

# Luminotecnia

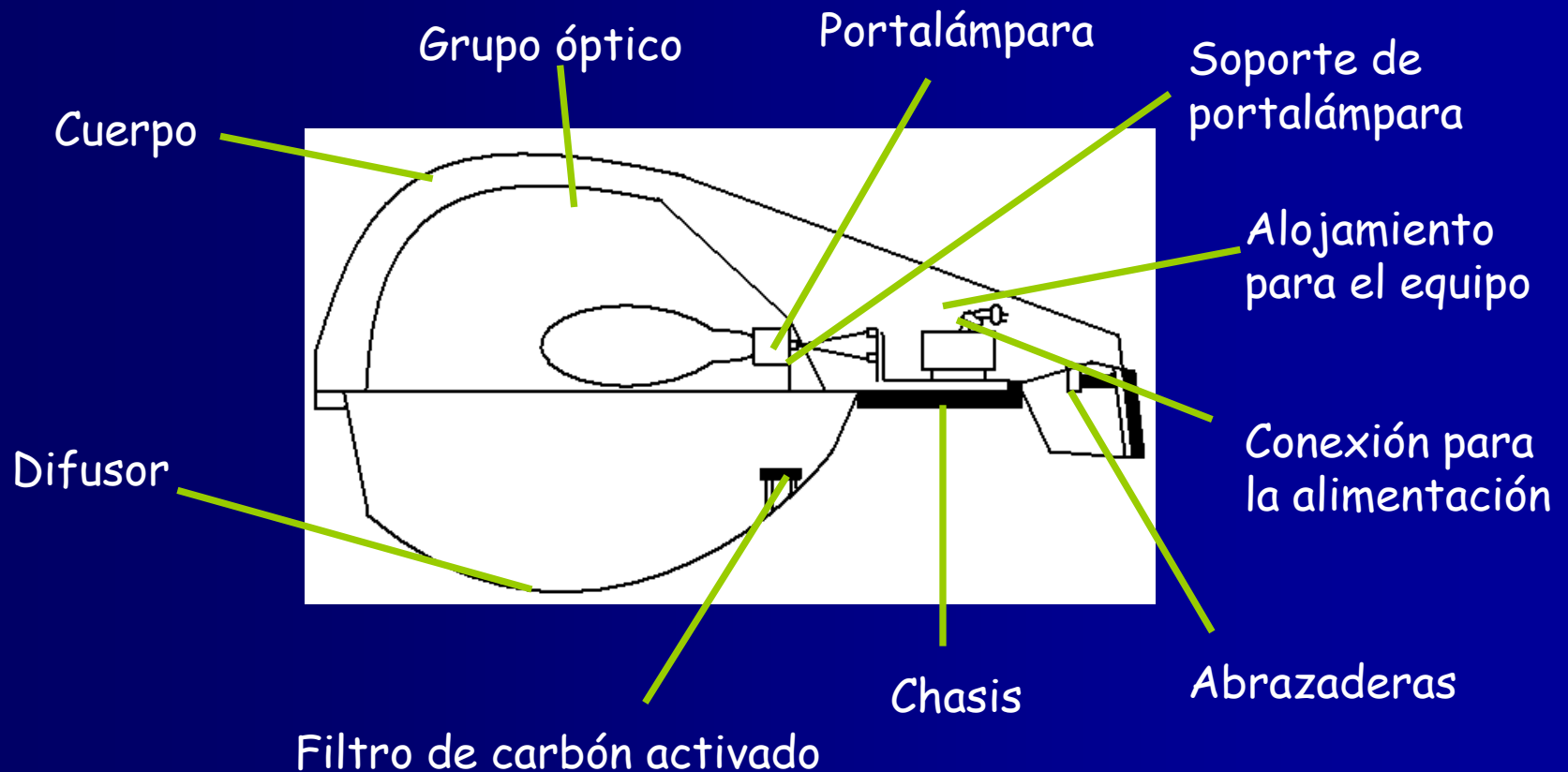
Prof. Luz Stella Moreno Martín

# Tema VI

## Iluminación de exteriores



## ■ Alumbrado de vías públicas.



## • Beneficios

- Reducción de accidentes nocturnos, lo cual incluye disminución de las pérdidas económicas y humanas.
- Contribuye a la protección policial y seguridad ciudadana.
- Facilita el tráfico nocturno.
- Facilita el desplazamiento y transporte durante las horas nocturnas.



Como factores a la hora de considerar la implementación de un alumbrado público se tienen:

- El tipo de vía (autopista, autovía, vía rápida o carretera rural), su ubicación y trazado.
- Los puntos singulares (intersecciones, enlaces complicados y tramos especiales).
- La intensidad y composición del tráfico.

## Valores límites de Intensidad media diarias recomendados para la iluminación

Tipo de vía	IMD mínima para iluminar (vehículos/hora)
Carreteras convencionales	12.000
Autovías y autopistas	22.000
Intersecciones	4.000
Enlaces	7.000

## Lámparas usadas

Lámparas de descargas

- Vapor de mercurio de alta presión
- Vapor de sodio de baja presión
- Vapor de sodio de alta presión



## Luminarias

Se pueden encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.



## ● Criterios de selección del alumbrado público

- Luminancia media: ( $L_m$ ,  $L_{AV}$ )
- Coeficientes de uniformidad: ( $U_L$ ,  $U_O$ )

Rendimiento visual      Coeficiente global de uniformidad

$$U_O = L_{\min} / L_m$$

Comodidad visual      Coeficiente longitudinal de uniformidad

$$U_L = L_{\min} / L_{\max}$$

- Control de deslumbramiento: (G)

### Deslumbramiento molesto

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente



$$G = SLI + 0.97 \cdot \log L_m + 4.41 \cdot \log h' - 1.46 \cdot \log p + C$$

$$SLI = 13.84 - 3.31 \cdot \log I_{80} + 1.30 \cdot \log (I_{80}/I_{88})^{0.5} - 0.08 \cdot \log (I_{80}/I_{88}) + 1.29 \cdot \log F$$

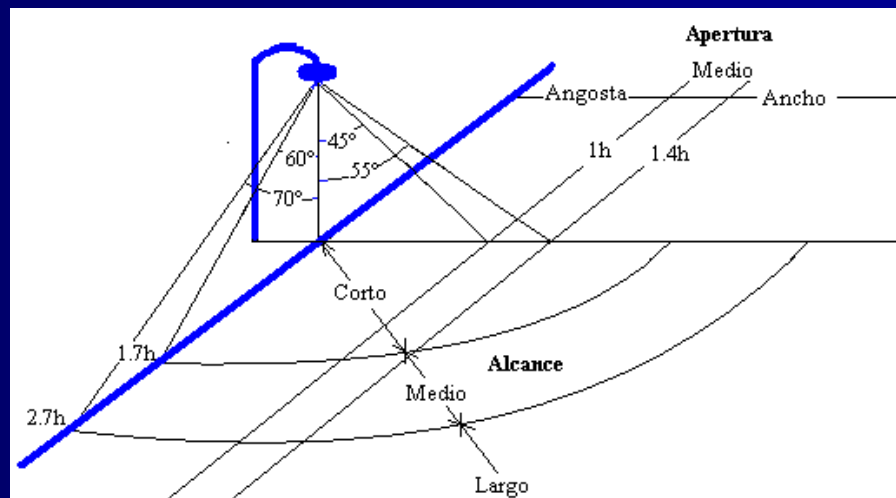
- SLI es el índice específico de la luminaria.
- $I_{80}$  es la intensidad luminosa emitida por la luminaria con un ángulo de elevación  $\gamma=80^\circ$  en el plano  $C=0$ .
- $I_{88}$  es la intensidad luminosa en el caso de  $\gamma=88^\circ$ .
- F es la superficie aparente de la luminaria vista bajo un ángulo de  $76^\circ$ .
- C es un factor de corrección del color que vale 0,4 para las lámparas de sodio de baja presión y 0 para todas las demás.
- $L_m$  es la luminancia media de la superficie de la calzada.
- $h'$  es la altura entre el nivel de los ojos y la luminaria.
- p es el número de luminarias por kilómetro.

- $5 \leq h' \leq 20$  m
- $20 \leq p \leq 100$
- $50 \leq I_{80} \leq 7000$  cd
- $1 \leq I_{80}/I_{88} \leq 50$
- $0.007 \leq F \leq 0.4$  m<sup>2</sup>
- $0.37 \leq L_m \leq$  cd/m<sup>2</sup>

- $SLI < 2$  : Control limitado.
- $2 \leq SLI \leq 4$  : Control moderado.
- $SLI > 4$  : Control estricto.

## Nueva clasificación de la CIE

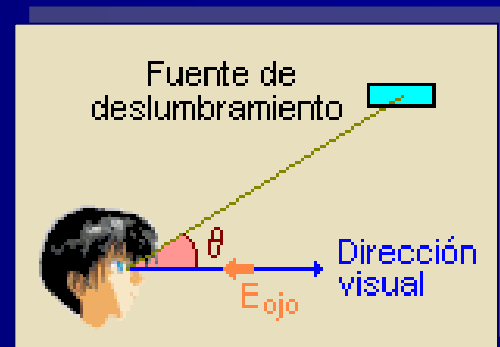
Alcance		Apertura		Control de deslumbramiento
Corta	$\gamma_{\text{máx}} < 60^\circ$	Angosta	$\gamma_{90} < 45^\circ$	$SLI < 2$
Intermedia	$60^\circ < \gamma_{\text{máx}} < 70^\circ$	Media	$45^\circ < \gamma_{90} < 55^\circ$	$2 < SLI < 4$
Larga	$\gamma_{\text{máx}} > 70^\circ$	Ancha	$\gamma_{90} > 55^\circ$	$SLI > 4$



## Deslumbramiento perturbador

$$TI = 65 * \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}}$$

$$L_v = k * \sum_{i=1}^n \frac{E_{ojo}}{\theta_i^2}$$

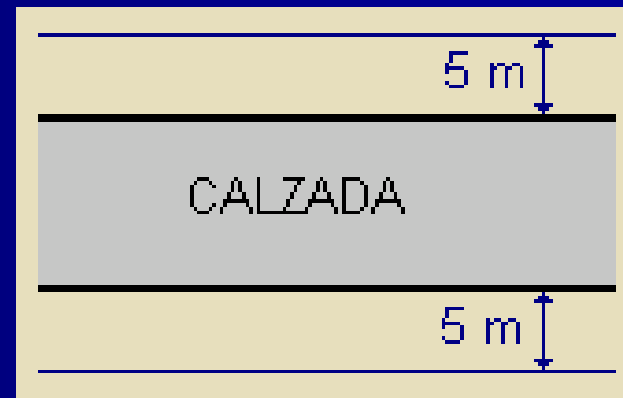


- $L_v$  es la luminancia de velo equivalente.
- $L_m$  es la luminancia media de la calzada.
- $k$  es una constante que depende de la edad del individuo, su valor es  $10^\circ$  o  $3 \cdot 10^{-3}$  rad.
- $E_{ojo}$  es la iluminancia sobre el ojo perpendicular a la dirección visual.
- $\theta$  es el ángulo formado por la dirección visual y el rayo de luz deslumbrante.



