

Luminotecnia

Prof. Luz Stella Moreno Martín

Alumbrado de áreas residenciales y peatonales



Requisitos del alumbrado

- Conjugar la orientación y seguridad de movimientos con la seguridad personal de peatones y vecinos.
- Integración visual con el entorno.
- Tratamiento del Deslumbramiento.

Niveles del alumbrado

Clasificación según el uso nocturno hecho por los peatones	Nivel medio iluminancia E_m (lux)	Nivel mínimo iluminancia E_{min} (lux)
Calles en zonas privilegiadas (áreas comerciales, de ocio,...)	20	7,5
Calles de uso alto	10	3
Calles de uso moderado	7,5	1,5
Calles de uso menor. Solamente asociado a propiedades adyacentes	5	1
Calles de uso menor donde sea importante preservar el carácter de ambiente rural o la arquitectura	3	0,6
Calles de uso muy bajo donde sea importante preservar el carácter de ambiente rural o la arquitectura	1,5	0,2
Calles donde sólo es necesario el guiado visual	-	

Lámparas

La temperatura usada es entre 2000 y 3000 K, aunque se puede ampliar el intervalo a 1800 a 3300 K.

Se suelen usar:

Vapor de sodio

Mercurio

Fluorescentes

Luminarias

1.- De poste:



2.- De columna:



3.- De nivel del suelo:



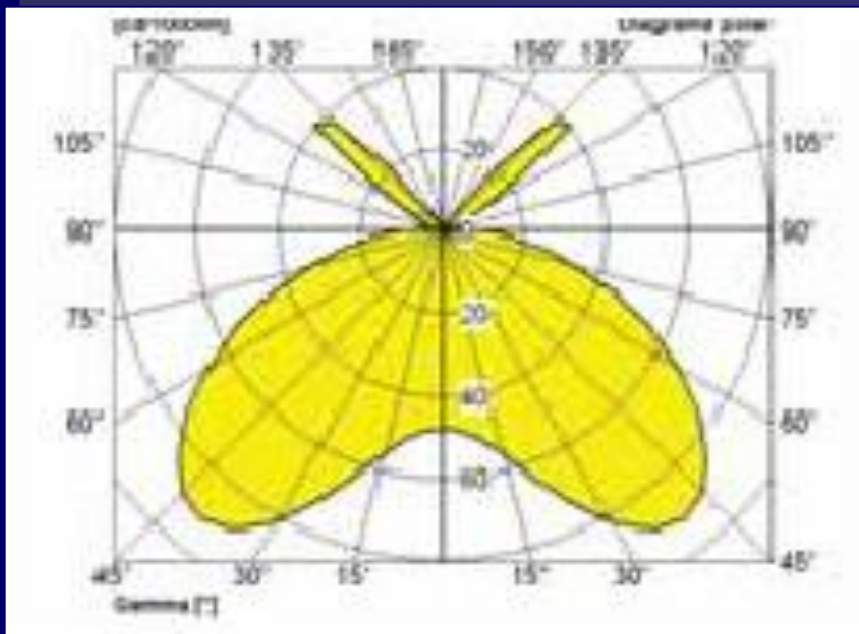
4.- De pared:



Alturas recomendada

Flujo luminoso lámpara (lm)	Altura de montaje recomendada (m)
<7000	3
7000-14000	3.5-4
14000-25000	4-6
>25000	>6

Cálculo de distancia



Altura

Angulo

Ejemplo

Alumbrado de túneles



Túneles

Es un enclaustramiento o encierro en un camino o carretera, el cual restringe la iluminación normal existente a lo largo del camino, y por tanto requiere de una evaluación de la necesidad de suministrar iluminación adecuada para proporcionar al conductor una visibilidad y confort adecuados. Estos enclaustramientos pueden estar formados por materiales naturales, tales como piedra, o bien contruidos con acero y concreto.

Factores que ayudan o perjudican la visibilidad en los túneles

- Características de la carretera al aproximarse al túnel
- Características del interior del túnel (piso, paredes y techo)
- Características del área alrededor de la entrada al túnel
- Condiciones atmosférica y del entorno
- Características del tráfico vehicular
- Orientación con respecto al sol

Evolución

- Túneles para canales navegables
- Túneles para ferrocarriles
- Túneles para carreteras

Problemática visual en los túneles

- Efecto de inducción
- Efecto de adaptación
- Influencia de las luminancias de velo
- Distancia de seguridad mínima de frenado con visión normal (Safe Stopping Sight Distance: S.S.S.D)

Clasificación

- Túneles cortos: Son aquellos que tienen un largo igual o menor a la distancia de seguridad mínima de frenado con visión normal (Safe Stopping Sight Distance: S.S.S.D.) 60m, 100m 160m
- Túneles largos: Es aquel que tiene una longitud mayor al S.S.S.D.

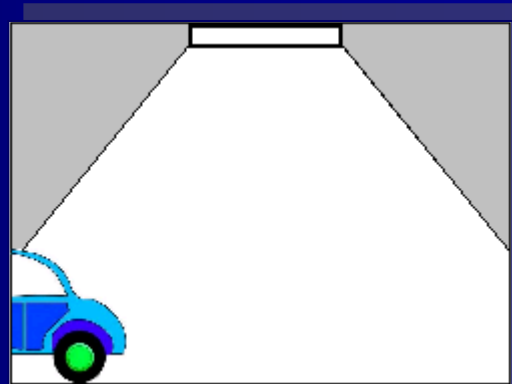
Distancia mínima de frenado (S.S.S.D)

Velocidad del tráfico para frenado		Distancia mínima de visión segura para frenado (m)	
Km/h	m/s	Superficie mojada	Superficie seca
50	13,89	65	51
60	16,67	85	66
70	19,44	110	82
72	20	115	85
80	22,22	140	100
100	27,78	200	133
120	33,34	290	190

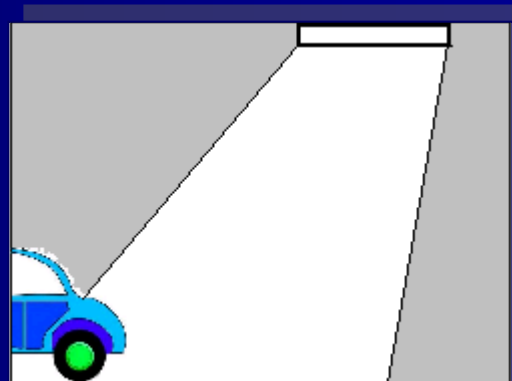
Aplicaciones prácticas de iluminación de túneles

- Viales:

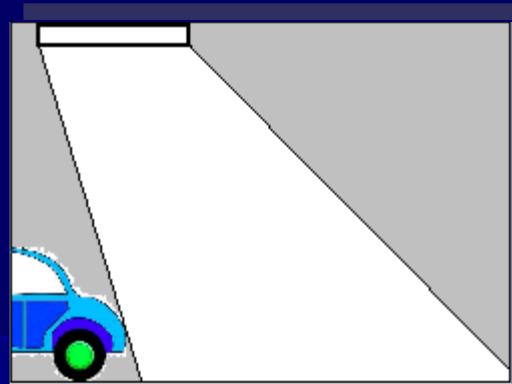
Alumbrado simétrico



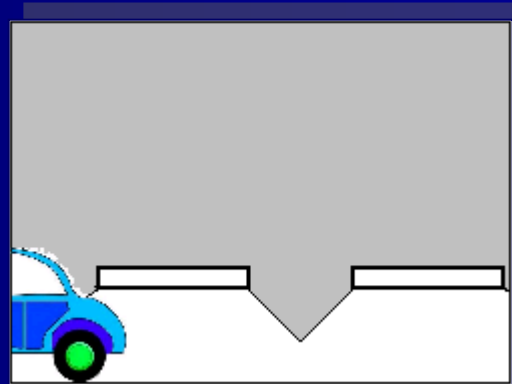
Alumbrado Counter Beam (a contra flujo de la circulación)



