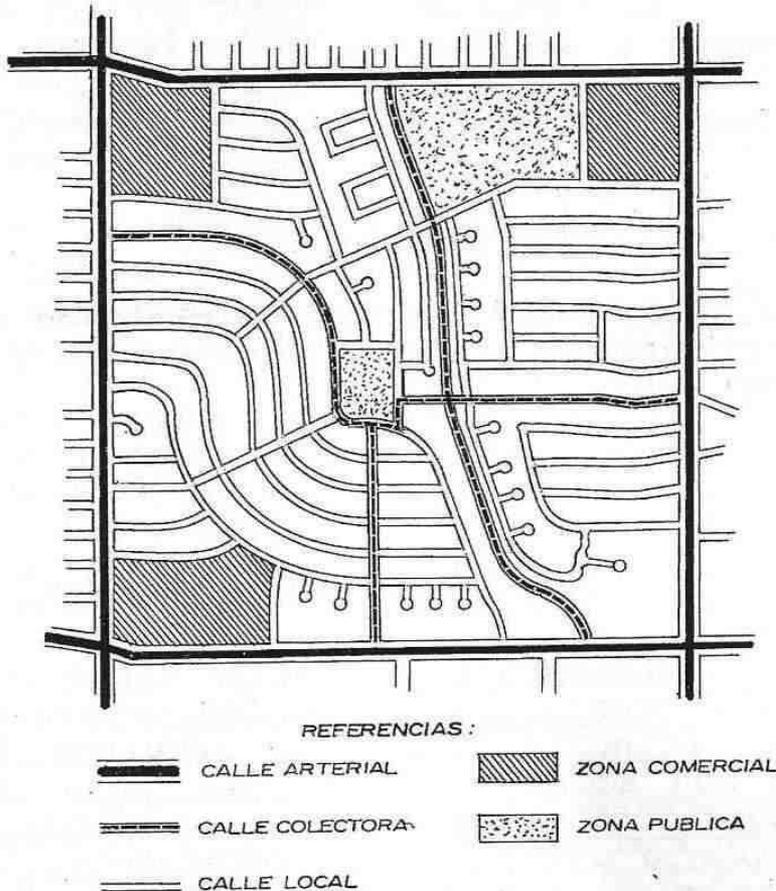


Figura I-4.

Ilustración esquemática de una parte de una red de calles suburbanas.

### ● Zona urbana

- Arterias principales urbanas
  - Autopistas
  - Avenidas, calles principales
- Arterias menores
- Calles colectoras
- Calles locales

# Factores que influyen en el diseño vial

## Funcionalidad de la vía: funciones de las calles

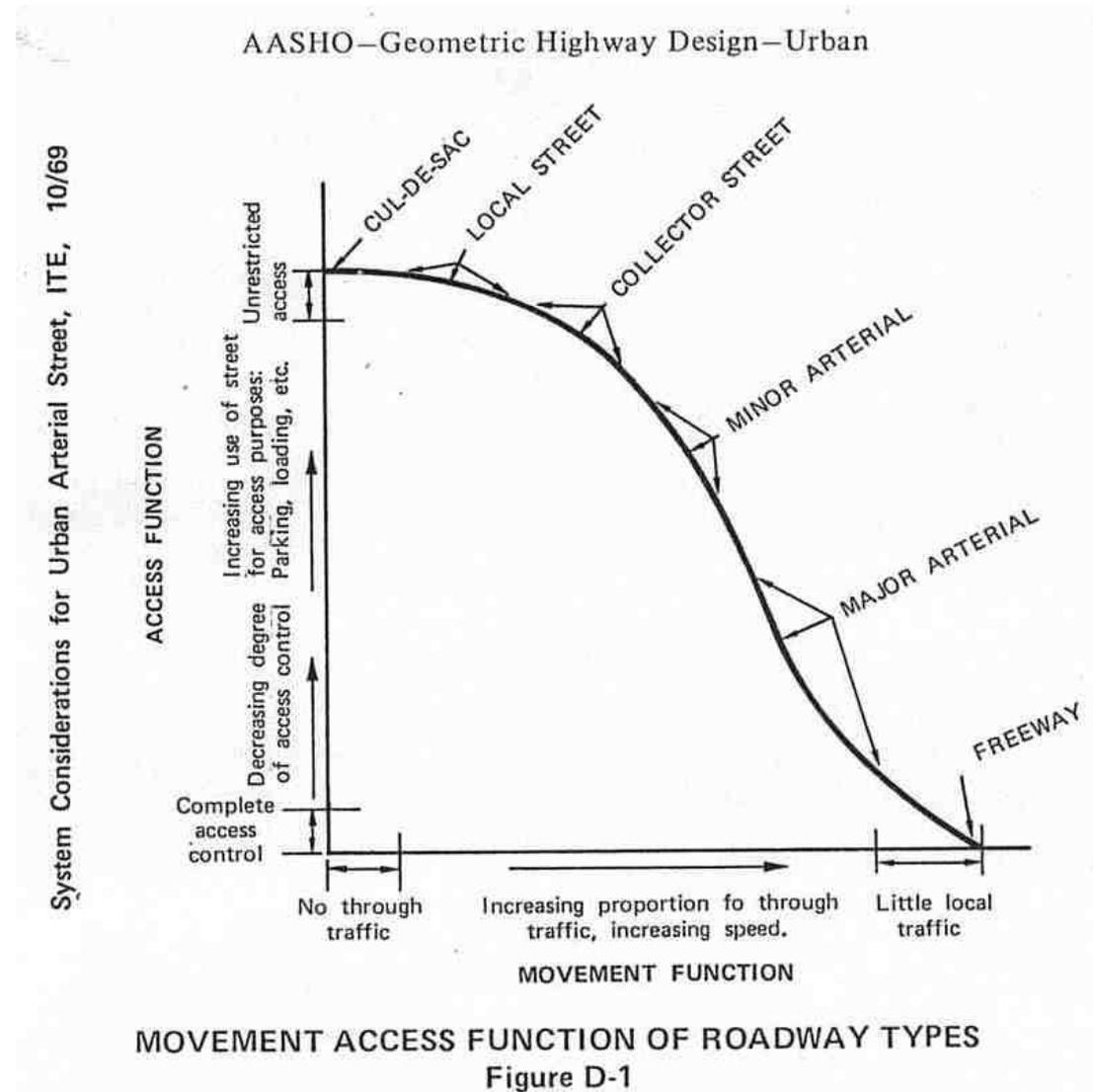
<b>SOCIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es la que desempeña la vía pública como ámbito de relaciones que ligan la vida de cada persona, vecino, ciudadano, con la de su comunidad, vecindario o ciudad.</li></ul>
<b>AMBIENTAL O ECOLOGICA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es la que cumple la vía al proporcionar luz, aire y un medio ambiente propicio en torno a los edificios.</li></ul>
<b>ACCESO</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se refiere a la utilización de la vía en el componente peatonal de un viaje vehicular, ya sea de personas o de bienes, tanto en los extremos de viaje como en los transbordos.</li><li>• También comprende el ingreso de los vehículos, o su salida, a o de edificios y predios, así como el estacionamiento en la adyacencia de éstos</li></ul>
<b>TRÁNSITO O MOVILIDAD</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es la que cumple la vía en tanto sirve a los movimientos vehiculares, ya sea de una parte de la ciudad a otra, como desde o hacia el exterior de la misma.</li></ul>