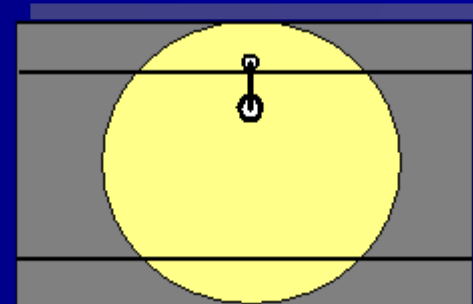
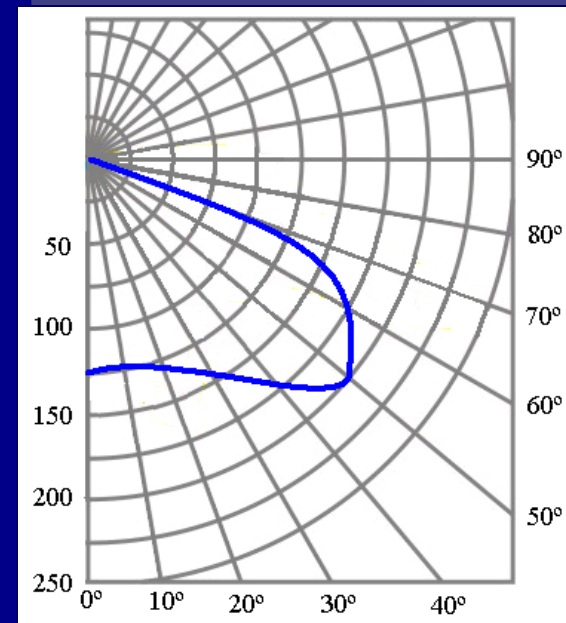
- Coeficiente de iluminación en los alrededores: (SR)

Es una medida de la iluminación en las zonas circundantes a la vía. Esto tiene la finalidad de asegurar que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. Esta se calcula mediante la obtención de la iluminancia media ( $L_m$ ) de una extensión de 5 m a cada lado de la calzada.

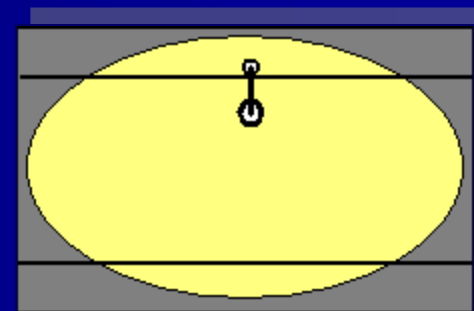
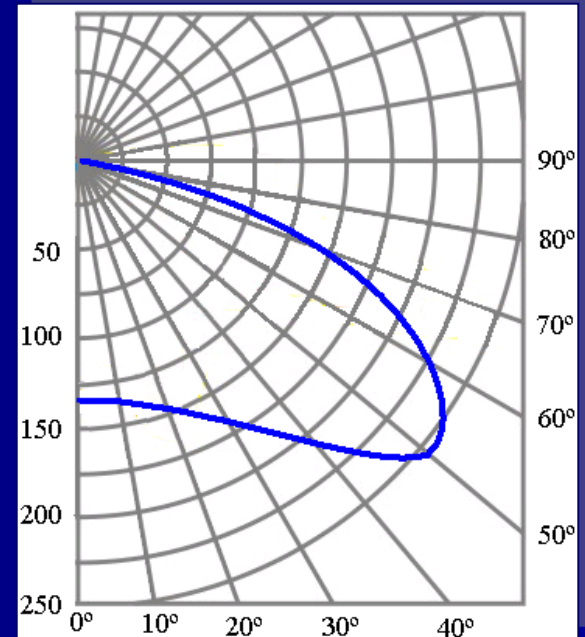


# ■ Clasificación de las luminarias de alumbrado público según su característica fotométrica

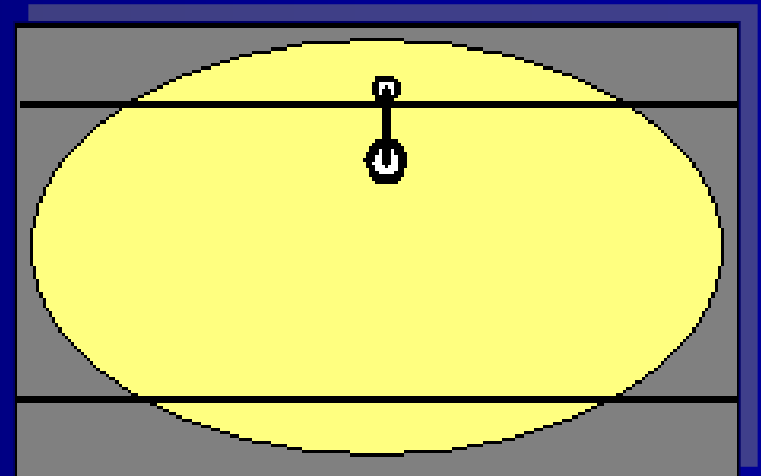
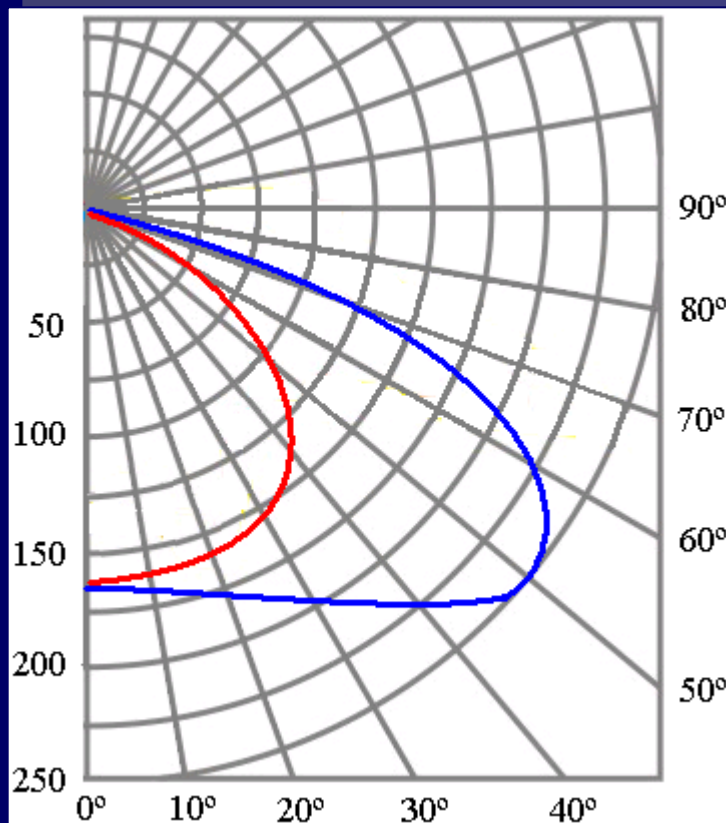
## 1.- De distribución simétrica



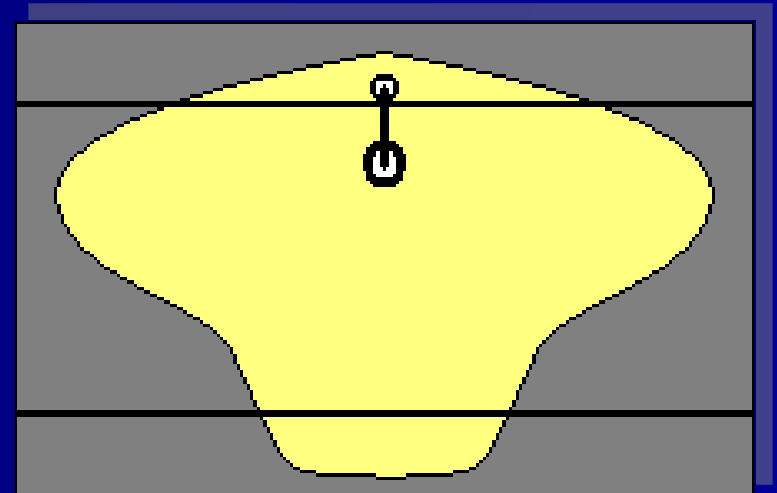
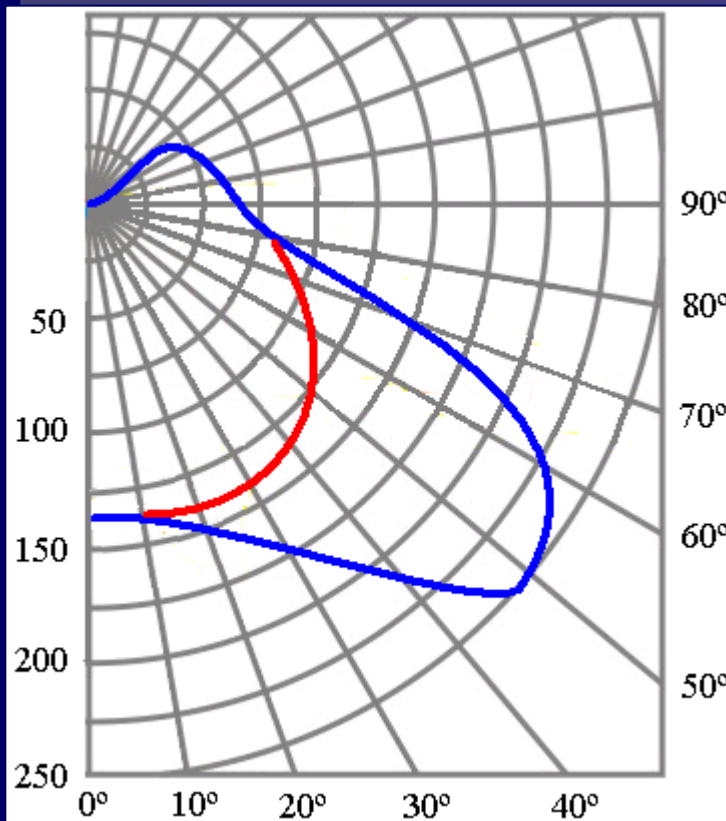
## 2.- De distribución asimétrica



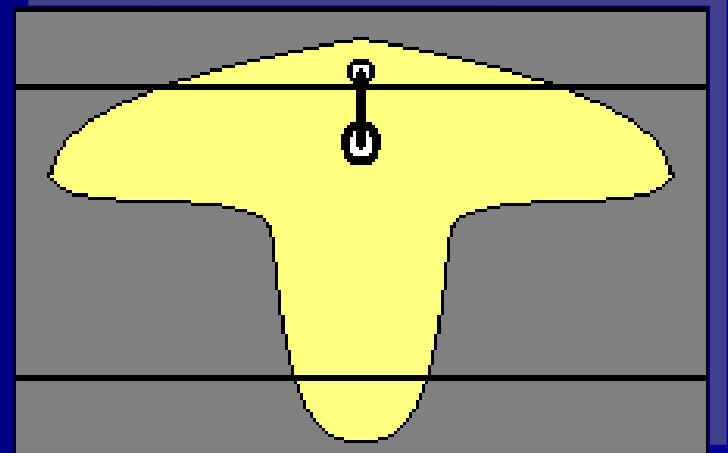
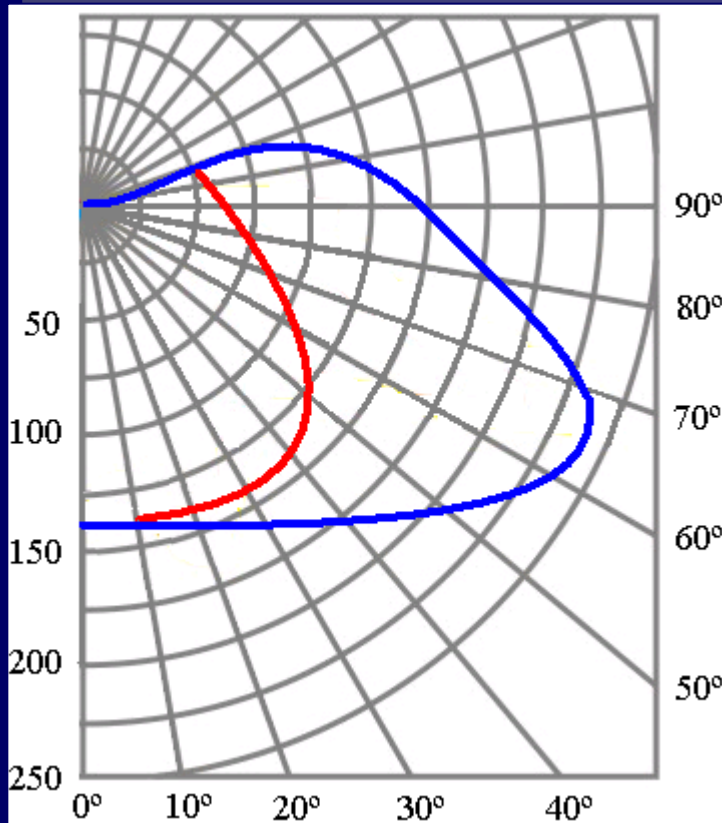
## 2.1.- De Cut-Off