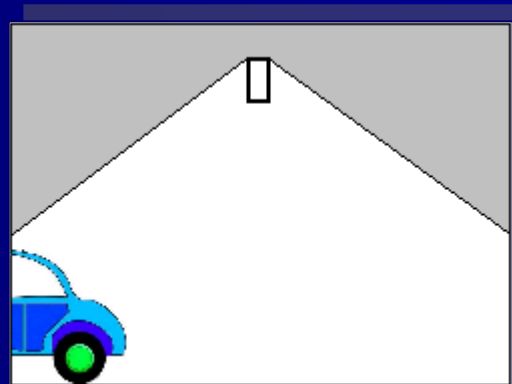
Alumbrado pro beam
(con flujo dirigido en el
sentido de la circulación)



Alumbrado rasante,
puentes y viaductos así
como sistemas para
aeropuertos



Alumbrado rasante,
puentes y viaductos así
como sistemas para
aeropuertos



- Ferrovianos:



- Diversas aplicaciones:



Iluminación diurna

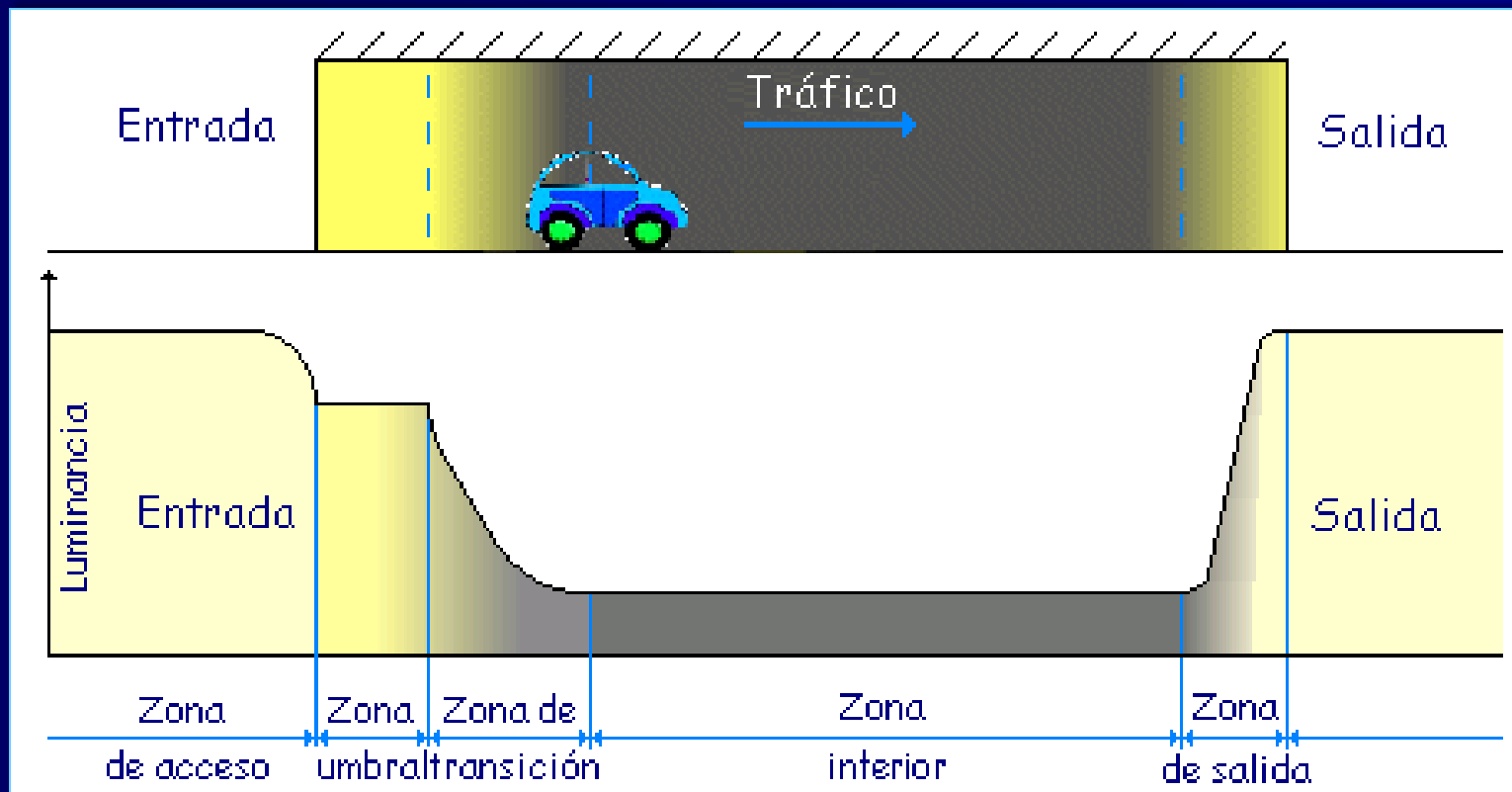
Efecto del
agujero
negro



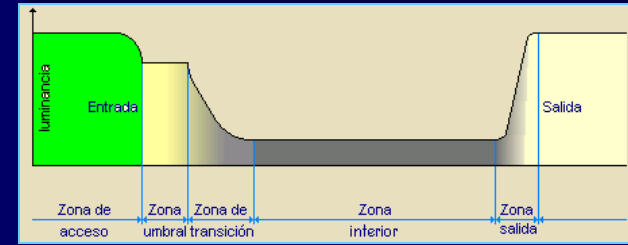
Adaptación

Inducción

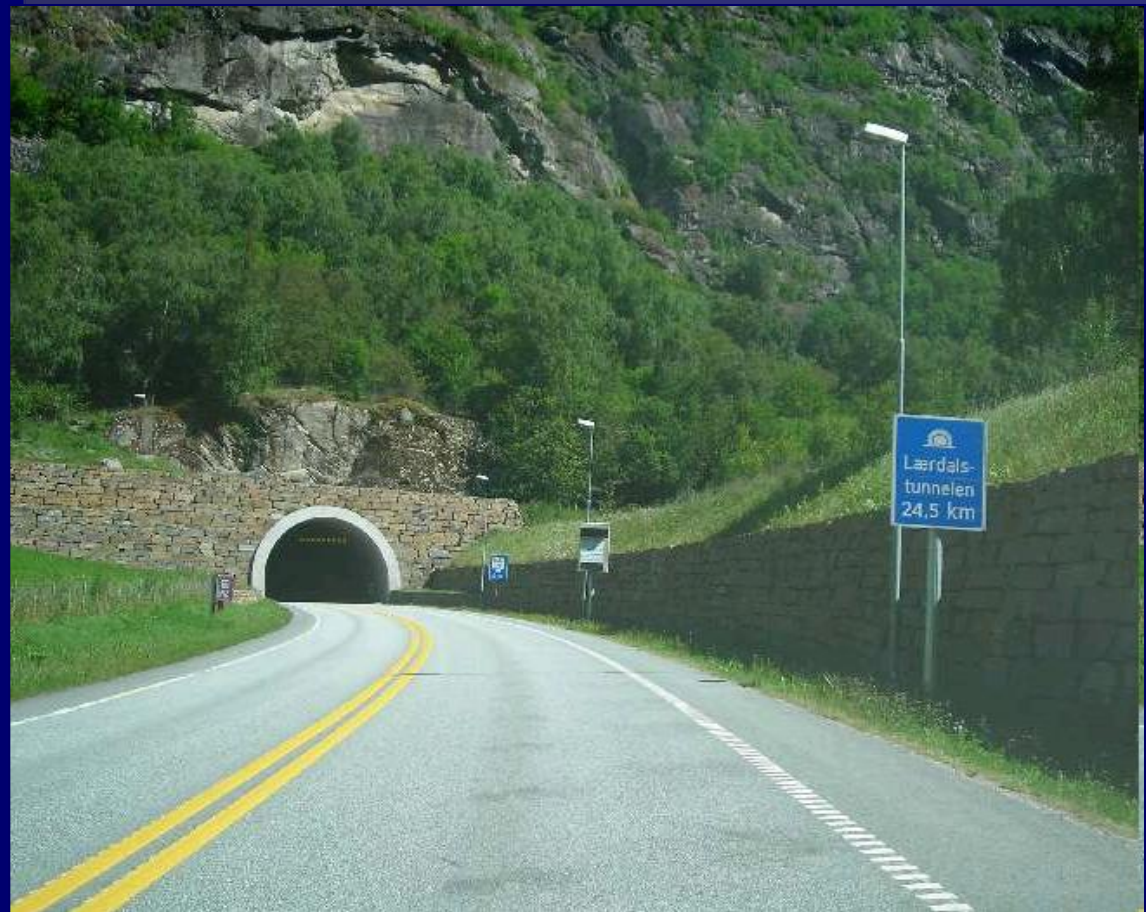
Niveles de iluminación en túneles unidireccionales