# Factores que influyen en el diseño vial

## Funcionalidad de la vía: acceso vs. movilidad

Tipos de vías según el control de acceso y la participación de tránsito pasante

**ACCESO**  
**VS.**  
**MOVILIDAD**



# Factores que influyen el diseño vial

## Tránsito: variables asociadas

- **Transito Medio Diario Anual (TMDA)**
- **Volumen Horario de Diseño (VHD)**
- **Nivel de Servicio de Diseño**
- **Distribución direccional (D)**
- **Porcentaje de camiones (%C)**

# Factores que influyen en el diseño vial

## Tránsito: TMDA y VHD

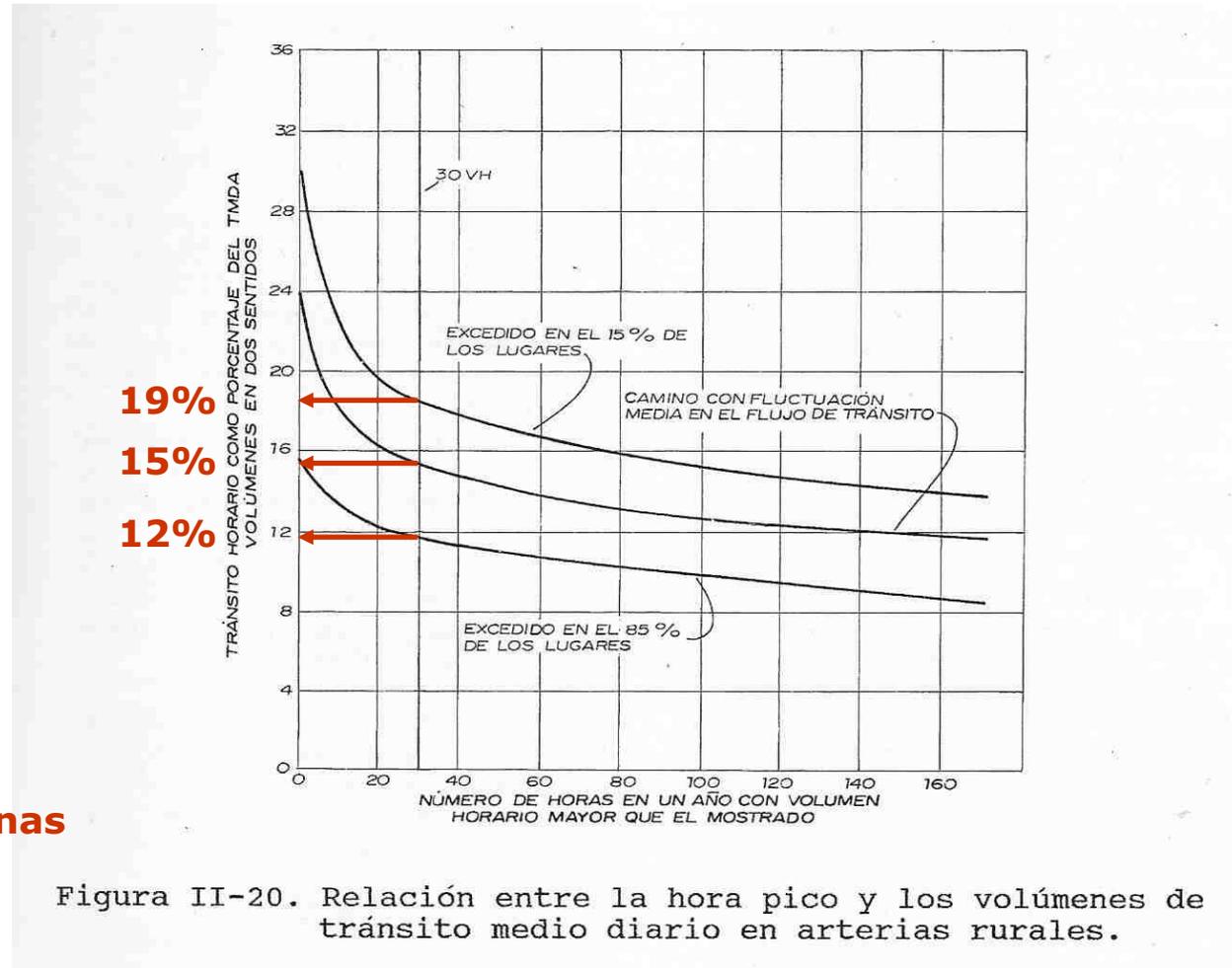
### Transito Medio Diario Anual

$$TMD = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

$$TMDA = \frac{\sum_{i=1}^{365} V_i}{365}$$

- 8-12% carreteras urbanas
- 10-15% carreteras suburbanas
- 12-18% vías rurales

### Volumen Horario de Diseño



# Factores que influyen el diseño vial

## Tránsito: Nivel de Servicio de Diseño

### Nivel de Servicio de Diseño

Tipo de vía	Localización rural		Localización urbana y suburbana
	Llana u ondulada	Montañosa	
Autopista	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
Arteria	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
Colectora	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
Local	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>