## 2.2.- De Semi-CutOff



## 2.3.- De No-CutOff



## Según la IES

Tipo de Luminaria	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 80°	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 90°
Cut-Off	100 cd/1000 lm	25 cd/1000 lm
Semi-Cutoff	200 cd/1000 lm	50 cd/1000 lm
Non-Cutoff	Cualquiera	Cualquiera

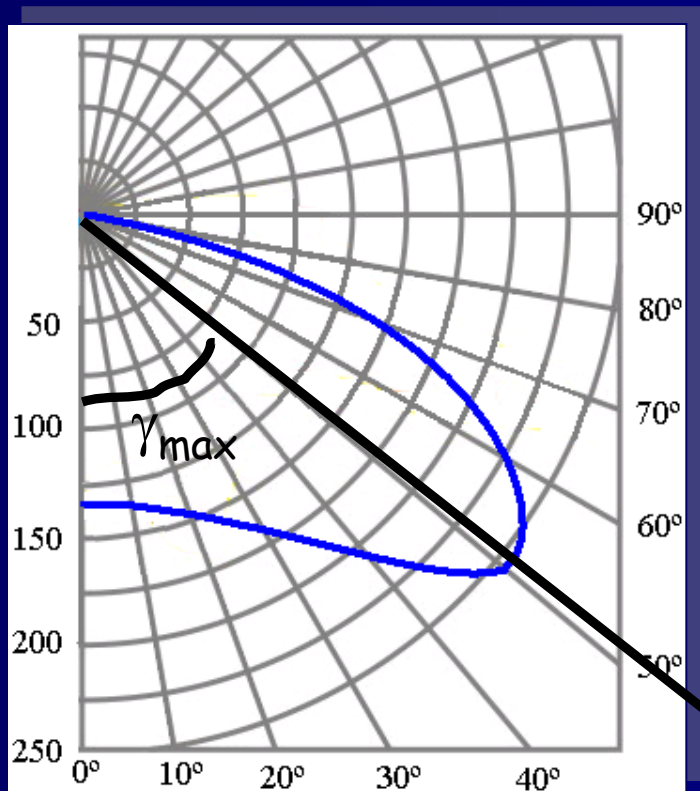
## Según la CIE

Tipo de Luminaria	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 80°	Valor máximo permitido de intensidad emitida a un ángulo de elevación de 90°	Dirección de la intensidad máxima, menor de:
Cut-Off	<30 cd/1000 lm	<10 cd/1000 lm	65°
Semi-Cutoff	<100 cd/1000 lm	<50 cd/1000 lm	75°
Non-Cutoff	>100 cd/1000 lm	>50 cd/1000 lm	90°



# ■ Nueva clasificación de las luminarias según la C.I.E.

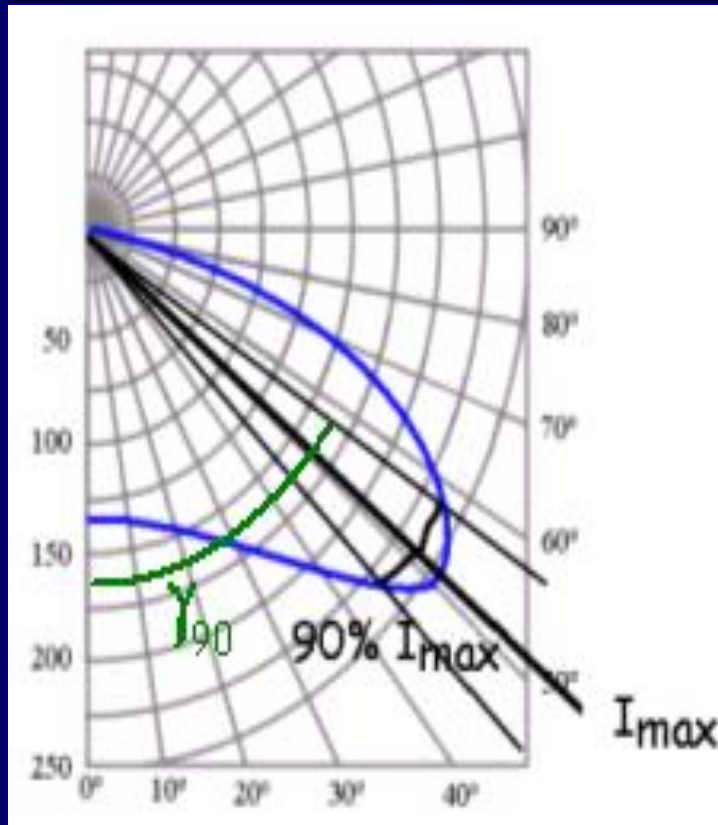
## 1.- Alcance de la Luminaria



- $\gamma_{\text{máx}} < 60^\circ$  alcance corto
- $60^\circ \leq \gamma_{\text{máx}} \leq 70^\circ$  alcance intermedio
- $\gamma_{\text{máx}} > 70^\circ$  alcance ancho

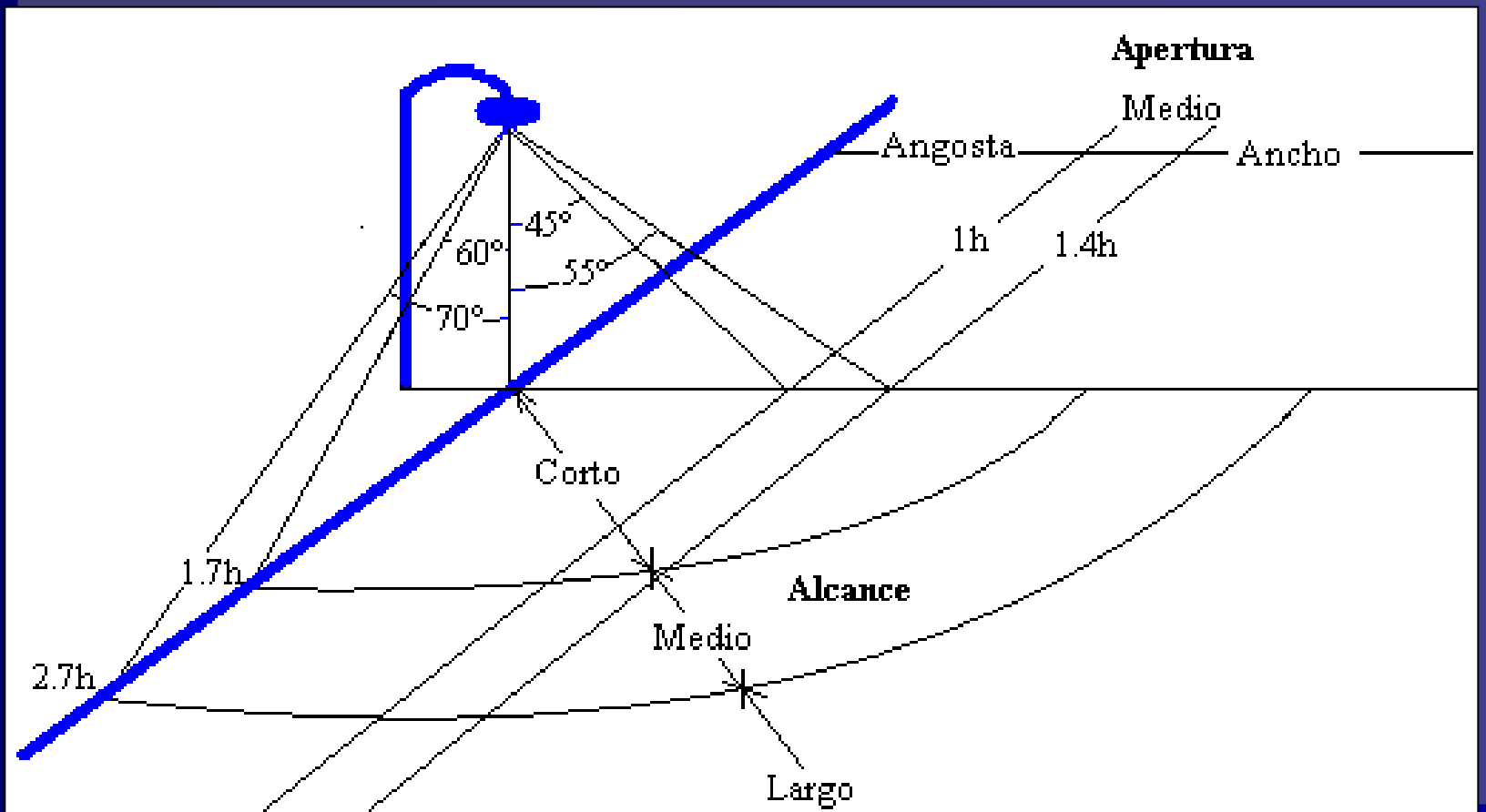
I<sub>max</sub>

## 2.- Apertura

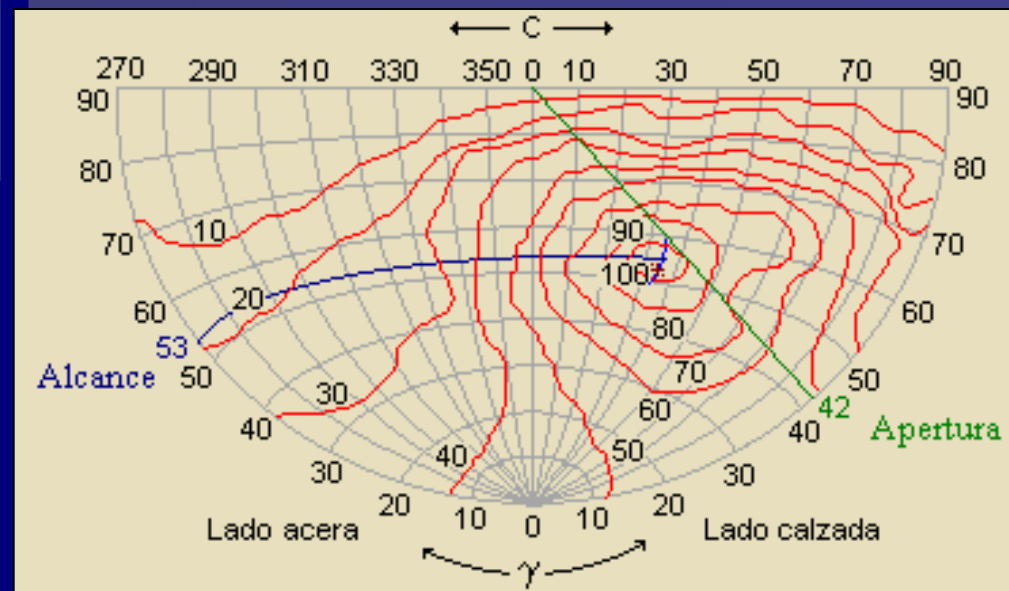
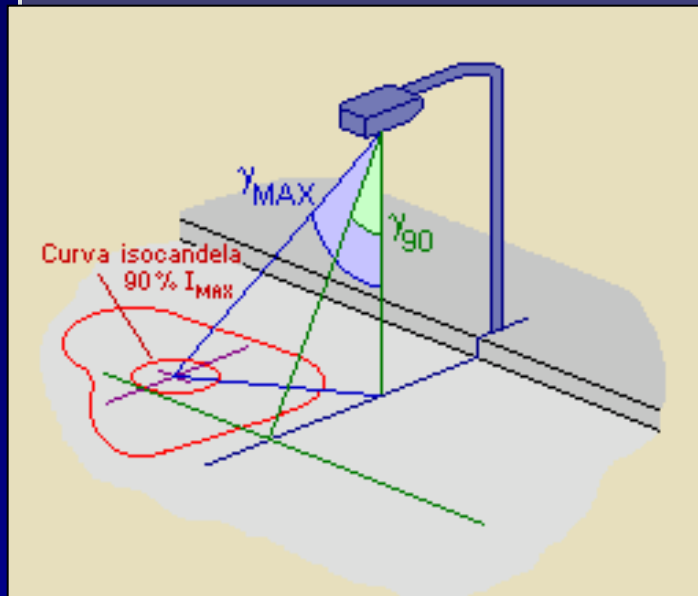