Zona de acceso



Zona
montañosa



Zona
llana y
descubierta



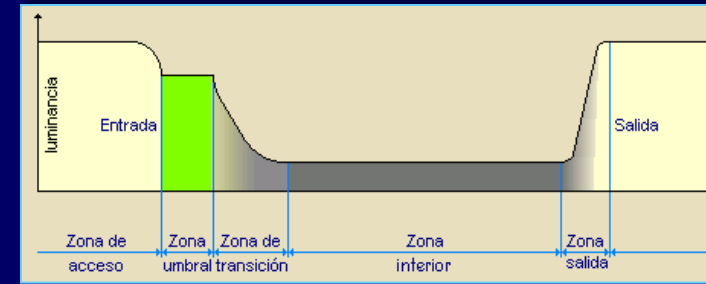
Zona
edificada



España Túnel de cuatro caminos Madrid

Región	Luminancia máxima (cd/m²)
Llana y descubierta	8000
Montañosa o edificada	10000

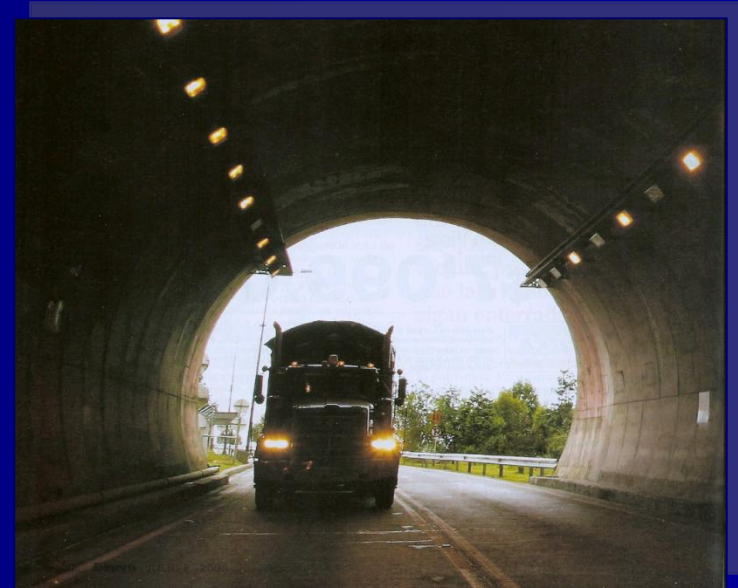
Zona umbral



Información visual adecuada: Es cuando se puede distinguir en el 75% de los casos un objeto crítico de 20 por 20 cm con un contraste del 20% sobre el fondo a una distancia de 100 m.

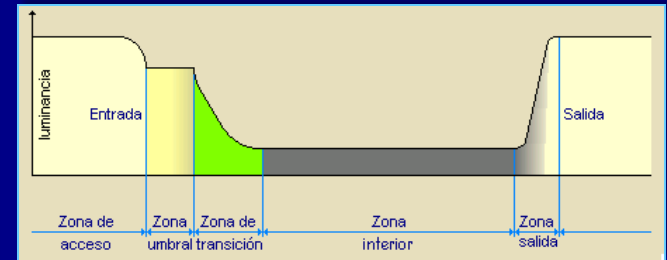
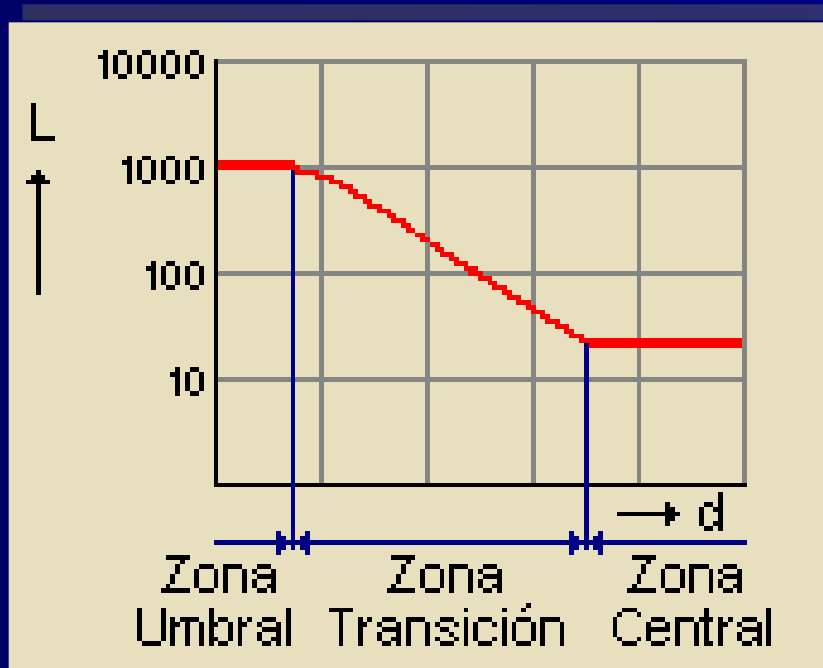
La iluminación debe ser al menos del 10% de la luminancia de la zona de acceso.

El tramo será entre 40 y 80 metros

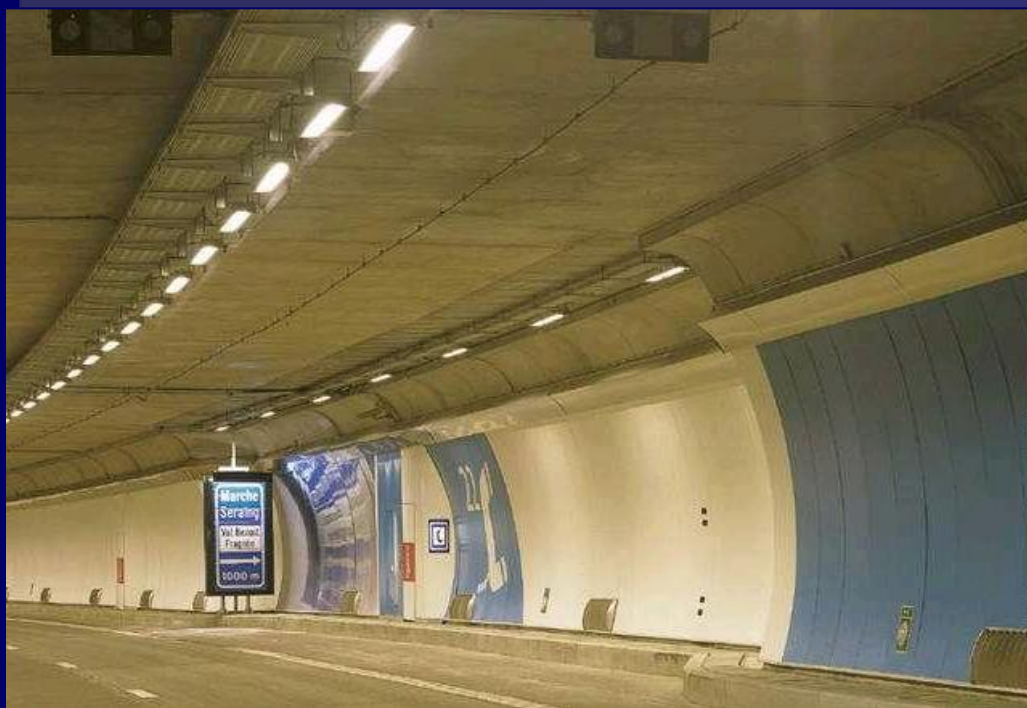
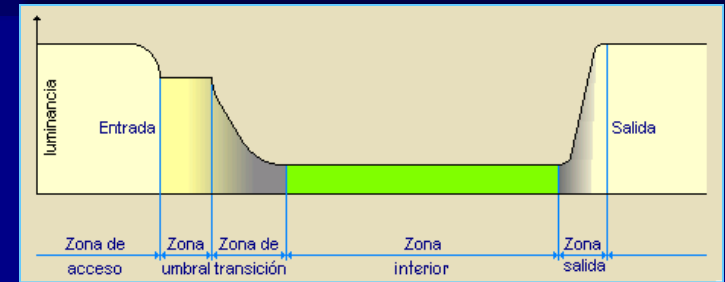


Zona de transición

Curva de reducción de la luminancia

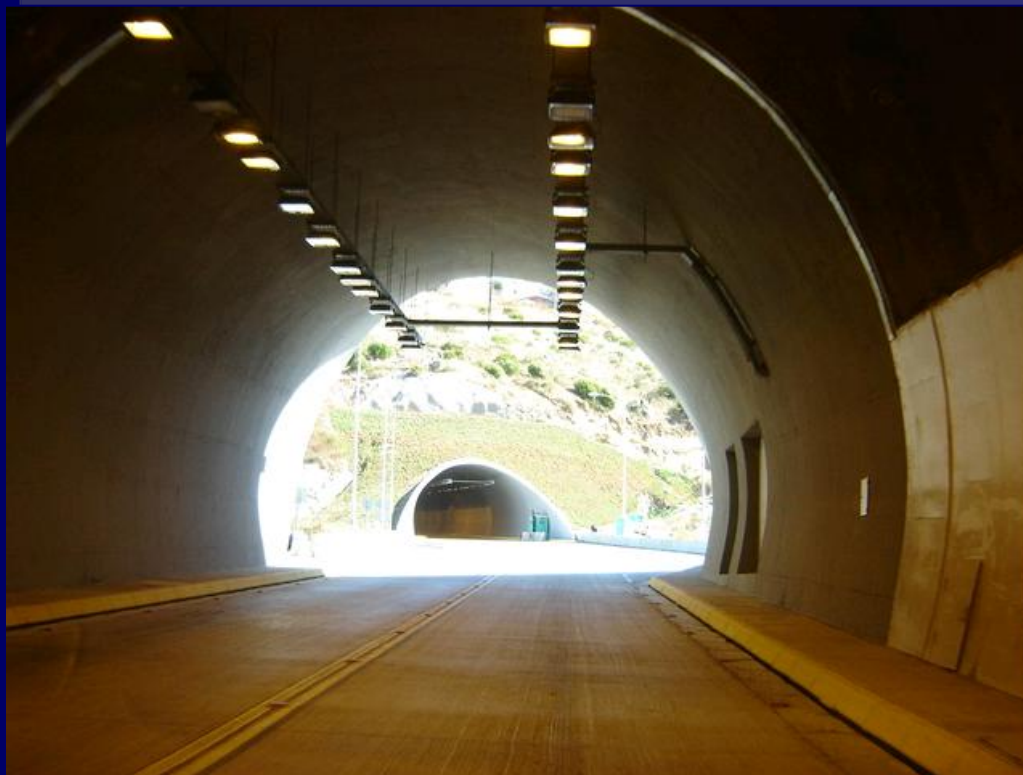
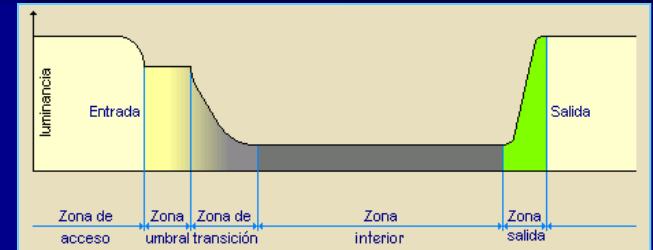


Zona interior



5-20 cd/m²

Zona de salida



20 cd/m²

Criterio para el diseño de la iluminación de túneles

Requisitos para el día (CIE)



Zona de acceso

- Nivel de luminancia requerida de la zona de acceso L_{20}

Campo de visión cónico de 20°



$$L_{20} = \gamma * L_{\text{cielo}} + \rho * L_{\text{camino}} + \varepsilon * L_{\text{alrededores}}$$

A. Luminancia de la zona de Acceso (kcd/m²)

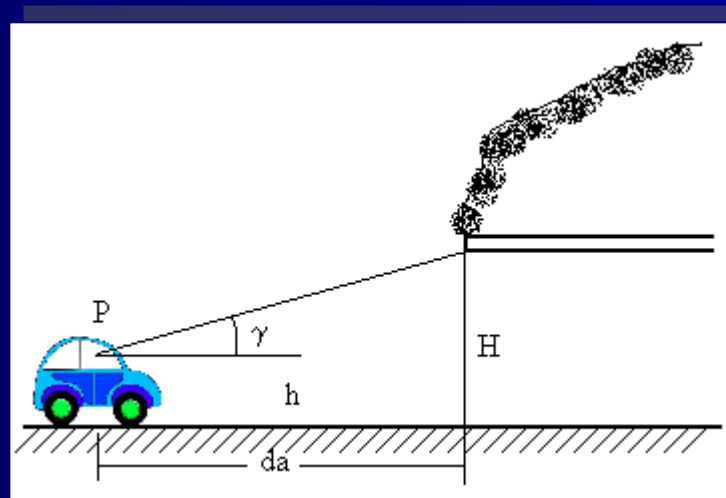
Porcentaje de cielo en un cono de visión de 20°

Distancia de detención (m)	35%		25%		10%		0%	
	normal	nieve	normal	nieve	normal	nieve	normal	nieve
60	-	-	4-5	4-5	2.5-3.5	3-3.5	1.5-3	1.5-4
100-160	5-7.5	5-7	4.5-6	5-5	3-4.5	3-5	2-4	2-5

B. Luminancia de la zona de acceso (Valores por defecto)-partes componentes

Dirección de conducción (hemisferio norte)	Alrededores					
	L_{cielo}	L_{camino}	roca	edificios	nieve	pradera
N	8	3	3	8	15(v) 15(h)	2
E-O	12	4	2	6	10(v) 15(h)	2
S	16	5	1	4	5 (v) 15(h)	2

- Ubicación del punto de adaptación para la determinación de la zona de entrada



$$d_a = (H-h)/\text{tg}(\gamma)$$

$$\gamma = 20^\circ$$

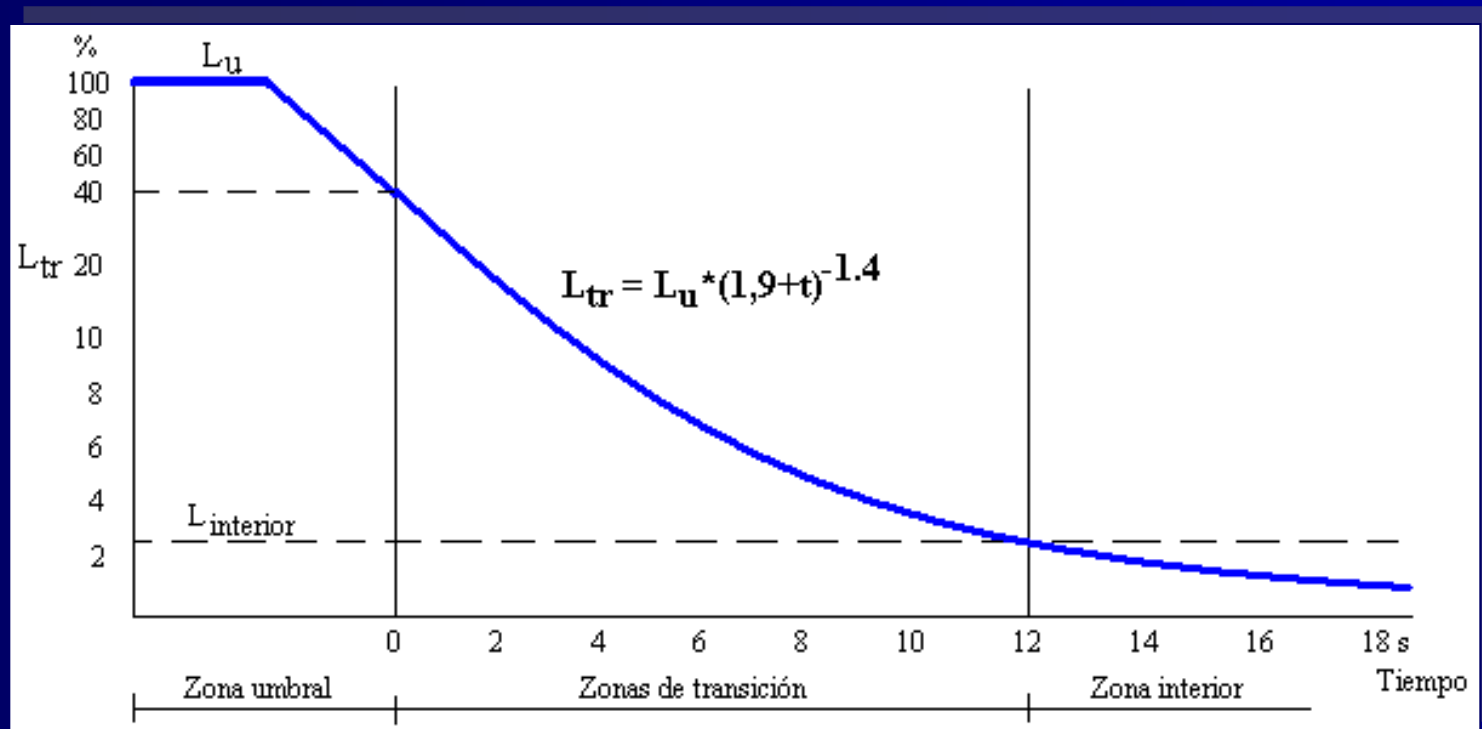
Zona de umbral L_u

Distancia de detención (m)	Sistema de iluminación simétrica (L_u/L_{20})	Sistema de iluminación asimétrica (L_u/L_{20})
60	0.05	0.04
100	0.06	0.05
160	0.10	0.07

La longitud de esta zona debe ser igual a d_a . Desde la mitad de d_a el nivel de iluminación puede disminuir gradual o linealmente a un valor final de la zona del umbral equivalente a $0.4 \cdot L_u$. Nunca debe exceder la relación 3:1.

Zona de Transición L_{tr}

$$L_{tr} = L_u * (1,9+t)^{-1,4}$$



Longitud de la zona de transición

$$\text{Long tr} = (V/3.6) * t_a$$

V: velocidad de diseño (Km/h)

t_a: tiempo de transición en segundo

Zona de Interior L_{int}

Distancia de detención (m)	Densidad de Tránsito		
	<100 veh/h	100< veh/h <1000	>1000 veh /h
60	2	2	3
100	5	4	6
160	6	10	15

Luminancia en la zona interior versus sistema de alumbrado

Sistema de Alumbrado	Distancia de seguridad S.S.S.D.		
	60 m	100 m	160 m
1	0,5	2	3
2	1	2	4
3	2	3	5
4	2	3	6
5	2	4	6
6	3	5	8
7	3	6	10

Clasificación de las luminarias según apertura del haz de luz 10% I_{\max} CIE

Clase	Apertura del haz en grados 10% I_{\max}
1	10 - 18
2	18 - 29
3	29 - 46
4	46 - 70
5	70 - 100
6	100 - 130
7	> 130

Zona de Salida L_{ext}

$$L_{ext} = 5 * L_{int}$$



Criterio para el diseño de la iluminación de túneles

Requisitos durante la noche (CIE)

- Si la carretera está iluminada se reduce en el túnel hasta el valor de la carretera
- Si no está iluminada la relación exterior-interior no debe superar 3:1 y se recomienda de 1 a 5 cd/m², una uniformidad total L_{\min}/L_{med} de 0,4 y una uniformidad longitudinal L_{\min}/L_{\max} de 0.6 para cada carril
- Se debe iluminar la carretera en la salida como mínimo por 200 m a un nivel no menor que un tercio de la iluminación de salida del túnel ($L_{\text{camino}} > 1/3 L_{\text{int}}$)

Lámparas

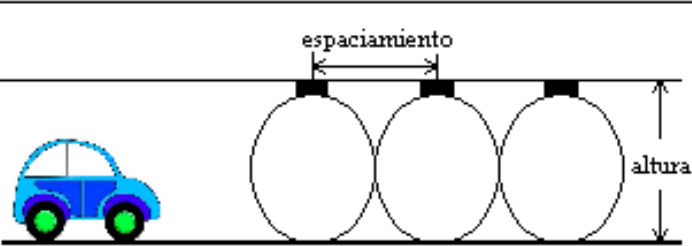
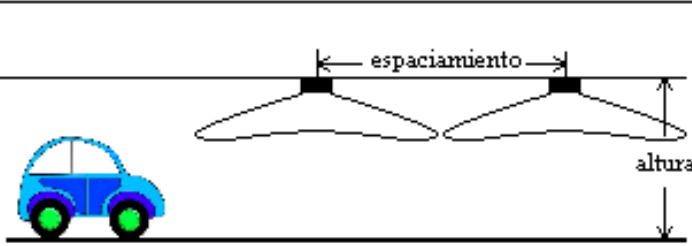
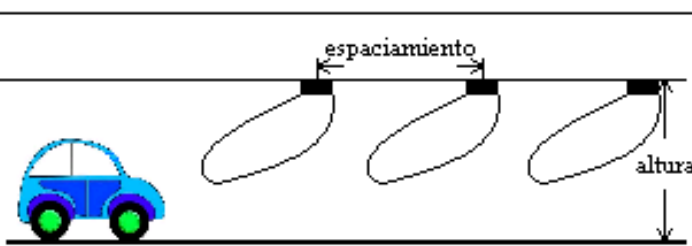
- Las lámparas utilizadas se caracterizan por tener una elevada eficiencia luminosa y larga vida útil. Por eso se utilizan lámparas fluorescentes tubulares o de vapor de sodio a baja presión.
- En la entrada donde los requerimientos luminosos son mayores se instalan lámparas de halogenuros metálicos o de vapor de sodio a alta presión.

Luminarias

- Deben ser robustas, herméticas, resistentes a las agresiones de los gases de escape y los productos de limpieza.
- Deben ser de fácil instalación, acceso y mantenimiento.

Distribución de las Luminarias

- Ha de garantizar una distribución de luz uniforme sobre la calzada, el control del deslumbramiento, el nivel de luminancia, etc.
- Efecto cebra
- Efecto de parpadeo o flicker (entre 2.5 y 15 ciclo/segundo)
- Se usan generalmente a prueba de corrosión, polvo y agua IP55, IP65

		Máxima relación espaciamiento	Tipo de lámpara preferido	Eficacia cd/w
Transversal		1.5	TLD SOX-E	2.0
		2.0	SON-T	4.0
Longitudinal		3.5	SOX-E	4.5
		4	SON-T	3.5-4
Opuesto al tránsito		2-2.5	SON-T	4.5

Control de iluminación



TLS-420

Fotómetro para entrada de túneles permite medir el promedio de luminancia en un túnel y sus alrededores en concordancia con las recomendaciones CIE.

Uniformidad

$$U_O = \frac{L_{\min}}{L_m} > 0.4$$

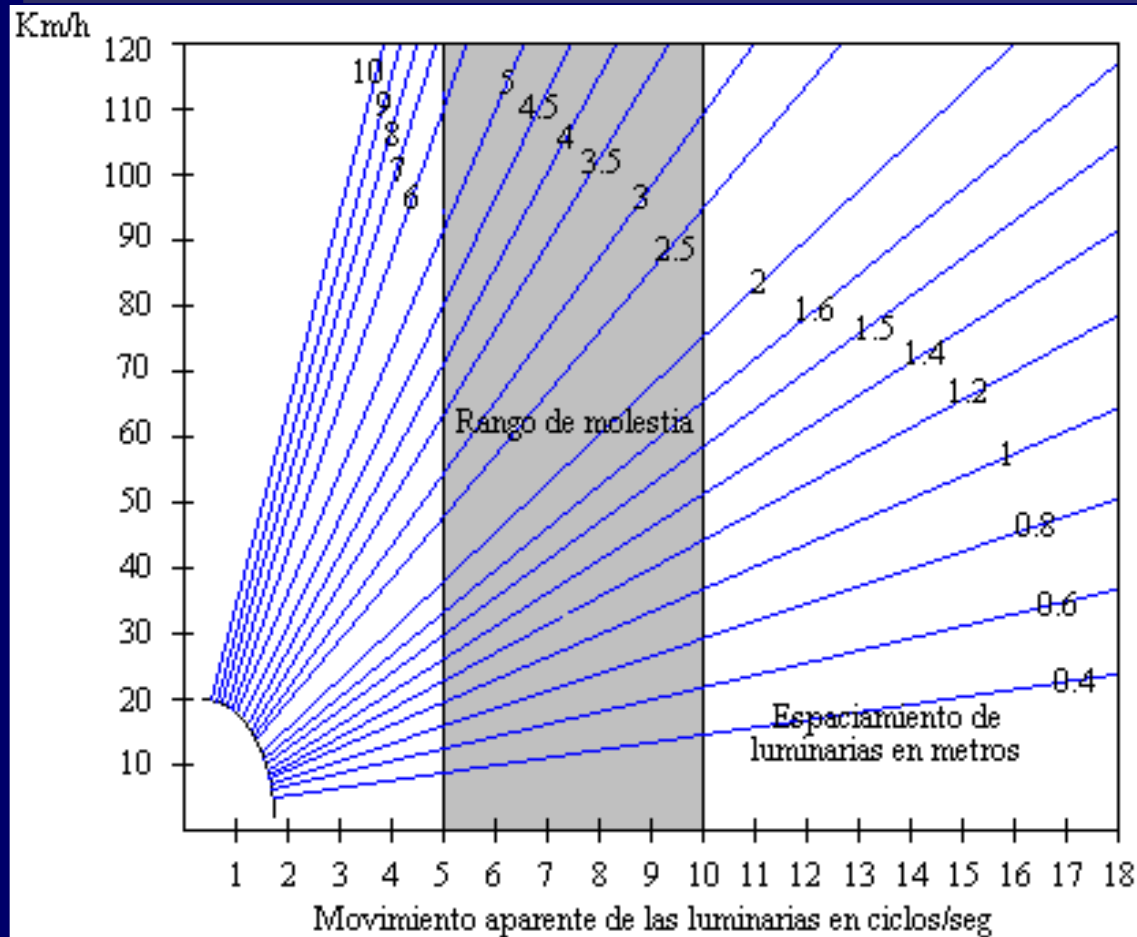
$$U_L = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} > 0.6$$

Parpadeo o efecto flicker

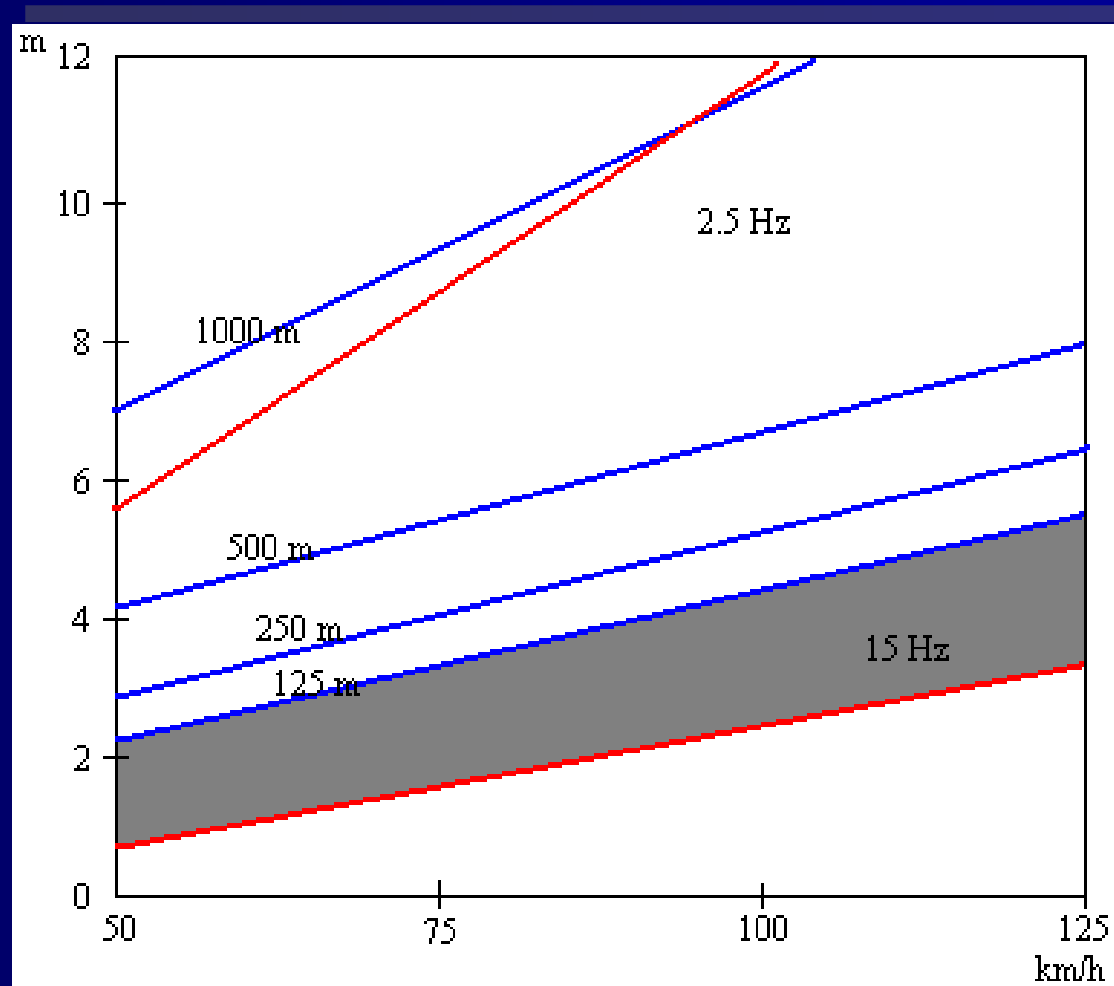
- 1.- La diferencia de luminancia durante un solo ciclo
- 2.- El número de cambios de luminancia que ocurren por segundo (frecuencia de parpadeo)
- 3.- La duración total de la experiencia

$$\text{Frecuencia de parpadeo (Hz)} = \frac{\text{velocidad del tráfico (m/s)}}{\text{espaciado de las luminarias (m)}}$$

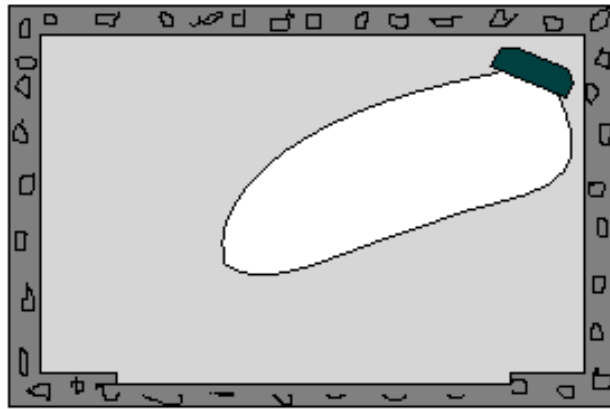
Gráfica en función de la velocidad del vehículo y la frecuencia en ciclo/seg donde las líneas son los espaciamientos de las luminarias



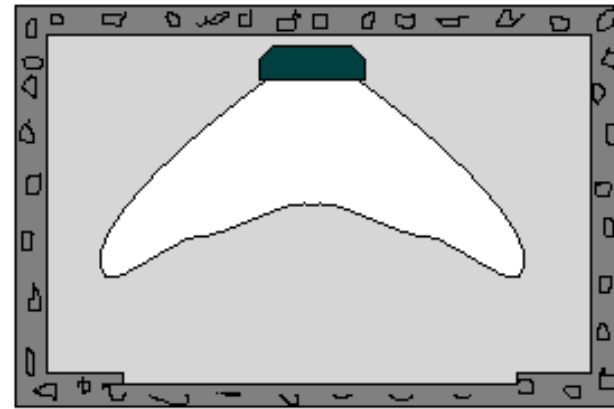
Espaciamiento prohibido de las luminarias (zona sombreada) como una función de la velocidad del vehículo necesario y espaciamiento de luminarias para evitar el parpadeo molesto en un túnel



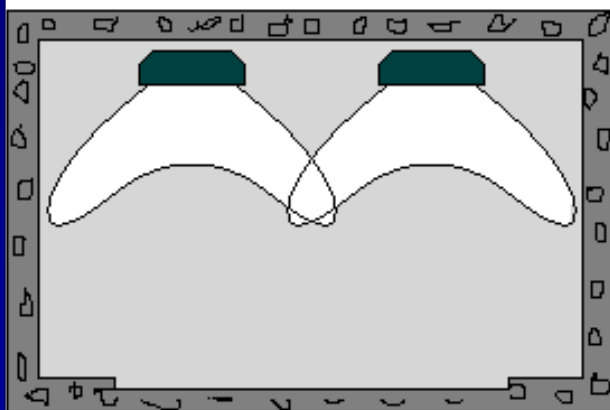
Disposición de las Luminarias



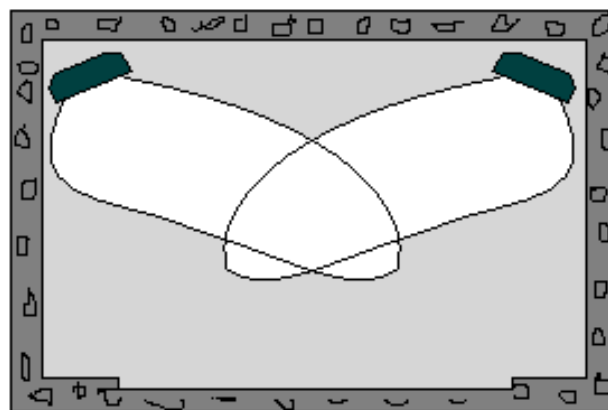
Lateral



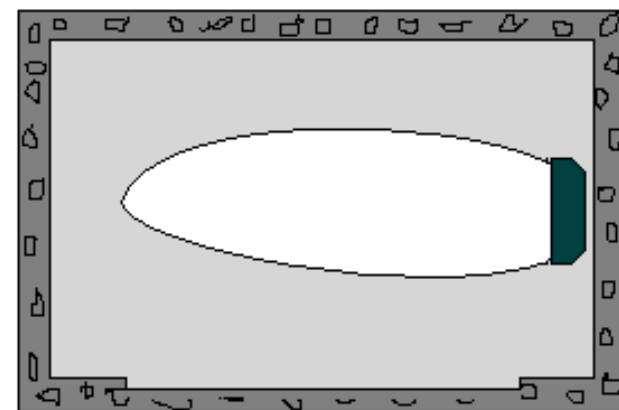
Bilateral



Axial



Biaxial



Mura 1-Wall Pack

Schreder

FV1
Bélgica
Zaventem





AF4-Túnel
Bélgica
Zelzate Tunnell

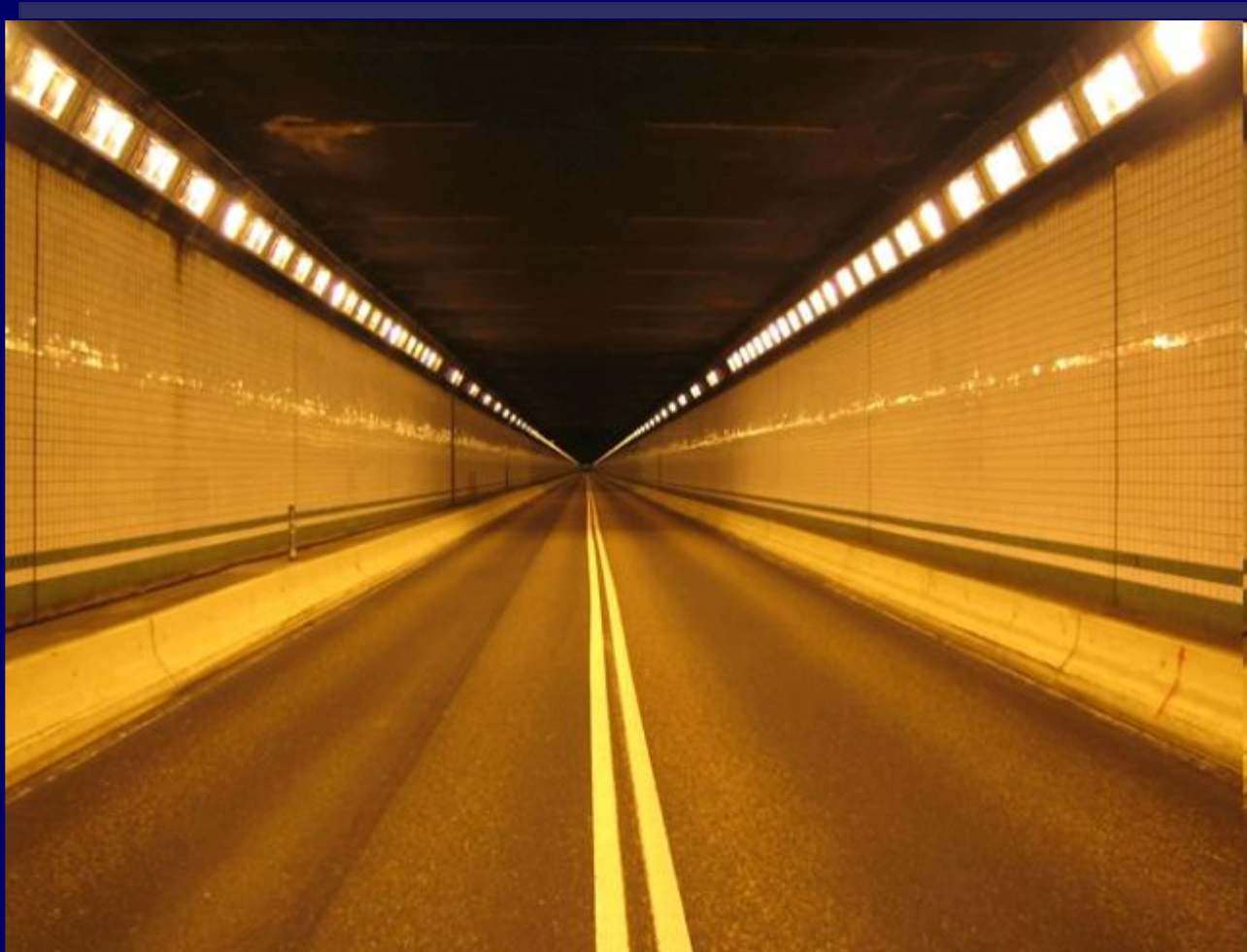


Egipto

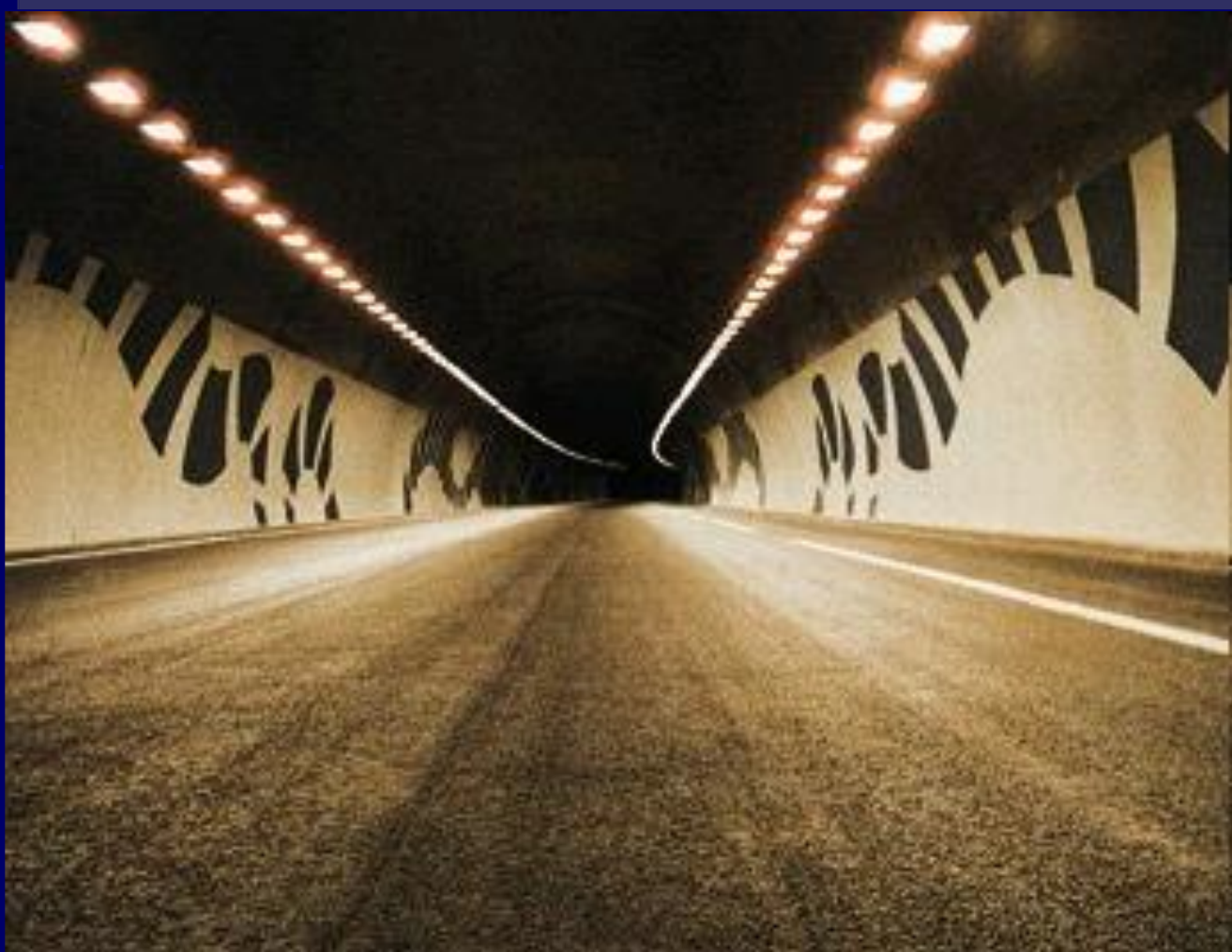
FV3



Francia
Tunnel de la "La Défense" Paris



FV4
Estados Unidos
Blue Mountain Tunnel



FV5
Francia
Tunnel de Puymorens



FR3
Francia
Tunnel de Chamoise (A40)



LV3
Malasia



ST
Bélgica

Sistema de alumbrado de emergencia

- Debe garantizar unos niveles mínimos de iluminación en caso de apagón. Se debe garantizar al menos el funcionamiento de una de cada tres luminarias. En algunos casos se usa fluorescentes compactas 18W, 36W, 55W



- Debe estar combinada con una señal de límite de velocidad a unos 100-150 mts antes de la entrada del túnel para advertir a los conductores que deben disminuir la velocidad.
- La iluminación en la zona umbral y de transición deben combinarse con el límite de velocidad de emergencia establecido y el nivel en la zona interior debe ser por lo menos igual al nivel nocturno (1 cd/m^2)



MY1
India
Delhi Metro



MY2
Francia



MY2
Estados Unidos
AMTRAK Station Providence, Rhode Island

Mantenimiento

■ Se deben hacer una serie de operaciones periódicamente como la sustitución de las lámparas o la limpieza de las luminarias, paredes y calzada. Además de contar con un sistema de ventilación eficaz que evacue los humos, gases de escape y partículas en suspensión que dispersan la luz. Asimismo, para maximizar la iluminación en el interior del túnel conviene que el techo, las paredes y la calzada sean de materiales con alta reflectancia pero sin brillos, fáciles de limpiar y resistentes a las agresiones.

fm recomendado
de 0.7