# Factores que influyen en el diseño vial

## Características de diseño geométrico de caminos rurales

Categoría del Camino	Características Básicas			Topografía	Velocidad Directriz [km/h]	Peralte Máximo [%]	Radio mínimo	
	TMD Diseño	Control de Accesos	Nº de Trochas				Deseable [m]	Absoluto [m]
Especial	>15.000	Total	>(2+2)	Llanura	130	8%	1.200	700
				Ondulado	110	8%	800	500
I	5.000 a 15.000	Total o parcial	2+2	Llanura	130	8%	1.200	700
				Ondulado	110	8%	800	500
				Montañosa	80	10%	550	220
II	1.500 a 5000	Parcial	2	Llanura	120	8%	900	600
				Ondulado	100	8%	600	400
				Montañosa	70	10%	250	160
III	500 a 1.500	Parcial o sin control	2	Llanura	110	8%	800	500
				Ondulado	90	10%	450	300
				Montañosa	60	10%	180	120
IV	150 a 500	Sin control	2	Llanura	100	8%	600	400
				Ondulado	70	10%	250	160
				Montañosa	40	10%	80	50
V	<150	Sin control	2	Llanura	90	8%	520	300
				Ondulado	50	10%	120	80
				Montañosa	30	10%	40	25

# Factores que influyen en el diseño vial

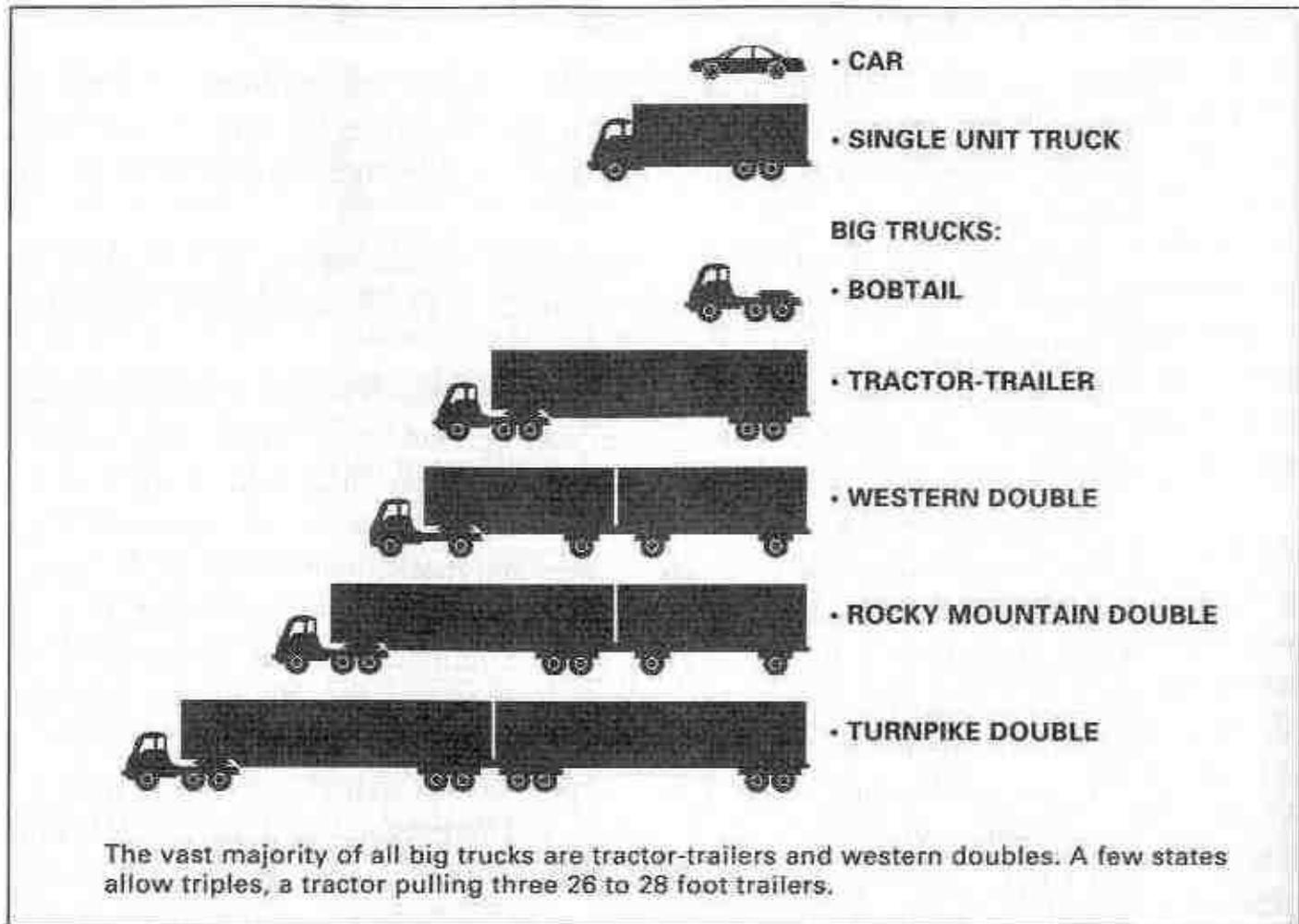
## Tamaño y características de los vehículos

### Clasificación de la AASHTO

<b>P</b>	<b>Automóvil</b>	
<b>SU</b>	<b>Camión liviano</b>	
<b>BUS</b>	<b>Autobús</b>	
<b>A-BUS</b>	<b>Autobús articulado</b>	
<b>WB-12</b>	<b>Semirremolque intermedio</b>	<b>1-1-2</b>
<b>WB-15</b>	<b>Semirremolque grande</b>	<b>1-2-2</b>
<b>WB-18</b>	<b>Semirremolque-Remolque completo Doble fondo</b>	
<b>WB-19</b>	<b>Semirremolque interestatal</b>	<b>1-2-2</b>
<b>WB-20</b>	<b>Semirremolque interestatal</b>	<b>1-2-2</b>
<b>WB-29</b>	<b>Semirremolque triple</b>	<b>1-1-1-1-1-1-1</b>
<b>WB-35</b>	<b>Semirremolque doble Turnpyke</b>	<b>1-2-2-2-2</b>
<b>MH</b>	<b>Casa rodante</b>	
<b>P/T</b>	<b>Coche y remolque caravana</b>	
<b>P/B</b>	<b>Coche y remolque bote</b>	
<b>MH/B</b>	<b>Casa rodante y remolque bote</b>	