- $\gamma_{90} < 45^\circ$  apertura angosta
- $45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$  apertura media
- $\gamma_{90} > 55^\circ$  apertura ancha

## Alcance y Apertura



# Alcance y Apertura



## Resumen de la clasificación de la C.I.E

Alcance	Apertura	Control
Corta $\gamma_{\text{máx}} < 60^\circ$	Angosta $\gamma_{90} < 45^\circ$	SLI < 2
Intermedia $60^\circ < \gamma_{\text{máx}} < 70^\circ$	Media $45^\circ < \gamma_{90} < 55^\circ$	$2 < \text{SLI} < 4$
Larga $\gamma_{\text{máx}} > 70^\circ$	Ancha $\gamma_{90} > 55^\circ$	SLI > 4

## ■ Niveles de iluminación recomendados

Tipos de vías	Tipos de usuarios				Situaciones de proyecto
	Motos	Vehículos	Ciclistas	Peatones	
Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías) Carreteras de calzadas únicas de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas)					A1
Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carril bici		X			A2
Vías colectoras y rondas de circunvalación. Carreteras interurbanas con accesos no restringidos		X	X	X	A3

■ Usuario principal

☒ Otros usuarios permitidos

■ Usuarios excluidos

## Calzadas secas

Situaciones de Proyecto	Tipos de Vías	Clase de Alumbrado
A1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta (IMD) &gt; 25.000</li> <li>Media 15.000 &lt; (IMD) &lt; 25.000</li> <li>Baja (IMD) &lt; 15.000</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Carreteras de calzadas única de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas):               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta (IMD) &gt; 15.000</li> <li>Media y baja (IMD) &lt; 15.000</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	ME1 ME2 ME3a    ME1 ME2
A2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera</li> <li>- Control del tráfico y separación de los distintos tipos de usuarios</li> <li>- Parámetros específicos</li> </ul> </li> </ul>	ME1 ME2 ME3a ME4a
A3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vías colectoras y rondas de circunvalación</li> <li>- Carreteras interurbanas con accesos no restringidos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera</li> <li>- Control del tráfico y complejidad del trazado de la carretera</li> <li>- Parámetros específicos</li> </ul> </li> </ul>	ME1 ME2 ME3b ME4a ME4b

Clase de alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia media Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Uniformidad global U <sub>o</sub>	Uniformidad longitudinal U <sub>l</sub>	Incremento umbral TI (%)	Relación entorno SR
ME1	≥ 2,00	≥ 0,4	≥ 0,7	≤ 10	≥ 0,5
ME2	≥ 1,50	≥ 0,4	≥ 0,7	≤ 10	≥ 0,5
ME3	a b	≥ 1,00	≥ 0,4	≤ 15	≥ 0,5
			≥ 0,7		
ME4	a b	≥ 0,75	≥ 0,4	≤ 15	≥ 0,5
			≥ 0,6		
			≥ 0,5		



## Calzadas mojadas

Clase de alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas y húmedas				Deslumbramiento perturbador	Iluminación de alrededores
	Calzada seca			Calzada húmeda		
	Luminancia media $L_m$ ( $cd/m^2$ )	Uniformidad global $U_0$	Uniformidad longitudinal $U_l$	Uniformidad global $U_0$	Incremento umbral TI (%)	Relación entorno SR
MEW1	$\geq 2,00$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	$\geq 0,15$	$\leq 10$	$\geq 0,5$
MEW2	$\geq 1,50$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	$\geq 0,15$	$\leq 10$	$\geq 0,5$
MEW3	$\geq 1,00$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	$\geq 0,15$	$\leq 15$	$\geq 0,5$
MEW4	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	-	$\geq 0,15$	$\leq 15$	$\geq 0,5$

## Tramos singulares:

- Nudos (enlaces e intersecciones) y glorietas.
- Zonas de reducción del número de carriles o disminución del ancho de la calzada.
- Zonas de incorporación de nuevos carriles.
- Pasos subterráneos.
- Pasos elevados.
- Sectores de gran dificultad frecuentados por peatones, ciclistas u otros usuarios de la vía

Clase de alumbrado	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia media Em (lux)	Uniformidad media Um
CE0	≥ 50	≥ 0,4
CE1	≥ 30	≥ 0,4
CE2	≥ 20	≥ 0,4
CE3	≥ 15	≥ 0,4
CE4	≥ 10	≥ 0,4
CE5	≥ 7,5	≥ 0,4

Clase de intensidad	Intensidad Máxima (cd/Klm)			Otros requerimientos
	A 70°	A 80°	A 90°	
G1	-	200	50	Ninguno
G2	-	150	30	Ninguno
G3	-	100	20	Ninguno
G4	500	100	10	Intensidades por encima de 95° deben ser cero
G5	350	100	10	Intensidades por encima de 95° deben ser cero
G6	350	100	0	Intensidades por encima de 90° deben ser cero

## Montaje de gran altura:

- Nudos complejos de autopistas, autovías y carreteras.
- Glorietas.
- Peajes de autopistas.

Descripción de la vía de Tráfico	Clase de Alumbrado
Cruces muy complejos con intensidad de tráfico elevado y alta complejidad del trazado y del campo visual	CE0
Cruces complejos, glorietas	CE0 CE1
Zonas de peaje	CE2

# COVENIN

VIAS URBANAS										
Clasificación			Luminancia				Iluminancia			Indice de deslumbramiento
Calidad de Iluminación	Tipo de vía	Tipo de zonas	$L_m$ cd/m <sup>2</sup>	$U_0$	$U_g$	$U_L$	$E_m$ (lux)	$U_1$	$U_2$	$G$
A1	Autopista, vías expresas	Todas	2	0,4	0,3	0,7	25-30	0,4	0,3	7
A2	Principales y recolectoras	A	2	0,4	0,3	0,7	25-30	0,4	0,3	7
		B	2	0,4	0,3	0,7	20-25	0,33	0,25	6
		C	1,8	0,3	0,25	0,7	15-20	0,33	0,25	6
B1	Vías secundarias	A	1,5	0,3	0,25	0,6	15-20	0,33	0,2	5
		B	1,5	0,3	0,25	0,6	15	0,33	0,2	5
		C	1	0,3	0,2	0,6	10	0,3	0,15	5
B2	Vías Locales	A	-	-	-	-	10-15	0,3	0,15	5
		B	-	-	-	-	10	0,3	0,15	5
		C	-	-	-	-	6	0,1	0,1	5

## VIAS RURALES

Clasificación		Luminancia				Iluminancia			Indice de deslumbramiento
Calidad de Iluminación	Tipo de vía	$L_m$ cd/m <sup>2</sup>	$U_0$	$U_g$	$U_L$	$E_m$ (lux)	$U_1$	$U_2$	G
A1	Autopistas, vías expresas	2	0,4	0,3	0,7	25	0,4	0,3	7
A2	Principales y troncales	1,5	0,4	0,3	0,7	20	0,33	0,25	6
B1	Vías secundarias	1	0,3	0,25	0,6	15	0,3	0,2	5
B2	Vías Locales	-	-	-	-	10	0,2	0,1	4

### Notas:

- Los valores indicados en esta tabla son valores mínimos recomendados con factores de mantenimiento de 0,8 y para pavimentos claros. En caso de pavimentos oscuros deben incrementarse los valores de L y E en un 30% al menos.
- $U_g$ : Es la uniformidad general  $U_g = L_{\min} / L_{\max}$  (toma en cuenta todos los puntos de la calzada donde se encuentra los valores mínimos, máximos y promedios de luminancia).
- $U_0$ : Es la uniformidad global  $U_0 = L_{\min} / L_{\text{med}}$ .
- $U_L$ : Es la uniformidad longitudinal  $U_L = L_{\min} / L_{\max}$  (toma en cuenta los valores mínimos y máximos de luminancia en sentido longitudinal en la dirección del observador).
- $U_1$ : Es la uniformidad media  $U_1 = E_{\min} / E_{\text{med}}$ .
- $U_2$ : Es la uniformidad general  $U_2 = E_{\min} / E_{\max}$ .
- $E_m$ : Es la iluminancia promedio.
- $L_m$ : Es la luminancia promedio.

## AREAS PUBLICAS DE CIRCULACION DE PEATONES

Calidad de Iluminación	Area			E <sub>m</sub> (lux)	U <sub>1</sub>
	Uso	Tipo	Zona		
C1	Vías de Peatones	Acera	A1	15	0,2 - 0,3
			B2	10	0,2
			C3	5	0,2
		Veredas	A1	25	0,2
			B2	15	
			C3	10	
		Puentes y pasarelas	A1	25	0,2
			B2	15	
			C3	10	
	Túneles y pasajes cubiertos	A1	80	0,2	
		B2	80		
		C3	80		
C2	Parques y Plazas	Áreas de circulación	A1	25	0,15
			B2	15	
			C3	15	
	Zona verde accesible	-	10	-	
C3	Terminales de pasajeros	Pasajeros y carga	-	250	0,2
			-	220	
		Vías	-	25	0,2

## AREAS PÚBLICAS PARA ESTACIONAMIENTO DE VEHICULOS

Tipo de área		$E_m$ (lux)	$U_1$	
Estacionamiento (ver nota 1)	Exterior	Con acomodador	25	0,2
		Sin acomodador	15	0,2
	Interior	Entradas (ver nota 3)	550	0,2
	Interior	Circulación	120	0,15
		Puestos	60	0,15
Estación de servicio y miradores (ver nota 4)	Accesos y salidas (ver nota 1)		20 (40)	0,2
	Vías		20 (60)	0,15
	Isla de bomba		250 (350)	0,2
	Zona de servicio		35 (75)	0,2
	Fachadas de edificios si no son de vidrios (ver nota 2)		110 (320)	-
Plaza de peajes	Cabinas		350	0,2
	Zona de pago		250	0,2
	Zona de acceso		30	0,15
Alcabalas	Zona de control		150	0,2
	Zona de acceso		25	0,15

### Notas:

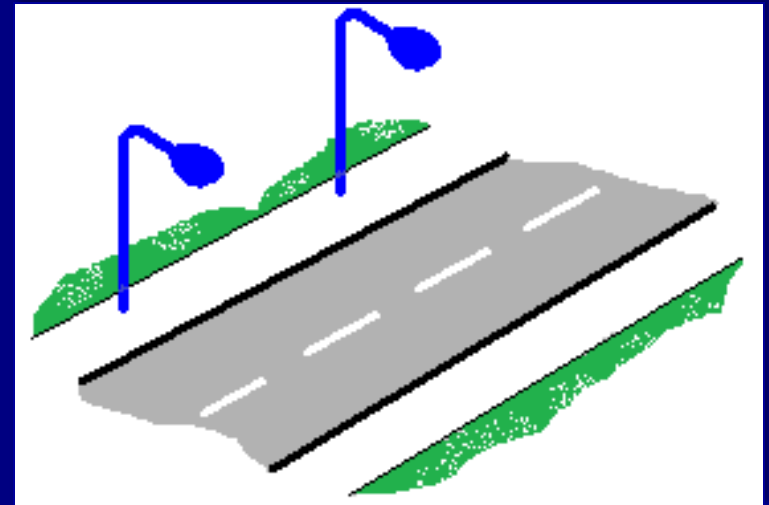
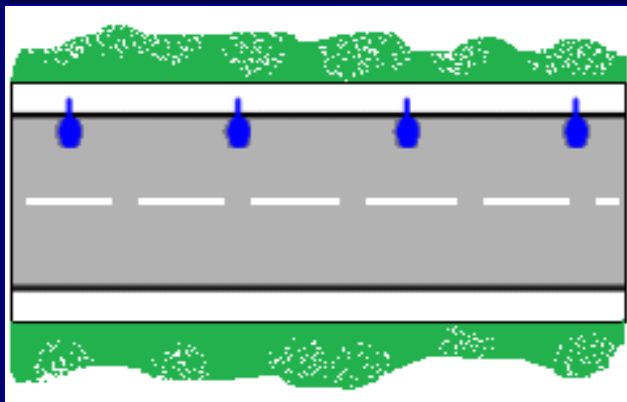
1. Los accesos y salidas deben tener un nivel igual a 2 veces el de la vía en que se encuentren.
2. Iluminación vertical.
3. Este nivel es el mínimo recomendado para el puesto de control, en la entrada se deben tomar las medidas necesarias para evitar el efecto de entrada oscura.
4. Los valores entre paréntesis se deben usar cuando los alrededores estén iluminados, los otros cuando no lo están.