# Factores que influyen en el diseño vial

## Tamaño y características de los vehículos



**Figure 4-4** Various classes of vehicles that use U. S. highways. (Courtesy Insurance Institute for Highway Safety.)

# Factores que influyen en el diseño vial

## Tamaño y características de los vehículos - DNV



11



12

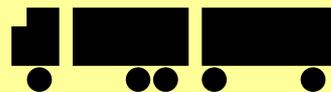
**SIN ACOPLADO**



11-11



11-12



12-11



12-12

**CON ACOPLADO**

**LIVIANOS**

**OMNIBUS**



111



112



113



122



123

**SEMIRREMOLQUE**

# Factores que influncian el diseño vial

## Tamaño y características de los vehículos

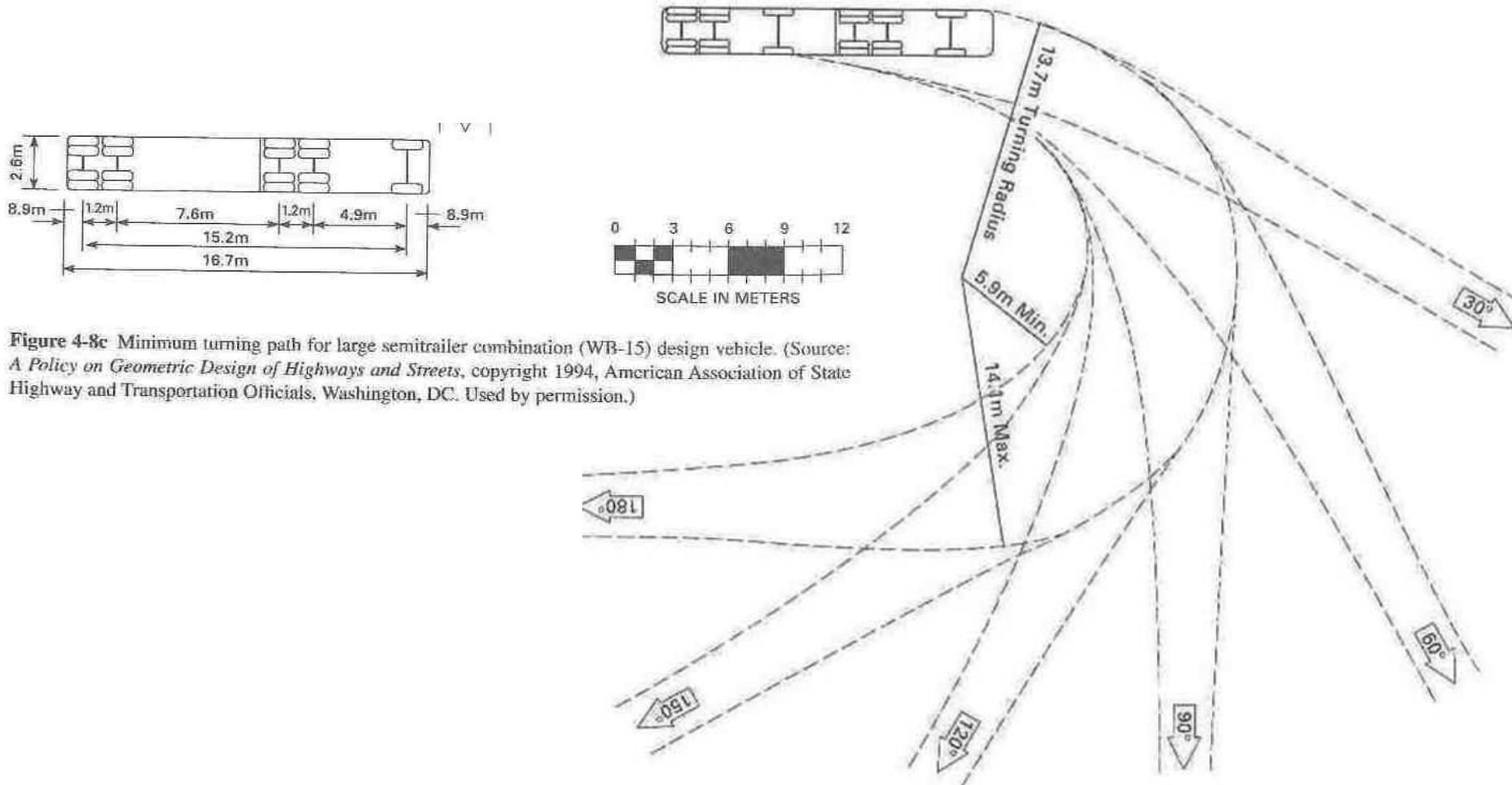


Figure 4-8c Minimum turning path for large semitrailer combination (WB-15) design vehicle. (Source: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, copyright 1994, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission.)

# El contracarril para colectivos en la avenida Rivadavia no duró ni media mañana

**15:58** Comenzó hoy temprano, pero se suspendió porque no tuvieron en cuenta el radio de giro en la esquina de Jean Jaures: los colectivos no alcanzan a doblar. La medida había sido tomada para desviar 5 líneas que antes circulaban por la calle Bartolomé Mitre.

[Fotos](#)[Videos](#)

INFOGRAFIA. El contracarril diseñado por el gobierno de la Ciudad.

# Factores que influyen en el diseño vial

## Tamaño y características de los vehículos

lanacion.com

### Una medida de tránsito que duró menos de 24 horas

El gobierno porteño había decidido instalar hoy un contracarril en Rivadavia para los colectivos que no pueden circular por Bartolomé Mitre, cerrada hace tres años; el responsable del área explicó a **LANACION.com** los inconvenientes que frustraron la iniciativa

Viernes 11 de abril de 2008 | 11:10

Noticias de Información general: anterior | siguiente

#### FOTO



Foto: DyN

La medida era de por sí polémica: instalar un contracarril "a la inglesa" (o sea, por la derecha) en Rivadavia entre Jean Jaures y Ecuador para algunas de las líneas de colectivos que solían circular por Bartolomé Mitre, cerrada al tránsito desde la tragedia de Cromagnon.

El gobierno porteño había anunciado ayer que a partir de hoy se pondría en práctica, pero antes de las 11 tuvo que suspender la medida por motivos diversos, entre ellos, que los conductores no estaban enterados y que los colectivos no podían doblar

porque no les daba el radio de giro.