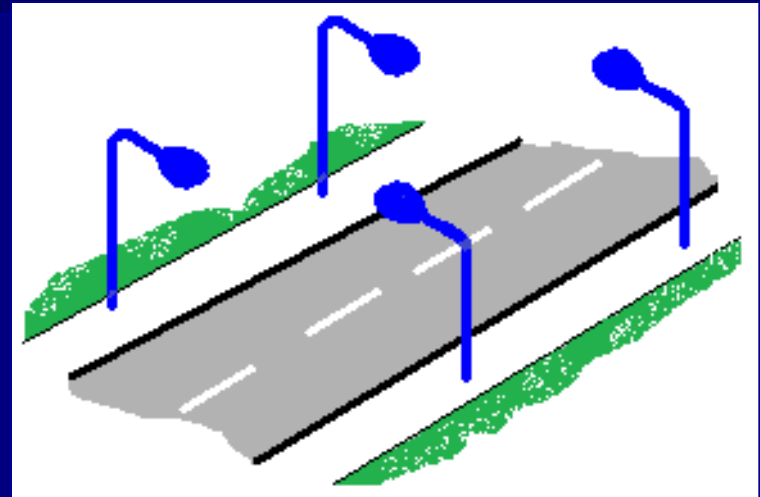
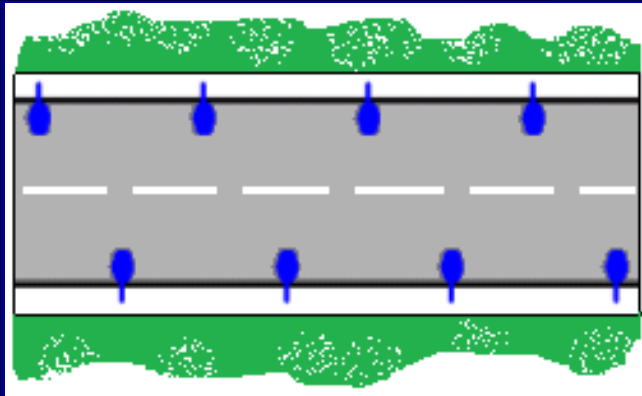
## ■ Disposición de las luminarias en la vía

### 1.- Tramos rectos de vías con una única calzada

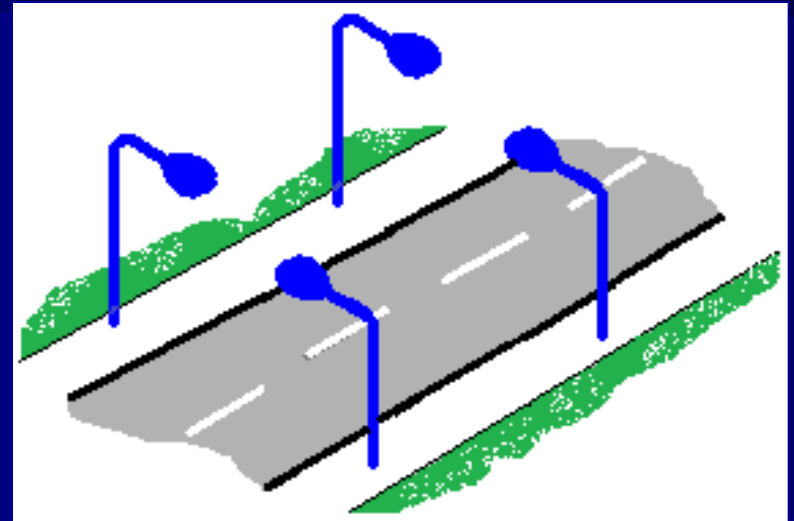
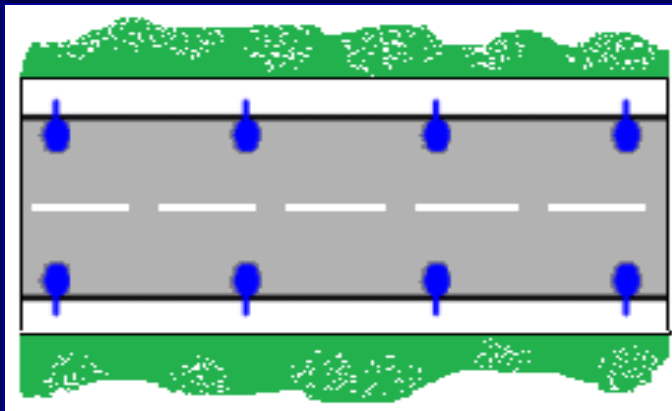
#### a) Unilateral



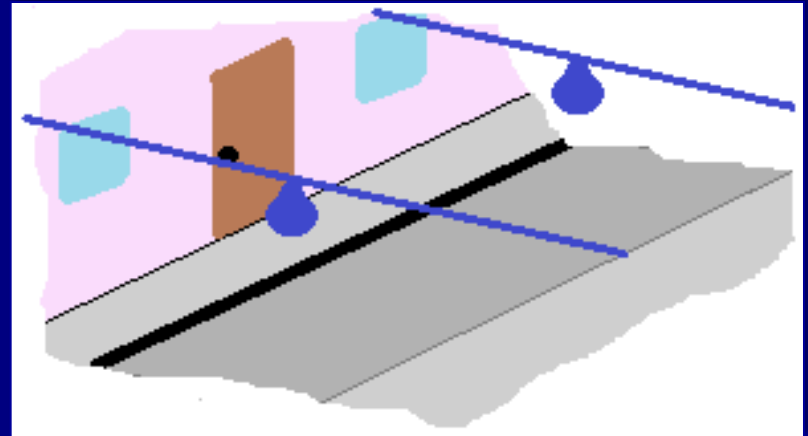
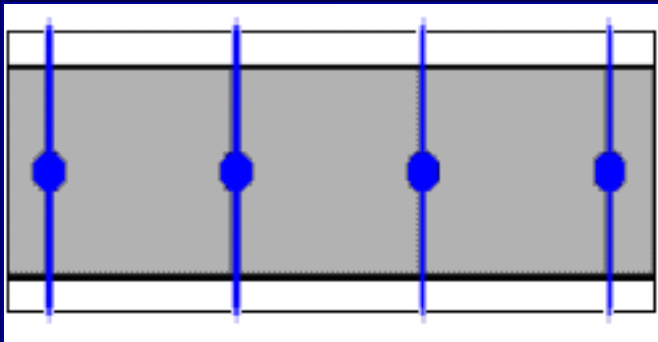
## b) Tresbolillo



### c) Pareada



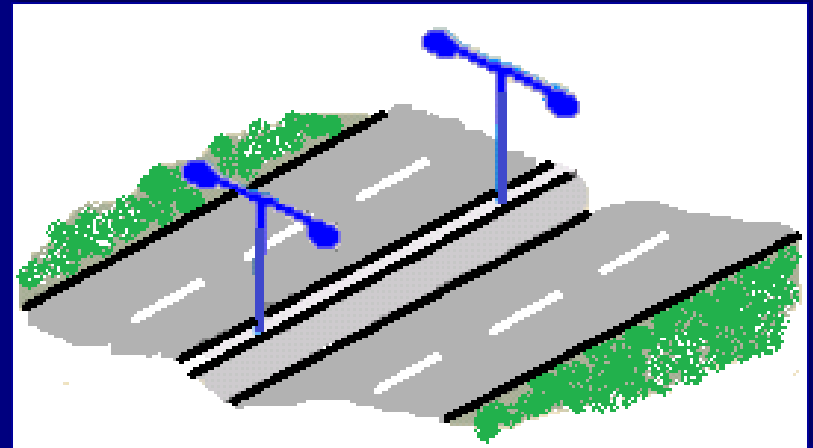
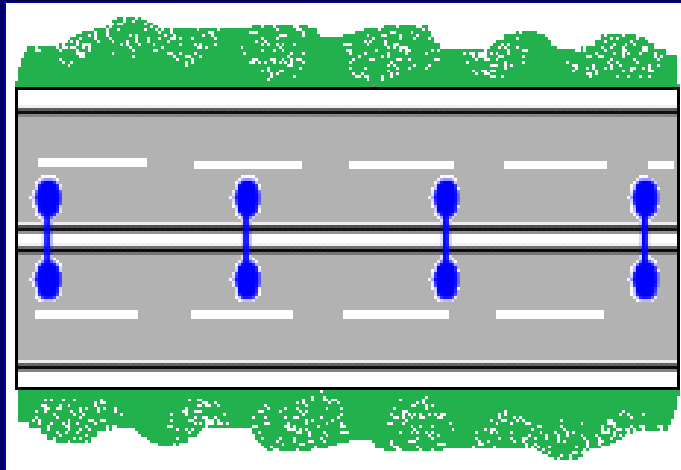
## d) Suspendida transversal



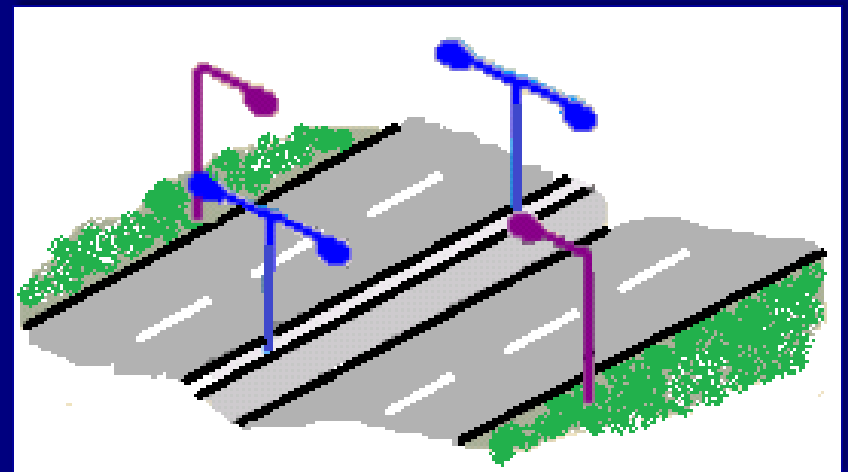
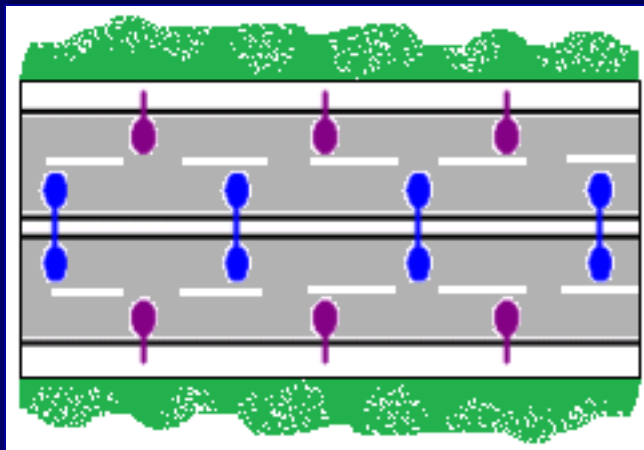
	<b>Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje</b>
<b>Unilateral</b>	$A/H < 1$
<b>Tresbolillo</b>	$1 \leq A/H \leq 1.5$
<b>Pareada</b>	$A/H > 1.5$
<b>Suspendida</b>	Calles muy estrechas

## 2.- Tramos rectos de vías con dos o más calzadas

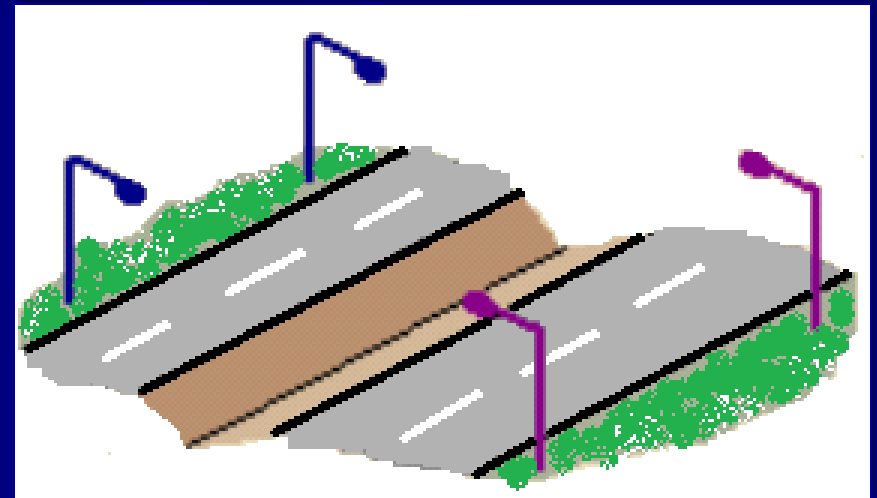
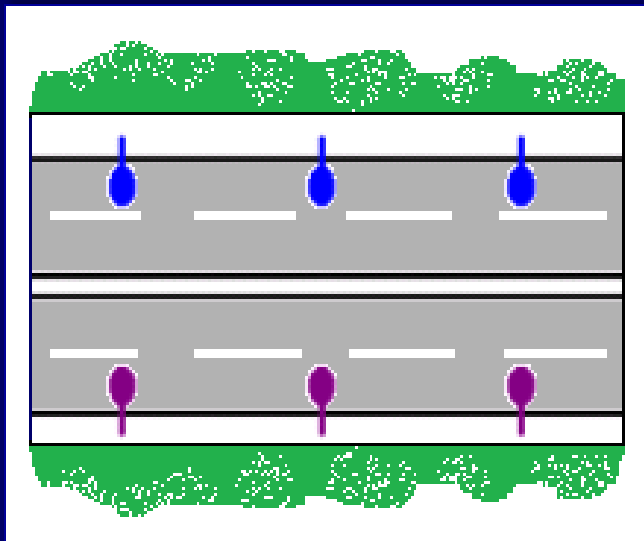
### a) Central con doble brazo



b) Combinación brazos dobles y tresbolillo



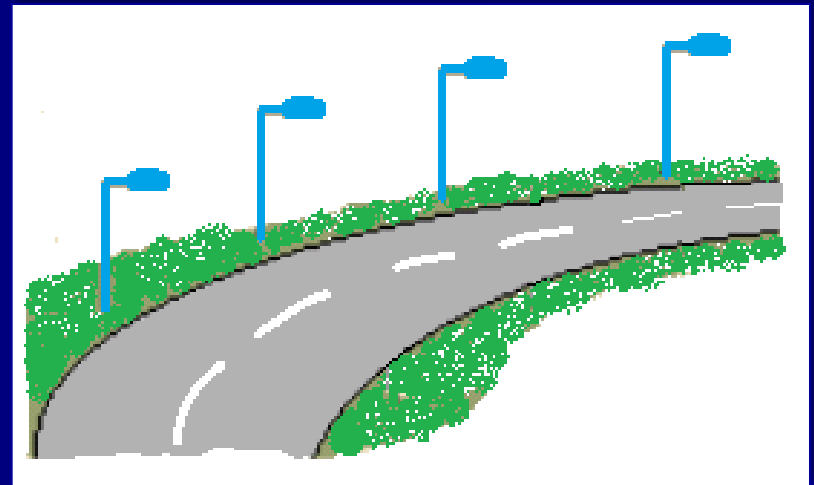
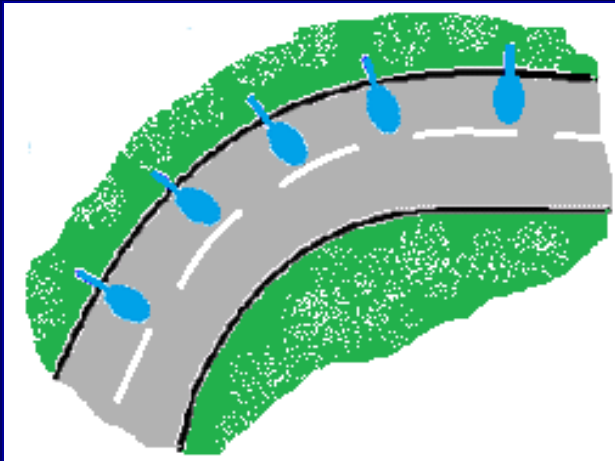
c) Unilateral en calzada diferenciadas



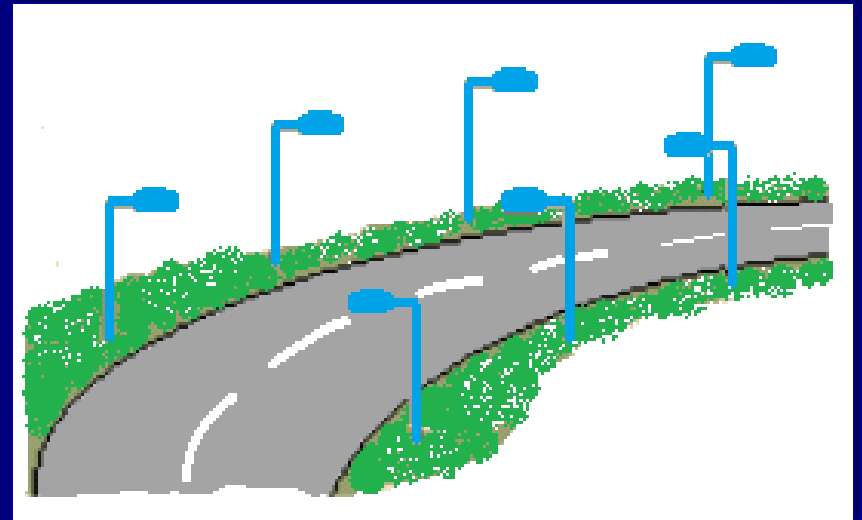
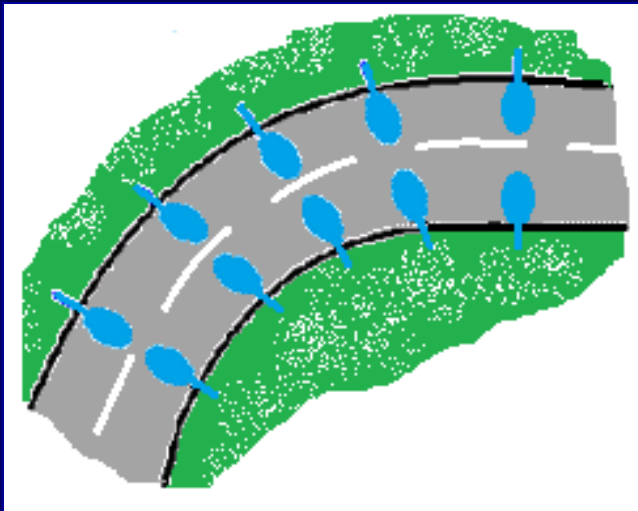


### 3.- Tramos curvos

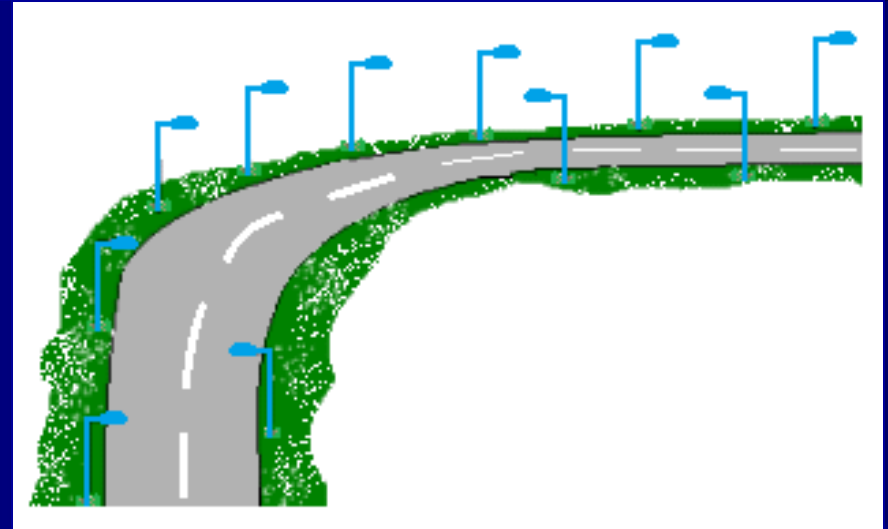
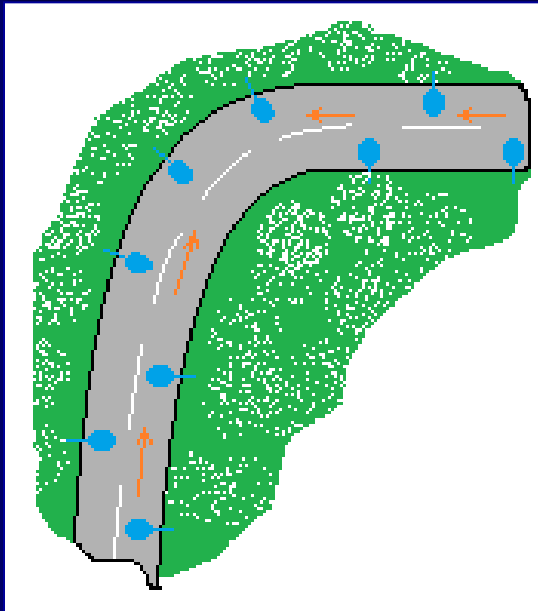
a) Unilateral por el lado exterior



## b) Bilateral pareada



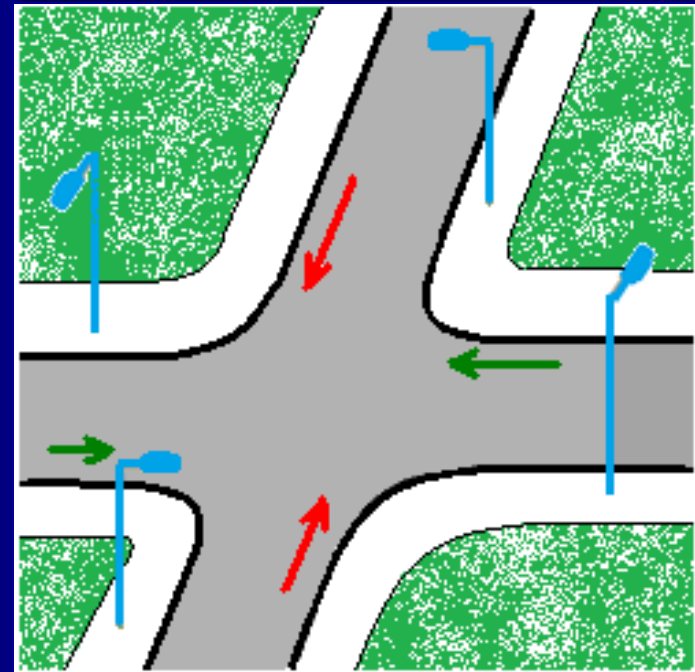
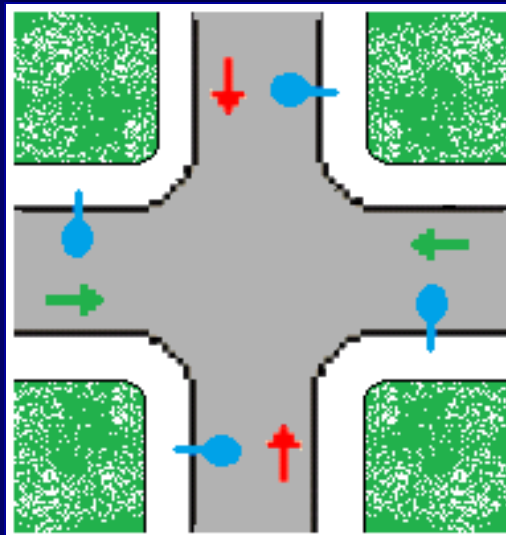
c) Disposición correcta de la luminaria en una curva