# Factores que influyen en el diseño vial

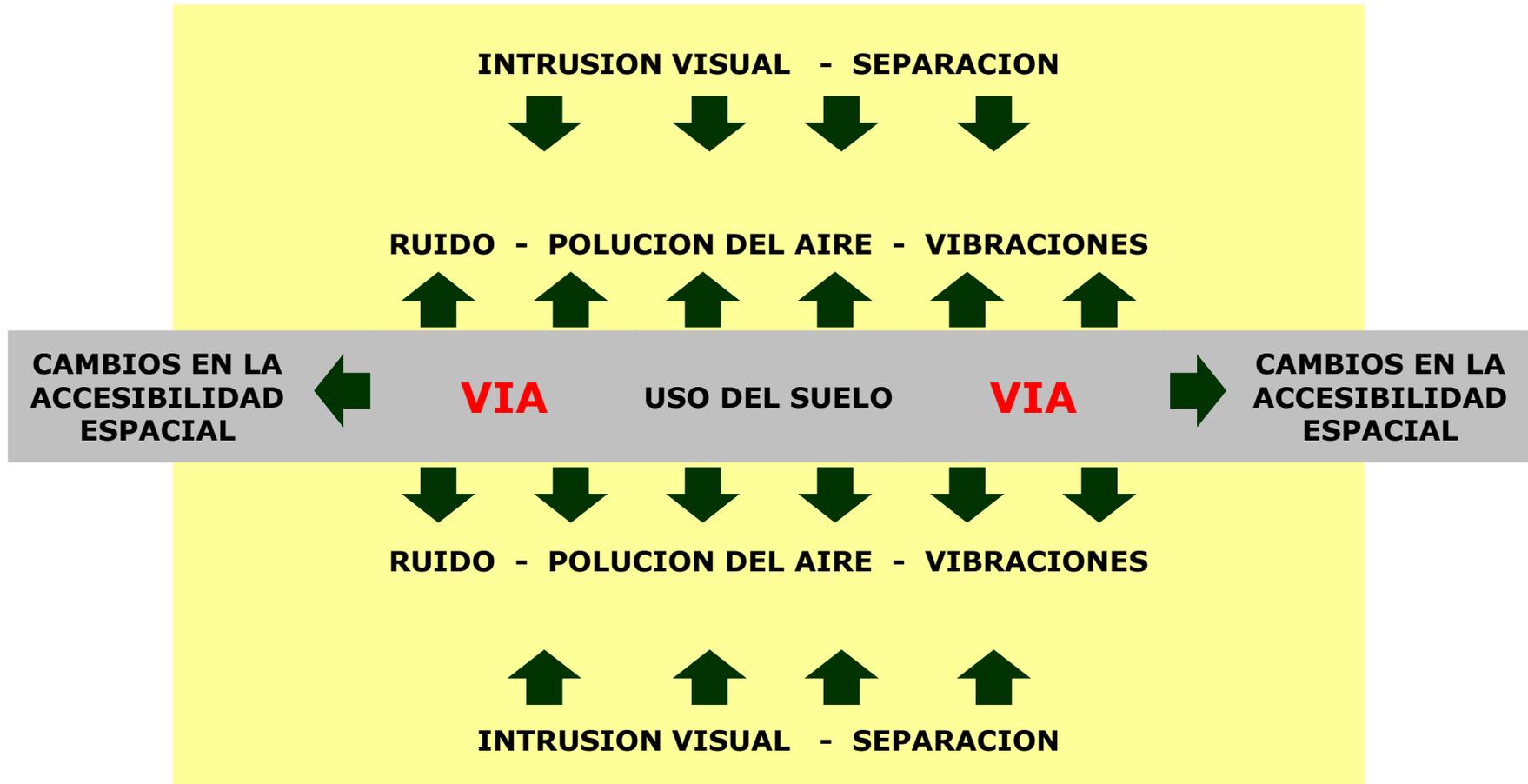
## Consideraciones ambientales: impactos del transporte

<b>USO DE RECURSOS</b> causas: infraestructura / vehículos	<b>ESPACIO URBANO</b>
	<b>ENERGIA</b>
	<b>PAISAJE</b>
<b>DETERIORO DEL MEDIO SOCIAL Y FISICO</b>  causas: infraestructura / vehículos	<b>ACCIDENTES</b>
	<b>RUIDO</b>
	<b>CONTAMINACION</b>
	<b>VIBRACIONES</b>
	<b>SEPARACION</b>
	<b>INTIMIDACION, DEMORAS PEATONALES</b>
	<b>INTRUSION VISUAL</b>
	<b>EMISIONES ELECTROMAGNETICAS</b>
	<b>"PLANNING BLIGHT"</b>

# Factores que influyen en el diseño vial

## Consideraciones ambientales: impacto ambiental

### Representación Esquemática



# Factores que influyen en el diseño vial

## Consideraciones ambientales: mitigación

**Mitigación:** atenuación del impacto mediante acciones intramodales; intermodales; y planeamiento integral uso del suelo y transporte.

- **Mitigación intramodal:**

- ❑ **Tecnología vehículos y sistemas de control**

- ❑ **Operación**

- utilización de la capacidad
    - modalidad de operación

- ❑ **Infraestructura**

- emplazamiento
    - protección

- ❑ **Normas**

- **Mitigación intermodal:**

- ❑ **Partición modal de los viajes**

- **Planeamiento integral uso del suelo y transporte:**

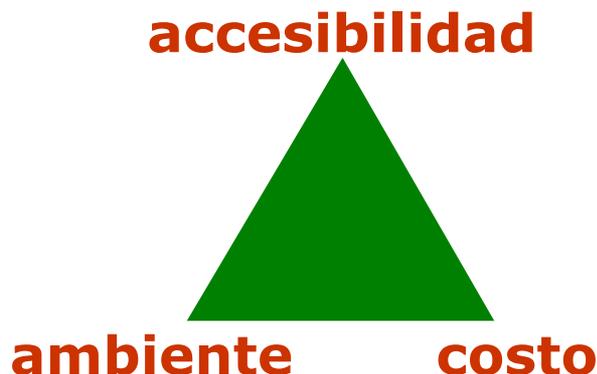
- ❑ **Zonificación**

- ❑ **Disminución de necesidades de transporte**

# Factores que influyen el diseño vial

## Consideraciones ambientales: *trade-offs* mitigación

- **Interacción entre distintos tipos de impactos**
  - Enfoque sistémico
  - Evaluación integral
- **Ejemplos:**
  - seguridad vs. consumo
  - consumo energético vs. ruido
  - emisiones (velocidad, congestión) vs. seguridad, ruido
  - consumo energético (aditivos) vs. Contaminación
- **LEY DE BUCHANAN**



### Estudio analítico de los impactos:

- Unidad de medida
- Criterio de evaluación
- Correlación causa/efecto
- Estándar ambiental
- Capacidad ambiental

# Factores que influyen en el diseño vial

## Consideraciones ambientales: estudio analítico de impactos

<b>Unidad de Medida</b>	<p>Unidad o indicador utilizado para cuantificar el fenómeno.</p> <p><b>Indicador:</b> Una clase, grupo o conjunto de fenómenos potencialmente observables que representa una definición conceptual con el propósito de medir una variable.</p>
<b>Criterio de evaluación</b>	<p>Correlación entre el nivel del efecto y el impacto (molestia o daño que causa).</p> <p>Se emplea la unidad de medida adoptada para cada efecto.</p>
<b>Correlación causa / efecto</b>	<p>Correlación entre la magnitud del tránsito y el nivel de efecto o impacto.</p> <p>Se emplea el criterio de evaluación adoptado. Modelos de simulación. Permite predecir y evaluar .</p>
<b>Estándar ambiental</b>	<p>Máximo nivel de impacto aceptable.</p> <p>Se establece para cada tipo de impacto, en general mediante normas o recomendaciones.</p>
<b>Capacidad ambiental</b>	<p>Número máximo de vehículos que pueden circular por una vía en un lapso determinado, sin que se supere el estándar ambiental correspondiente a un dado tipo de impacto.</p>

# Factores que influyen en el diseño vial

## Consideraciones ambientales: ruido

### Causas

Estudios empíricos permiten correlacionar:

- ❑ características de la vía (ancho, pendiente)
- ❑ características del tránsito (volumen, composición, velocidad)
- ❑ distancia entre la fuente y el receptor.

### Características del tránsito (ejemplos):

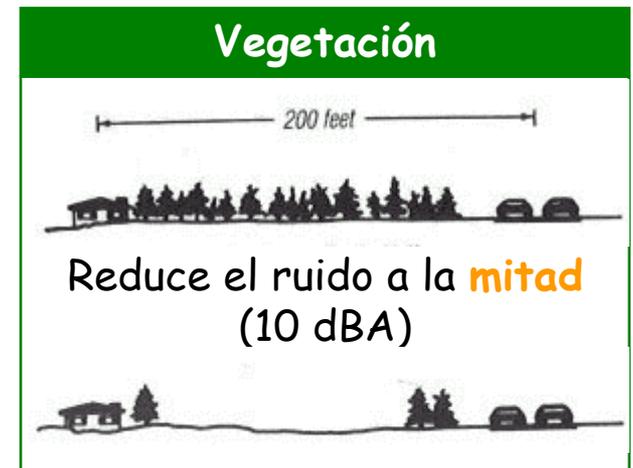
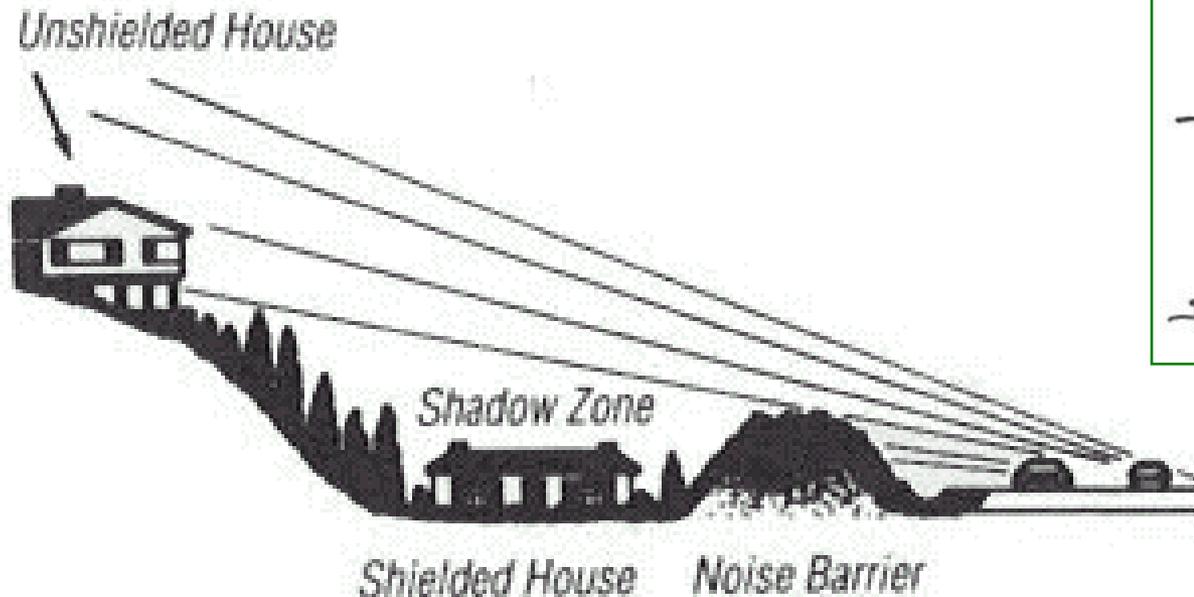


# Factores que influyen en el diseño vial

## Consideraciones ambientales: ruido

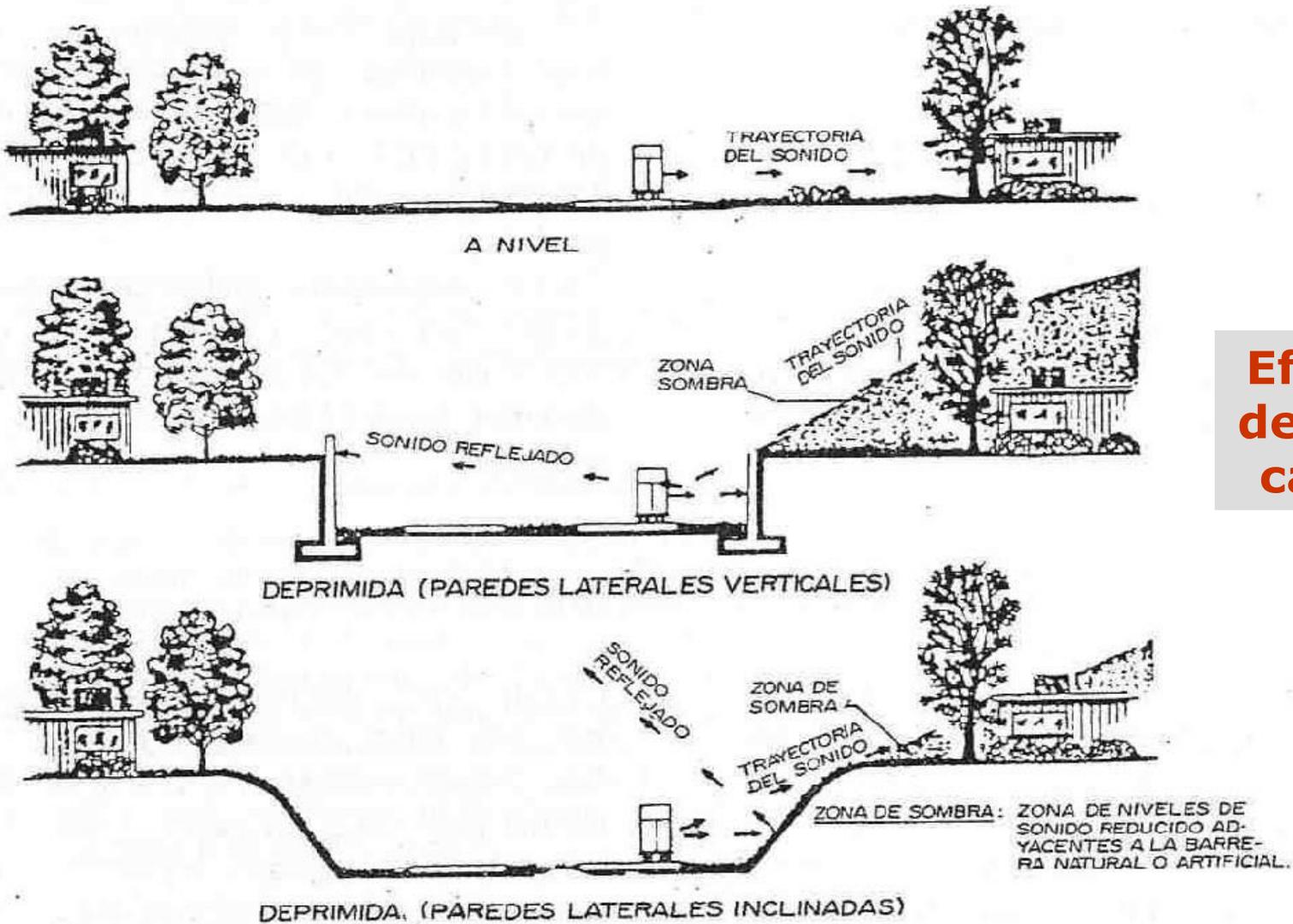
### Características geométricas y de diseño:

La intensidad sonora disminuye con el cuadrado de la distancia (si la fuente es puntual) o con la distancia (si la fuente es lineal).



# Factores que influncian el diseño vial

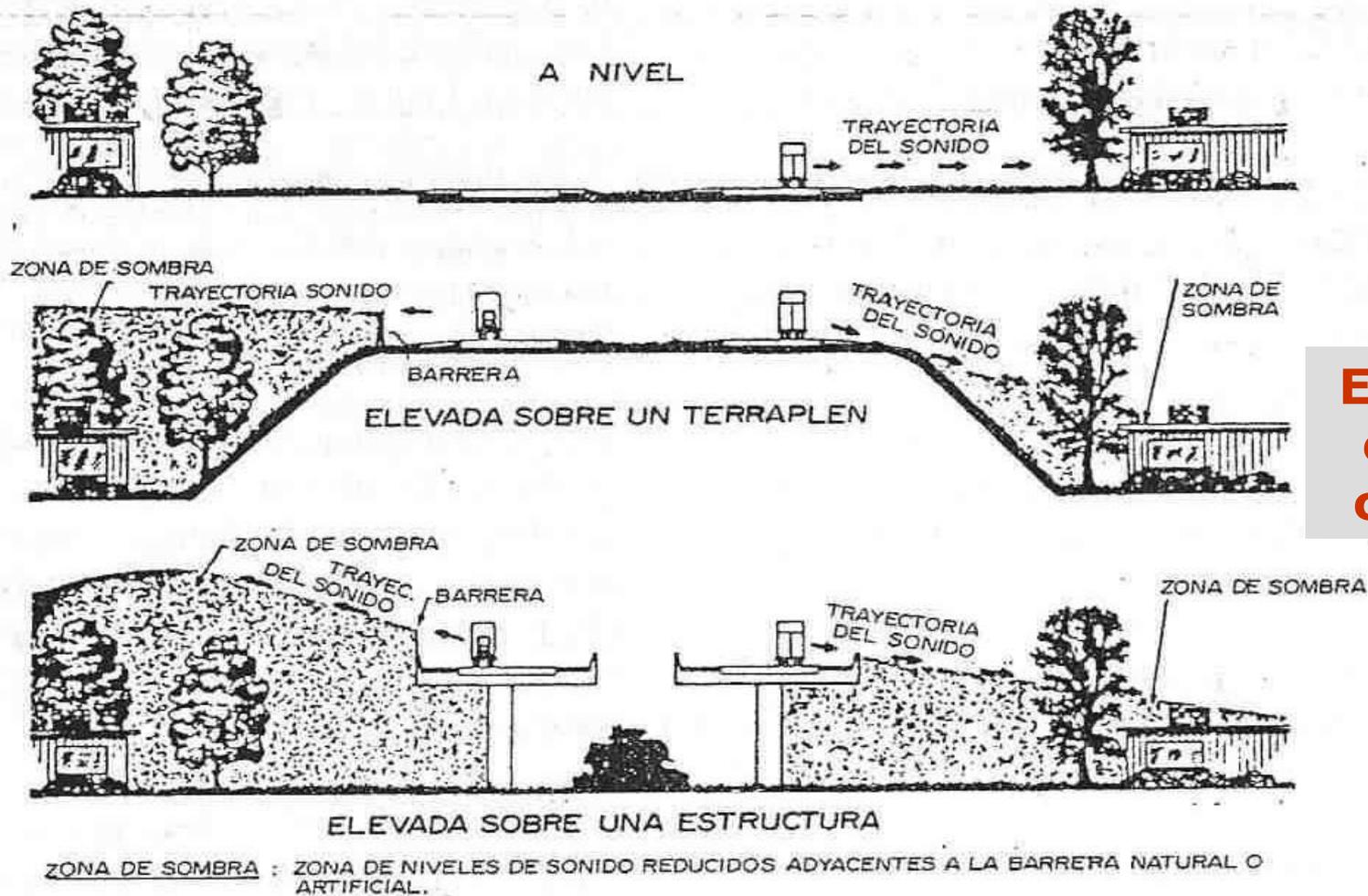
## Consideraciones ambientales: ruido



**Efectos de deprimir la carretera**

# Factores que influncian el diseño vial

## Consideraciones ambientales: ruido



**Efectos de elevar la carretera**

# Factores que influyen en el diseño vial

## Seguridad vial: La matriz de Haddon

FACTOR \ FASE	HUMANO	VEHÍCULO	AMBIENTAL
ANTES DEL CHOQUE			● ← <b>Diseño geométrico</b>
CHOQUE			● ← <b>Diseño geométrico</b>
DESPUES DEL CHOQUE			

FIGURA 1.3

La matriz de Haddon

FASE		FACTORES		
FASE		HUMANO	VEHÍCULOS Y EQUIPAMIENTO	AMBIENTAL
Antes del choque	Prevención de los choques	Información Actitudes Disminución de las facultades Aplicación de la ley	Condiciones mecánicas Luces Frenos Maniobrabilidad Gestión de la velocidad	Diseño y trazado del camino Límites de la velocidad Elementos de seguridad peatonal
Choque	Prevención de traumatismos durante el choque	Uso de dispositivos de protección Disminución de las facultades	Cinturones de seguridad Otros dispositivos de seguridad Diseño vehicular antichoques	Elementos protectores a los costados del camino
Después del choque	Preservación de la vida	Nociones de primeros auxilios Acceso a la atención médica	Facilidad de acceso Riesgo de incendio	Equipamiento de socorro Congestión

# Velocidad de diseño

## Velocidad directriz ( $V_D$ )

Es la **máxima velocidad** a la cual un conductor de **habilidad media** manejando con **razonable atención** puede circular con **entera seguridad**.

Es la máxima velocidad segura que puede mantenerse sobre una sección específica de camino cuando las condiciones son tan favorables que las características de diseño de la carretera gobiernan (AASHTO '94).

Una velocidad seleccionada, usada para determinar las varias características de diseño geométrico de la plataforma. (AASHTO '01)

Rige el diseño de todos los elementos del camino: una vez seleccionada, **todas las características** pertinentes de la carretera deberían relacionarse a la velocidad directriz para obtener un **diseño equilibrado**.

# Velocidad de diseño

## Velocidad de Operación y Velocidad de Marcha

**Velocidad de operación:** es la más alta velocidad general a la cual un conductor puede viajar sobre una carretera dada bajo condiciones de tiempo favorables y bajo condiciones prevalecientes de tránsito, sin superar en ningún momento la velocidad segura según está determinada por la velocidad directriz sobre una base de **sección-por-sección**. (AASHTO '94)

La velocidad a la cual se observa que los conductores operan sus vehículos durante condiciones de flujo libre. (AASHTO '01)

**Velocidad de marcha:** es la velocidad de un vehículo sobre una sección de carretera; es la distancia recorrida dividida por el tiempo de marcha (el tiempo que el vehículo está en movimiento).

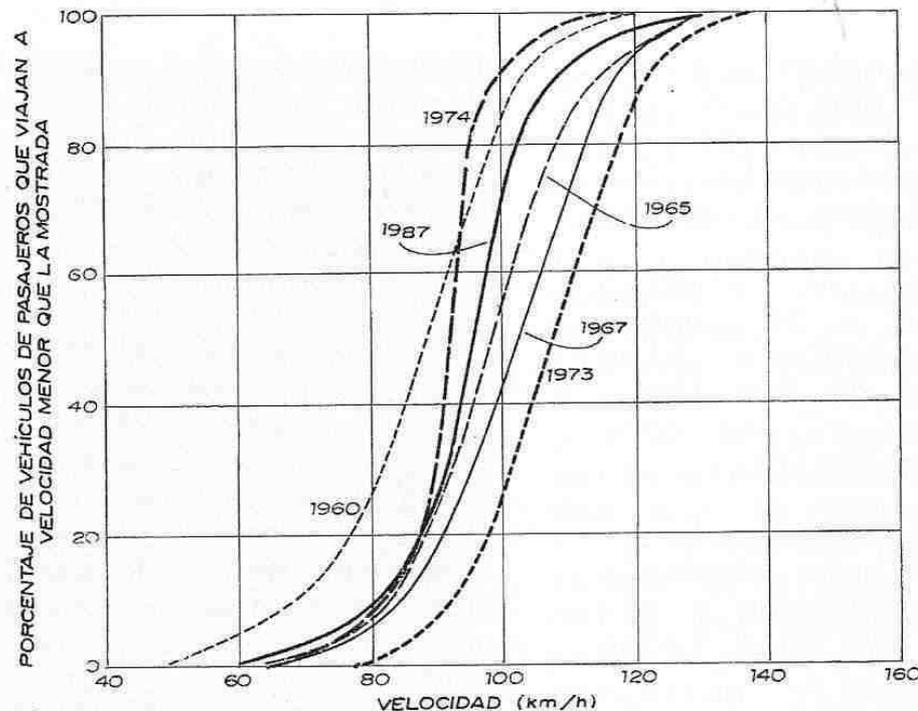
# Velocidad de diseño

## Velocidad directriz ( $V_D$ )

No debería suponerse una VD baja donde la topografía es tal que probablemente los conductores viajen a altas velocidades.

Los conductores no ajustan sus velocidades a la importancia de la carretera, sino a su **percepción de las limitaciones físicas**, y por consiguiente, el tránsito.

La VD seleccionada debería ajustarse a los deseos y hábitos de viaje de casi todos los conductores.



Distribución de velocidades representativas de los vehículos de pasajeros en carreteras interestatales rurales.

# Interacciones entre vehículos

- **Tramo de calzada única con 2 carriles:**
  - ❑ **Cruce** con un vehículo circulando en sentido opuesto
  - ❑ **Seguimiento** de un vehículo más lento, en el mismo sentido
  - ❑ **Adelantamiento** de dicho vehículo más lento
  - ❑ **Cambio de carril** relacionado al adelantamiento (dos mov.)
- **Tramo de calzada multicarril:**
  - ❑ **Circulación paralela** entre dos vehículos p/carriles adyacentes
- **Intersecciones (nudos):**
  - ❑ **Divergencia** dos trayectorias se separan de una común
  - ❑ **Convergencia** dos trayectorias se unen en una común (c/carriles de deceleración/aceleración, ambas se parecen a la circulación paralela)
  - ❑ **Cruce** dos trayectorias ocupan el mismo lugar en instantes diferentes.
  - ❑ **Tramo de trenzado** se combinan sucesivamente una convergencia, un tramo de circulación paralela no muy largo, y una divergencia.