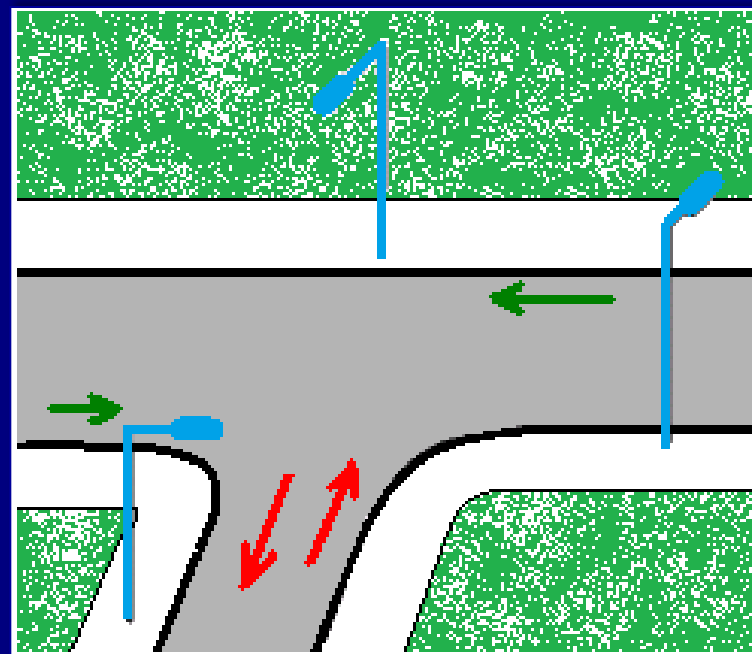
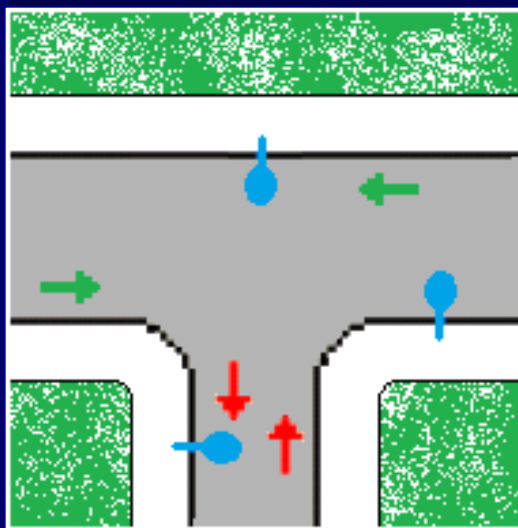
<b>R &gt; 300 m</b>	Asimilar a un tramo recto	
<b>R &lt; 300 m</b>	<b>A/H &lt; 1.5</b>	Unilateral exterior
	<b>A/H &gt; 1.5</b>	Bilateral pareada

## 4.- Cruces

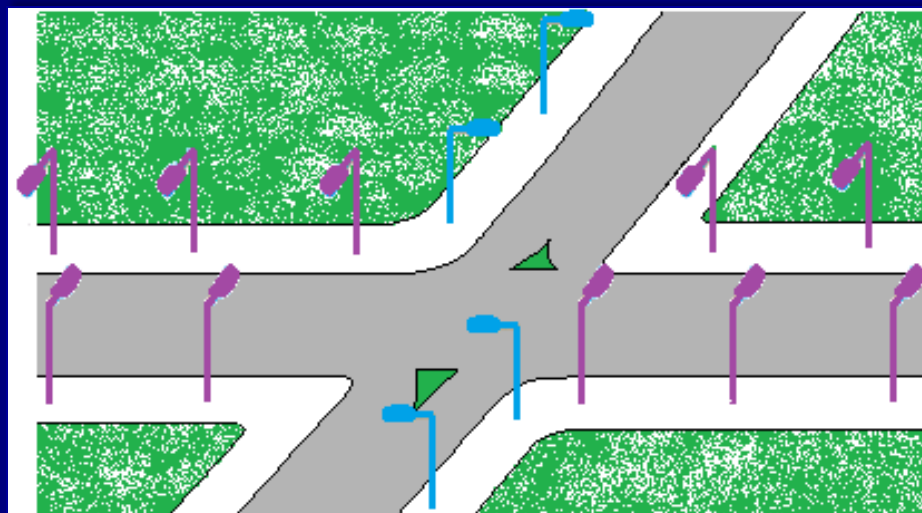
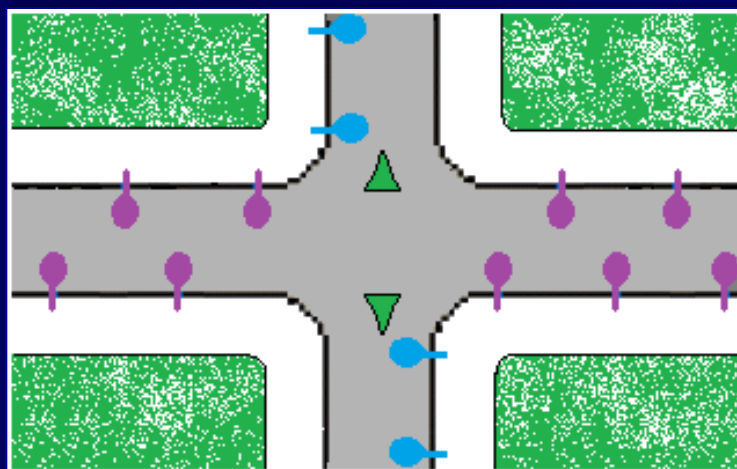
### a) Cruce de 4 calles



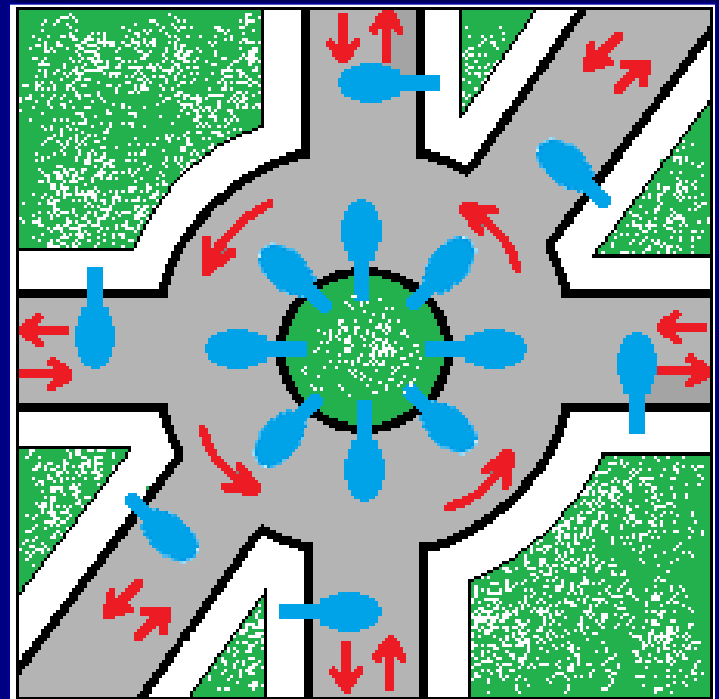
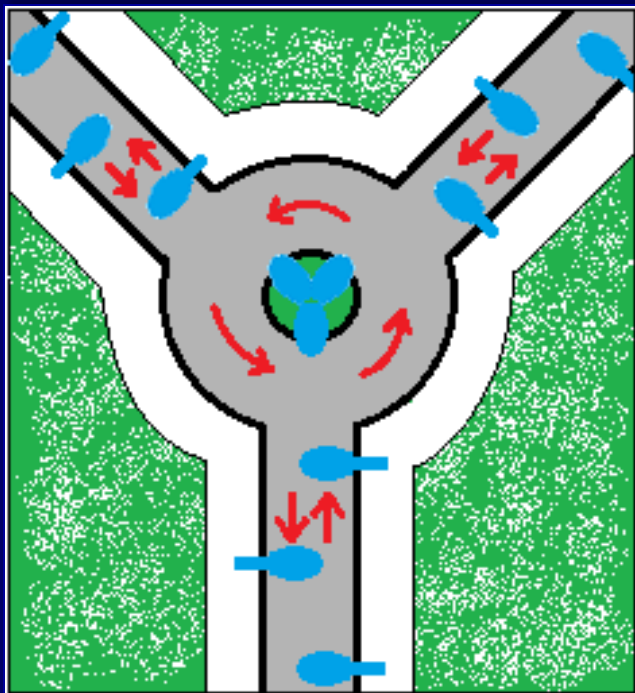
## b) Cruce en T



### c) Cruce de dos vías



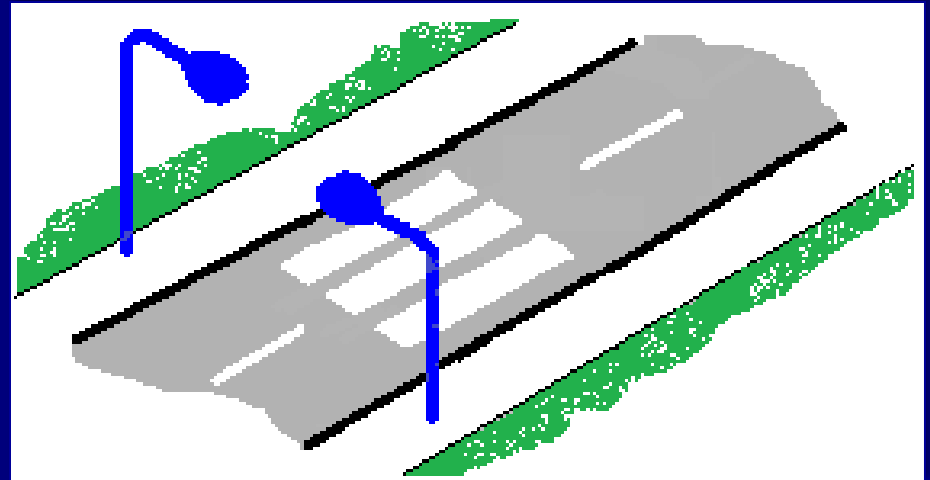
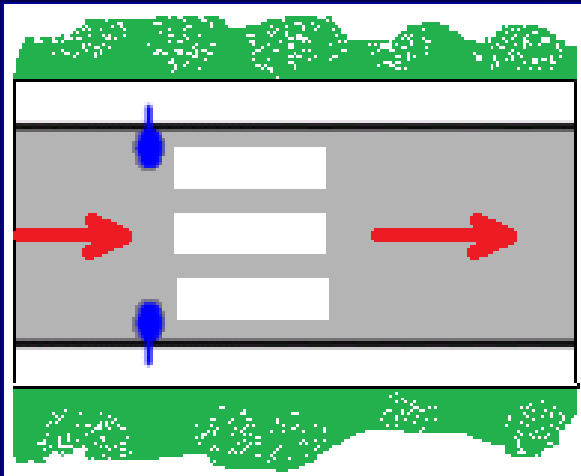
## 5.- Plazas y glorietas



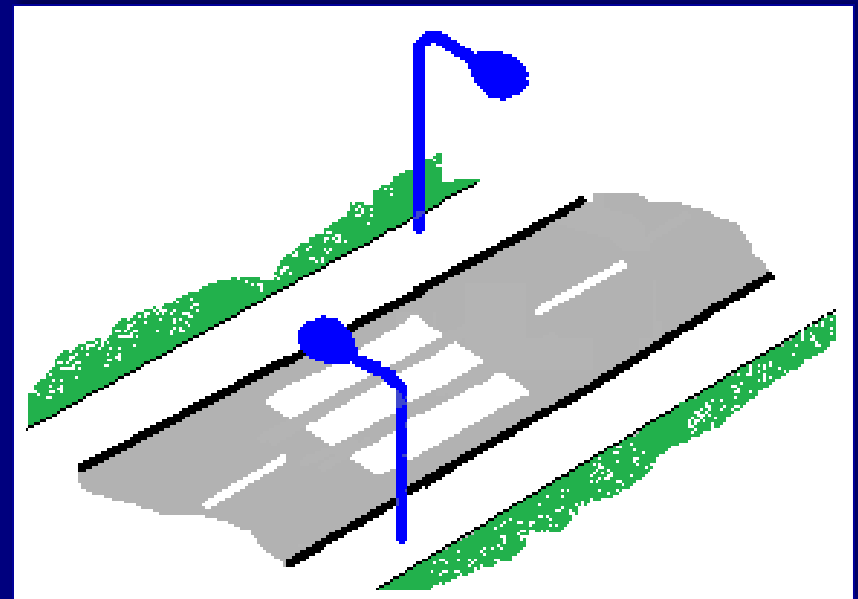
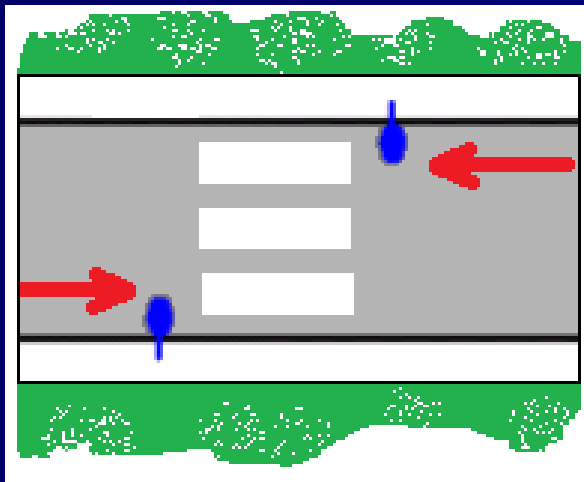


## 6.- Pasos de peatones

a) Vía con una calzada y un único sentido

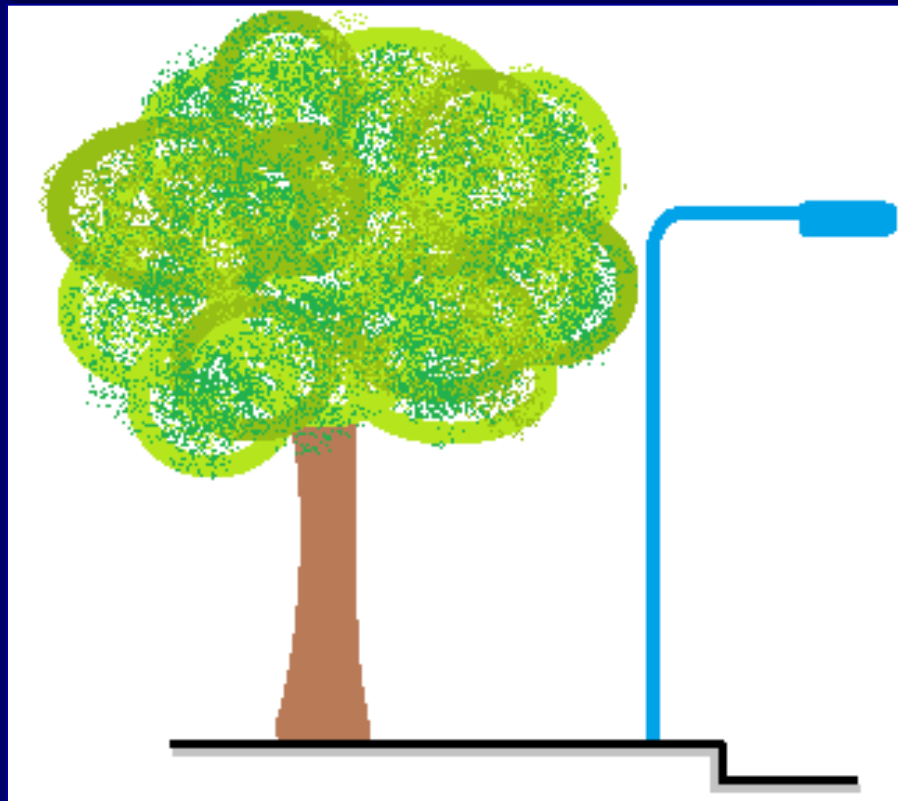


b) Vía con una calzada y doble sentido

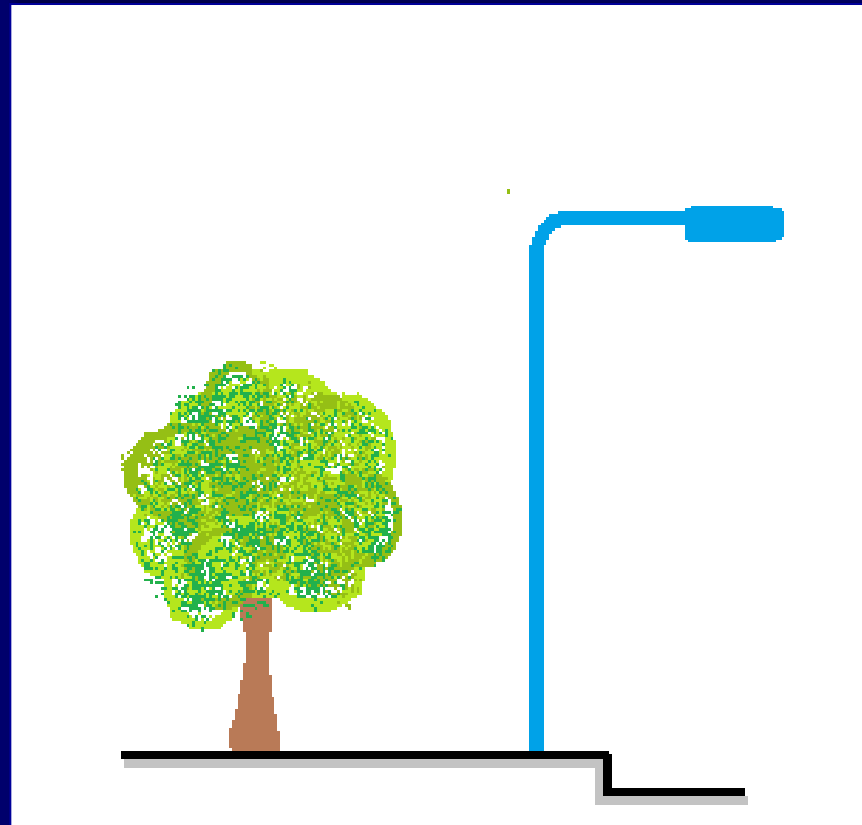


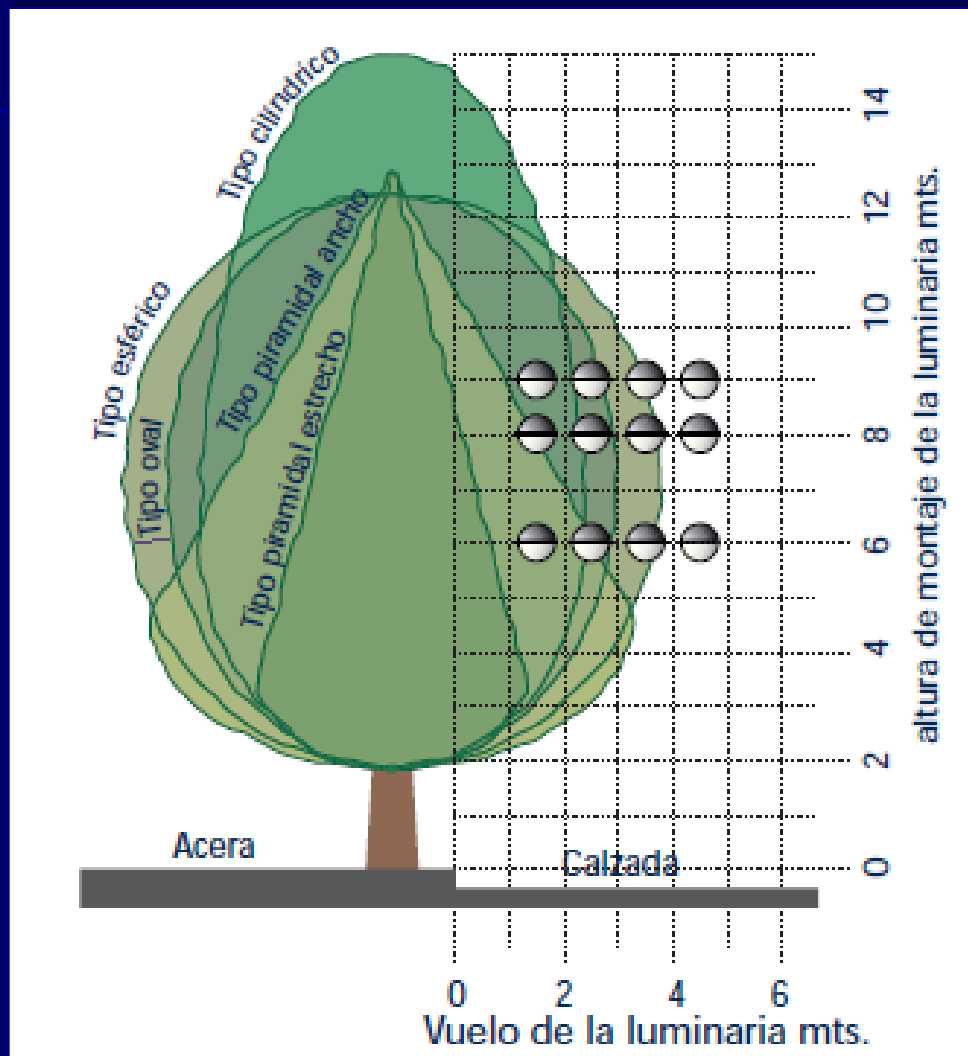
## 7.- Presencia de árboles

### a) Iluminación con árboles altos



## b) Iluminación con árboles bajos





# ■ Recomendaciones para la selección de la luminaria de alumbrado público

- Altura de montaje de las luminarias

Lúmenes de la lámpara	Altura de la Luminaria (metros)
3.000 a 10.000	6 - 7,5
10.000 a 20.000	7,5 - 9
20.000 a 40.000	9 - 12
40.000 a 50.000	12 a 15
Mayor a 50.000	> 15

Tipo de Vías Públicas	Alturas recomendables (metros)
Plazas, parques, etc	2,5 - 5
Calles secundarias	5 - 7
Avenidas y calles importantes	7 - 11
Autopistas y vías rápidas	9 - 15
Distribución de tránsito o áreas grandes	15 - 60

- Espaciamiento entre luminarias o distancia interpostal:

<b>Iluminación media (lux)</b>	<b>Relación = <math>\frac{\text{Distancia intercostal}}{\text{Altura de Montaje}}</math></b>
2 - 7	4 - 5
7 - 15	3,5 - 4
15 - 30	2 - 3,5

- Factor de mantenimiento:

<b>Característica de la vía</b>	<b>Luminaria abierta</b>	<b>Luminaria cerrada</b>
Limpia	0,75	0,8
Media	0,68	0,7
Sucia	0,65	0,68



- Funcionalidad:

