

VIII. SOLUCIONES.

No cabe ninguna duda de que el uso de electricidad para generar luz ha constituido un innegable factor de progreso, pero no es menos cierto que su mal uso se ha convertido, lamentablemente, en una expresión característica más de nuestra irracional estilo de vida consumista. Las distintas formas de luz, sin tener en cuenta las puramente domésticas industriales, como son: las ornamentales, comerciales, propagandísticas y lúdicas, han ido apareciendo con el tiempo y poco a poco, han ido invadiendo nuestro entorno hasta convertirse en un elemento “natural” del hábitat ciudadano.

En ausencia de normativas reguladoras, el crecimiento desordenado de industrias, así como de los centros nocturnos de diversión ha ido llenando el cielo nocturno de luz y nadie ha advertido que íbamos apagando las estrellas y la noche agonizaba.

Se podría pensar que el fenómeno es inevitable y que no queda otro remedio que elegir entre frenar el progreso o extender el certificado de defunción del cielo nocturno, pero no es así. A veces cuando se plantea este mismo problema a personas desinformadas suelen responder con el tópico de que de esta forma “lo dejaremos todo a oscuras”, cuando lo que se pretende no es otra cosa que utilizar menos luz para iluminar mejor. De modo que existe solución aunque la contaminación lumínica no se puede erradicar nunca del todo porque siempre existirá un porcentaje de luz que el suelo reflejará hacia la atmósfera. Pero de lo que se trata, al fin y al cabo, es que entre otras cosas, este porcentaje de luz sea el mínimo posible.

1. EL AHORRO EMPIEZA EN LA PLANIFICACIÓN.

Y es que, hasta ahora, en los proyectos de urbanización no se ha primado que el alumbrado público incorpore las medidas necesarias para reducir la contaminación lumínica. Tampoco se ha pensado en ello al adquirir un nuevo sistema de alumbrado para sustituir el antiguo e iluminar con él no más sino mejor, de la forma más eficiente y sólo allí donde es realmente necesario, es decir, en el suelo.

Además, el gasto energético de una instalación de alumbrado público a lo largo de su vida útil viene a ser el doble de lo que costó su iluminación. Por lo tanto, las inversiones realizadas para mejorar la eficiencia energética y disminuir la contaminación lumínica red redundarán en un importante ahorro económico y energético.

2. UTILIZACIÓN DE LUMINARIAS ADECUADAS.

La utilización de aparatos adecuados a la hora de iluminar la calle es una solución planteada para evitar parte de la contaminación lumínica. Los aparatos mencionados son los siguientes:

2.1. Aparatos de apagado completo.

Estos dispositivos contienen y dirigen toda la luz que emiten hacia abajo. Éstos controlan la salida de luz con un reflector en el interior en vez de tener un refractor que cuelgue desde el dispositivo, según lo expuesto anteriormente. Ninguna luz sobrepasa el horizontal, de este modo se minimiza el brillo. Estos aparatos funcionan con la mayoría de las lámparas de sodio de alta presión o con lámparas de metal halógeno, ambos tipos son bastante eficientes en cuanto a la energía.

2.2. Luces con sensores de movimiento.

Estos aparatos de iluminación no se encuentran encendidos desde el ocaso al amanecer, sino que sólo cuando sus sensores detectan movimiento de personas, animales o grandes objetos. Es en este instante cuando se encienden por algunos minutos, para luego, después de pasado un tiempo, apagarse en caso de no volver a detectar movimiento. De esta forma no se desperdicia ni luz ni energía ni crean un brillo adverso o innecesario cuando se hayan instalado de modo que controlen la salida de luz.

Con este tipo de aparatos se tiende a asustar a los criminales en caso de robo por ejemplo, el ladrón al acercarse a la farola esta se enciende facilitando la tarea de la policía.

2.3. Iluminación con tiempo controlado.

Existen muchas situaciones en las que nos e requiere luz durante la noche entera y a través de estos artefactos se puede ahorrar mucha energía. Algunos ejemplos son. Anuncios luminosos, luminarias de playas de estacionamientos; la iluminación necesaria puede reducirse cuando disminuye la necesidad de esta iluminación. La visibilidad sigue siendo excelente.

2.4. Iluminación libre de brillo.

El brillo nunca ayuda a la visibilidad. El ojo humano puede ver notablemente bien, incluso a niveles muy bajos de iluminación en ausencia de brillo.

2.5. Lámparas eficientes en energía.

Naturalmente, estos artefactos ayudan a ahorrar cuando se usan en lugar de lámparas no-eficientes de energía. Según la eficiencia de energía las siguientes lámparas están

ordenadas decrecientemente: sodio de baja presión, sodio de alta presión, metal halóide y necesario.

3. EVITAR LA EMISIÓN DE LUZ HACIA EL CIELO

La primera precaución y la más importante que se ha de adoptar es la de no dirigir los rayos de luz hacia el cielo. Las pantallas de las luminarias no deben de dirigir más de un 5% de flujo luminoso por encima de la línea paralela al horizonte.

4. UTILIZACIÓN DE LÁMPARAS ADECUADAS.

Se tendrá preferencia por las bombillas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) y por las de vapor de sodio a baja presión (VSBP) puesto que las de vapor de mercurio tienen efectos sobre el consumo: gastan un 70% más que las de vapor de sodio a alta presión (VSAP) y un 140% más que las de vapor de sodio a baja presión (VSBP).

De cualquier manera, desde un punto de vista medioambiental, se recomienda utilizar las lámparas de sodio a baja presión, ya que no utilizan metales pesados y éstas consumen: 5 veces menos que las lámparas incandescentes, 2,2 veces menos que las lámparas de mercurio y 1,5 menos que las de sodio a alta presión y fluorescentes.

5. REGULAR EL HORARIO NOCTURNO DEL ALUMBRADO.

Se tendría que reducir la intensidad luminosa del alumbrado público a partir de determinadas horas de la noche en las que la actividad ciudadana se reduce al mínimo. La reducción podría efectuarse de dos maneras distintas: apagando la mitad de los puntos de iluminación o, rebajando la emisión luminosa con sistemas de regulación y temporizado.

Por otra parte, se deberían apagar las luces del alumbrado público dirigidas a monumentos y edificios corporativos después de medianoche, porque en general nadie contempla monumentos después de medianoche.

6. CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS.

Cada Ayuntamiento debe incluir en los pliegos de cláusulas administrativas de obras, de servicios y de suministros los requisitos que ha de cumplir necesariamente el alumbrado exterior para ajustarse a los criterios de prevención y corrección de la contaminación lumínica.

7. NORMAS URBANÍSTICAS.

Las construcciones, las instalaciones y las viviendas que requieren iluminación en horario nocturno deberían presentar a la administración municipal una memoria que justifique su necesidad.

8. DIFERENTES EJEMPLOS DE SOLUCIONES A LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN ESPAÑA: CANARIAS.

Canarias es un ejemplo a seguir por las restantes comunidades españolas, éste es un caso extremo debido a la presencia de los dos observatorios espaciales más importantes del Hemisferio Norte ubicados en el Teide y en Tenerife.

Carlos Herranz, experto en la materia, explica que el Instituto de Astrofísica de Canarias promovió una normativa “que protege el cielo de la contaminación lumínica, radioeléctrica y ambiental”.

Una empresa navarra (ATP Iluminación, la antigua Autoplás, de Arre) se ha especializado en la fabricación de faroles que no emiten luz por encima del plano horizontal y que han merecido la homologación y el reconocimiento del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Catalunya.

El 31 de Mayo de 2001 se aprobó la ley catalana que prohíbe las luminarias cuando emitan más del 50% de la luz por encima del plano horizontal y ordena que las instalaciones de iluminación sean diseñadas e instaladas “ de manera que se prevenga la contaminación lumínica y se favorezca el ahorro, el uso adecuado y el aprovechamiento de la energía, y han de contar con los componentes necesarios para este fin”, el texto da un plazo de ocho años para adecuar los actuales sistemas de iluminación y alumbrado.

Herranz opina que “evidentemente hace falta dinero para disponer de una iluminación no contaminante, pero es una inversión que se recupera a medio plazo porque hay un notable ahorro en el consumo”. Calcula que en cuatro años se podría amortizar el gasto en una población de tamaño medio.

9. UNA LEY PARA VER LAS ESTRELLAS.

La iluminación artificial durante la noche es un requisito imprescindible para la habitabilidad de las zonas urbanas, así como par la realización de un gran número de actividades recreativas, comerciales o productivas.

Es indudable para la seguridad ciudadana y circulación. Pero un diseño o un uso inadecuado de las instalaciones de alumbrado tiene consecuencias perjudiciales para la biodiversidad y el medio ambiente, en la medida que alteren de manera desordenada las condiciones naturales de oscuridad propias de la noche.

La iluminación nocturna excesiva o defectuosa constituye una forma de contaminación, al afectar a la visión del cielo que forma parte del paisaje natural nocturno y debe ser protegido tanto porque se trata de un patrimonio común de todos los ciudadanos como por la necesidad de posibilitar su estudio científico. Además, la aplicación de sistemas de iluminación adecuados evita este tipo de contaminación y puede tener una incidencia directa en el consumo de las fuentes de energía y posibilita un notable ahorro energético a su vez. Es decir, se trata de un caso evidente favorable al desarrollo sostenible que teóricamente persiguen las autoridades medioambientales de la Comunidad Foral Navarra.

Pero la realidad no es esta. En las calles se pueden encontrar farolas y luminarias que no sólo iluminan el suelo, sino que proyectan luz hacia el cielo. Por ejemplo, en Pamplona, tan sólo hay dos zonas en las cuales se encuentran farolas adecuadas. Los focos que se encuentran en los céspedes iluminando obras, la dirección de éstos es hacia arriba, lo que da lugar al incremento de este tipo de contaminación derrochando energía.

Los habitantes de Navarra y sus autoridades no están concienciados de esta realidad, mientras que en otras comunidades autónomas como podemos ver el ejemplo en Cataluña se aprobó el 31 de mayo la Ley de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno. En Navarra una persona lucha casi en solitario par convencer a las autoridades: Carlos Herranz Dorremochea.

Carlos Herranz, un experto en la materia, presentó en Junio de 1997, con el respaldo de la Sociedad de Ciencias Naturales Gorosti una serie de sugerencias al Avance de planteamiento del Plan Municipal de Pamplona con el fin de que éste incluyera medidas tendentes a limitar la contaminación lumínica, a lo cual , según él, le respondieron diciéndole que la propuesta ya estaba en práctica.

La respuesta desanimó a Herranz quien presentó una alegación al Plan Municipal en Abril de 1999, en él pedía que figurara en el Plan “La previsión de no instalar, ningún modelo de luminaria o proyector para la iluminación permanente de exteriores que injustificadamente emita luz por encima del nivel horizontal provocando su dispersión directa hacia el cielo, junto con la previsión de una sustitución progresiva a largo plazo de los modelos que no cumplen esta condición”, a lo que el Ayuntamiento

respondió “que gran parte de las sugerencias presentadas en la alegación son prácticas habituales que se tienen en cuenta al proyectar y mantener el alumbrado público”, pero también añadía “siempre que sea factible y no comprometa la calidad y parámetros económicos de la instalación, se colocarán luminarias cuyas curvas fotométricas sean tales que el flujo luminoso emitido quede por debajo del nivel horizontal de proyección”.

Carlos Herranz se mostró decepcionado ante la respuesta del Ayuntamiento ya que pensaba que éste era fácilmente asumible.

10. POSIBLE NORMATIVA EN LA COMUNIDAD VALENCIANA.

Esquerra Unida ha presentado en las Cortes Valencianas una nueva proposición la cual es que se analicen las características de la urbanización urbana prestando especial atención al ahorro energético, la contaminación lumínica y la eficiencia energética de las fuentes utilizadas.

Plantea a su vez que la consellería de industria elabore una normativa sobre iluminación pública que contemple, entre otros aspectos de ahorro, eficiencia lumínica y prevención de la contaminación lumínica.

El portavoz de EU, Joan Ribó explicó que la iluminación nocturna de las ciudades y pueblos es una necesidad y una demanda social que mejora la calidad de vida de los ciudadanos, incrementa la seguridad ciudadana y facilita el tráfico rodado, si bien tiene efectos negativos que provocan la contaminación lumínica.

Ribó añadió también que esta contaminación lumínica provoca “problemas importantes de incremento del consumo energético”, en un momento en el que el cambio climático “ha pasado de ser una hipótesis a convertirse en una realidad científicamente comprobada”. Indicó a su vez que los puntos de luz tipo globo envían gran parte de la luz producida hacia el cielo “sin ningún beneficio, y donde la energía eléctrica total desaprovechada supera muchas veces el 50%”.

Ribó destacó que sólo en la ciudad de Alicante se desprovechan aproximadamente 165 millones de pesetas al año (datos del año 2001). El portavoz de EU afirmó también que estas “prácticas insostenibles” tienen también sus efectos en el aumento de la producción de residuos nucleares y en la producción de dióxido de carbono.

Consideró también que “una mala iluminación supone problemas de privacidad en las viviendas, dificulta muchas veces el sueño de las personas y puede causar

dificultades incluso en la visión de los conductores” y que la contaminación lumínica dificulta y muchas veces imposibilita la observación del cielo y de las estrellas, así como la investigación astronómica, pero “por encima de todo, afecta de forma muy negativa a los equilibrios biológicos de gran parte de animales”

En este sentido, explicó que “la desaparición de la noche” en muchos sitios, provocada por la contaminación lumínica, “supone que todos los animales nocturnos no encuentren su espacio natural, y disminuyen sus densidades de población, llegando incluso en muchos casos a la extinción.

11. DISPOSICIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LA VÍA.

El alumbrado exterior es, sin duda, una de las aplicaciones más habituales e importantes de la iluminación. La posibilidad de realizar actividades más allá de los límites naturales ha abierto un abanico infinito de posibilidades desde iluminar calles y vías de comunicación hasta aplicaciones artísticas, de recreo, industriales, etc...

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos relacionados con el alcance, la dispersión y el control, sino que, se debe proporcionar una información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en el exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la media o cambiar en color de las lámparas en las salidas.

En los tramos de rectos de vía con una única calzada existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas. (Ver **IMAGEN 16.**)

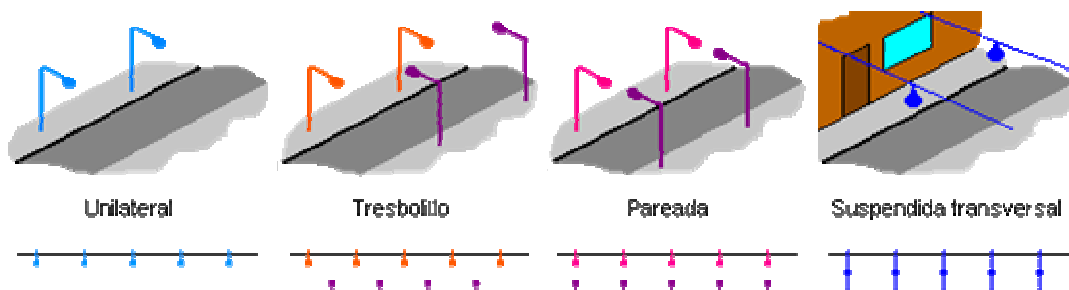


IMAGEN 16. Tipos de disposiciones de las luminarias en la vía pública.

La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1,5 veces la altura del montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1,5.(Ver **TABLA 4.**)

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

TABLA 4. Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje

En el caso de tramos rectos de vías con dos o más calzadas separadas con una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de una forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha. (Ver **IMAGEN 17.**)

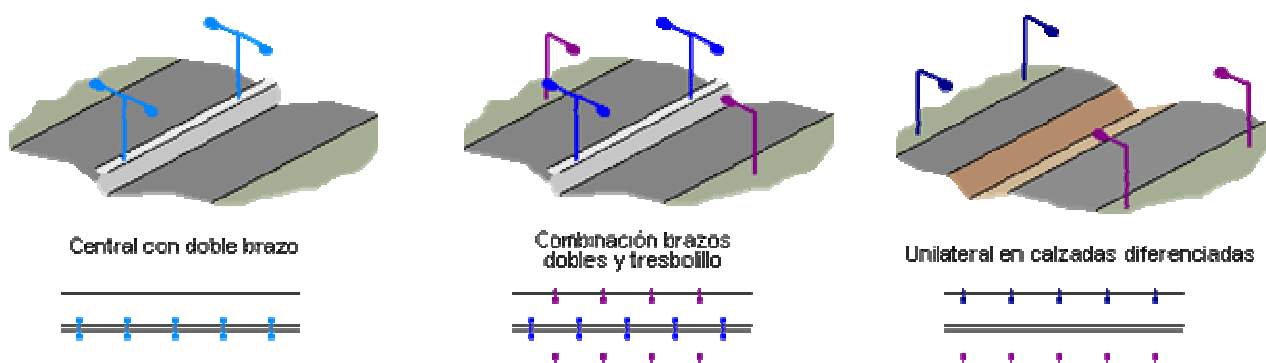


IMAGEN 17. Ubicación de las luminarias en las calzadas.

En tramos curvos las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la

curva. Si la curvatura es grande ($R > 300$ m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva. En el caso contrario, se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera. (Ver **IMAGEN 18.**)

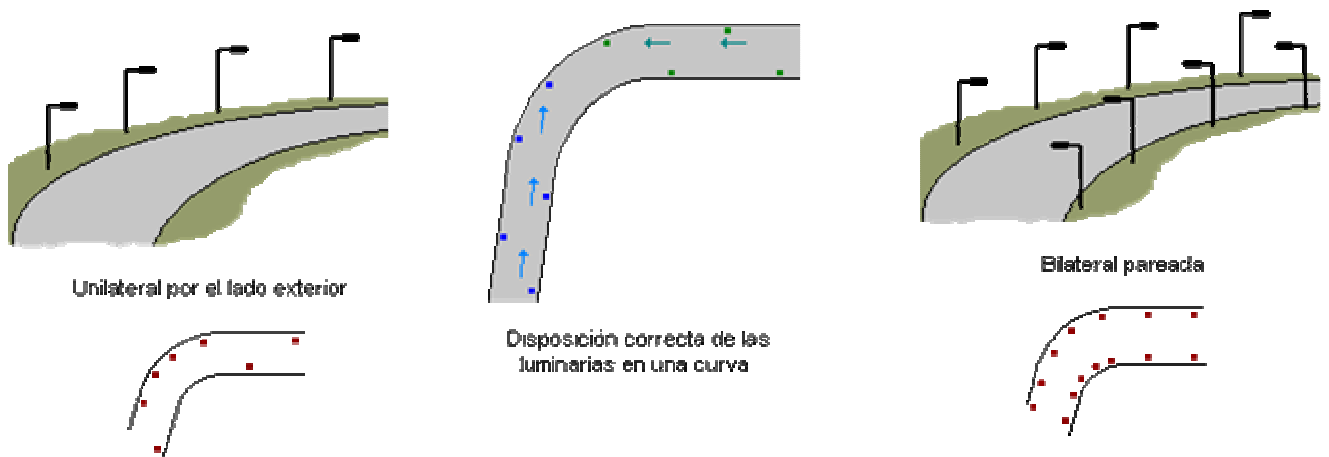


IMAGEN 18. Disposición de las luminarias en los tramos curvos de la calzada.

En cruces conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar las farolas en el lado derecho de la calzada y después del cruce. Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En la salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas. En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme. (Ver **IMAGEN 19.**)

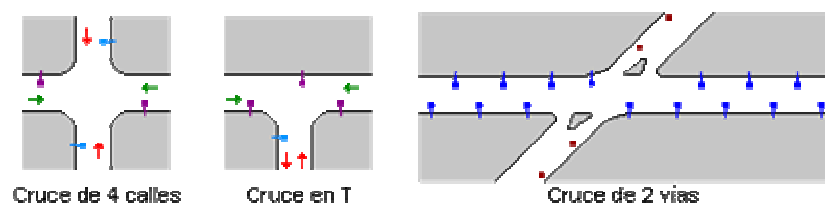


IMAGEN 19. Disposición de las luminarias en los cruces.

En las plazas y glorietas se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación

será por lo menos igual al de la calle más importante que desemboca en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta. (Ver **IMAGEN 20.**)

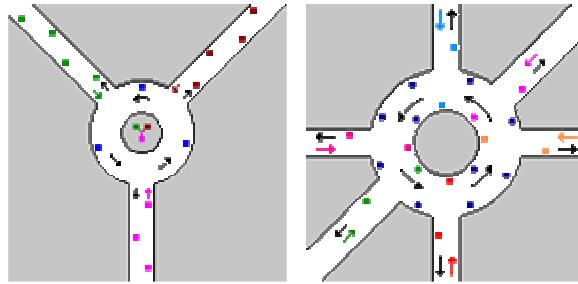


IMAGEN 20. Disposición de las luminarias en glorietas.

En los pasos de peatones las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores. (Ver **IMAGEN 21.**)

Por último, hay que considerar la presencia de árboles en la vía. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura. Pero si son pequeños las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 metros de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles. (Ver **IMAGEN 22.**)

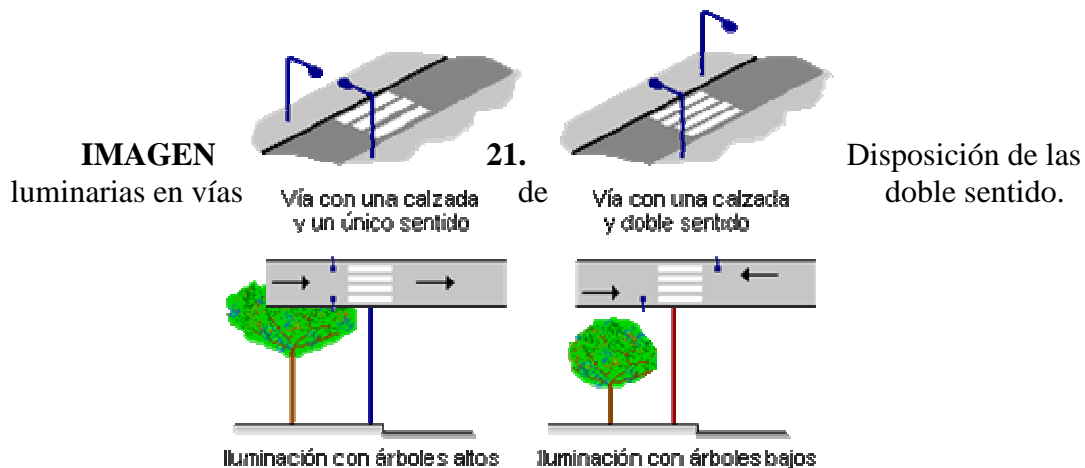


IMAGEN 22. Altura de las luminarias dependiendo de los árboles.

12. PROYECTORES.

Los ámbitos de aplicación de la iluminación con proyectores o por inundación son diversos y abarcan campos como la iluminación de áreas de trabajo o industriales, de fachadas y monumentos, de instalaciones deportivas y algunas aplicaciones en alumbrado viario (plazas, túneles, etc.). A continuación veremos los proyectores, las herramientas de cálculo y las aplicaciones.

Un proyector es una luminaria que concentra la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada en dicha zona. Las lámparas empleadas son muy variadas dependiendo del uso al que este destinado el aparato.

Los proyectores se clasifican según la apertura o dispersión del haz de luz que se define como el ángulo comprendido entre las dos direcciones en que la intensidad luminosa cae un determinado porcentaje (usualmente el 10% o el 50%) del valor máximo que hay en el centro del haz donde la intensidad es máxima. (Ver **IMAGEN 23.**)

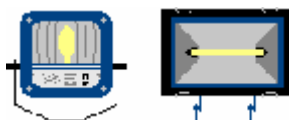


IMAGEN 23. Ejemplos de proyectores

La forma de la distribución del haz de luz depende del tipo de proyector. Así, en los proyectores circulares puede ser cónico o cónico ligeramente asimétrico, obteniéndose una proyección elíptica sobre las superficies iluminadas. Mientras, en los rectangulares suele ser simétrica en los planos horizontal y vertical; aunque en este último plano también puede ser asimétrica y la proyección obtenida tiene entonces forma trapezoidal. (Ver **IMAGEN 24.**)

Para la denominación de un proyector basta indicar los ángulos de apertura en sus planos de simetría (vertical y horizontal normalmente). Por ejemplo, 10°/40° indica un proyector que tiene en el plano vertical 5° a cada lado del eje central y 20° en cada lado en el plano horizontal. (Ver **IMAGEN 26.**)

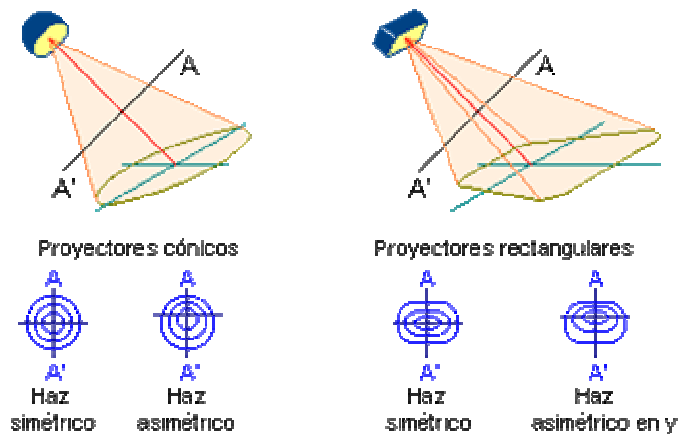


IMAGEN 25. Tipo de haz según el proyector.

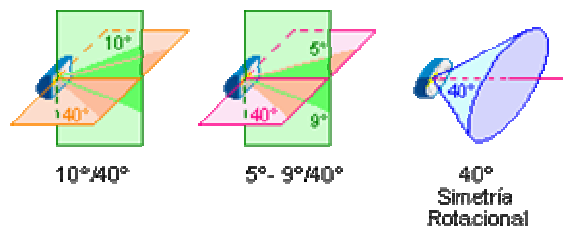


IMAGEN 26. Diferentes ángulos de apertura en sus planos de simetría.

Finalmente, la eficacia del haz es la relación entre los lúmenes contenidos dentro de la apertura del haz (lúmenes del haz) y los lúmenes de la lámpara en tanto por ciento.

$$\text{Eficacia del haz(\%)} = \frac{\text{lúmenes del haz}}{\text{lúmenes de la lámpara}}$$

12.1. Iluminación de áreas de trabajo o industriales.

Las áreas de trabajo o industriales son grandes zonas situadas al aire libre, como zonas en construcción, aparcamientos, muelles de carga, puertos, parkings, etc... Los proyectores se suelen instalar agrupados en postes altos (de 20 a 30 metros), separados entre sí de 1.5 a 3 o incluso más veces la altura de montaje, facilitando así los movimientos en la zona de trabajo. De esta manera, también se consigue disminuir el problema del deslumbramiento al quedar las luminarias fuera del ángulo de visión. En estas instalaciones se suelen usar lámparas de sodio a alta presión y las de halogenuros metálicos

12.2. Iluminación de edificios y monumentos.

Aunque los edificios han sido diseñados para verse de día con la luz solar, se pueden conseguir de noche y con una iluminación adecuada interesantes efectos que atraigan la atención de los transeúntes sobre los mismos. Es cuestión de aplicar imaginación, creatividad, estética y técnica a cada caso particular.

A la hora de iluminar edificios hay que distinguir dos casos. En primer lugar los edificios funcionales, con fachadas simples sin elementos decorativos destacables, como los típicos edificios de fachadas de cristal, donde se aplica una iluminación uniforme, de aspecto plano y sin relieve. Tienen la ventaja de que se necesitan pocos puntos de luz aunque la situación de los proyectores, lejos del edificio, puede ser un inconveniente.

En segundo lugar tenemos los edificios con elementos arquitectónicos destacables como cornisas, frisos, relieves, etc... que necesitan un tratamiento especial, una iluminación no uniforme, que realce estos elementos y cree una impresión de relieve mediante juegos de luces y sombras, contrastes de color y/o brillo, etc. Para ello, se usan proyectores colocados estratégicamente en la fachada procurando minimizar los daños en la misma.

Unos consejos útiles antes de empezar son estudiar las direcciones y distancia de observación que servirán para determinar dónde colocar los proyectores. Analizar la luminancia ambiental teniendo en cuenta que mientras mayor sea esta, mayor será la luminancia necesaria para que el edificio destaque. Ver qué obstáculos hay presentes en la dirección de observación como árboles, vallas, setos, etc.; en estos casos es recomendable poner los focos entre el edificio y los obstáculos para que sólo se vean sus siluetas. Aumentar la luminancia de la parte alta del edificio para aumentar su altura aparente, eliminar sombras no deseadas con proyectores situados sobre la fachada o aumentando la distancia de estos a la fachada, aprovechar el efecto de espejo sobre el agua, etc. (Ver **IMAGEN 27.** e **IMAGEN 28.**)



IMAGEN 27. Distintas formas de aprovechar adecuadamente la luminancia.

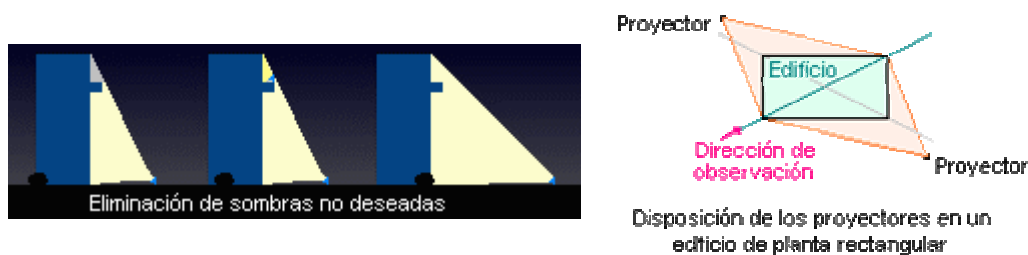


IMAGEN 28. Eliminación de sombras no deseadas y disposición de los proyectores en un edificio de planta rectangular.

Los niveles de luminancia dependen de las características de los materiales empleados (reflectancia, textura y color) y de la luminancia de los alrededores. A modo de ejemplo podemos citar la piedra calcárea (40-320 lux), el granito (50-500 lux) o el ladrillo (30-500 lux). Como podemos ver, son intervalos muy amplios cuyos valores dependen de cada caso particular.

Las lámparas a utilizar son muy variadas y dependen de los efectos que queramos conseguir. Lo más normal es emplear lámparas de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos (cuando se requiera una buena reproducción del color) o vapor de sodio (materiales pétreos de tonos cálidos).

12.3. Aplicaciones en alumbrado viario.

En este campo los proyectores se reservan para la iluminación de nudos de comunicaciones, plazas, parkings y en general de cualquier otra situación donde la instalación de luminarias tradicionales suponga complicaciones para la orientación, dificultades técnicas, etc. Presentan la ventaja de que simplifican la instalación al haber menos puntos de luz y producen una iluminación más uniforme y agradable.

12.4. Iluminación de instalaciones deportivas.

El objetivo de iluminar instalaciones deportivas ya sean interiores o exteriores es ofrecer un ambiente adecuado para la práctica y disfrute de actividades deportivas por parte de jugadores y público. Lógicamente, las exigencias variarán según el tipo de instalación (recreo, entrenamiento o competición) y el nivel de actividad (amateur, profesional o retransmisión por televisión).

Iluminar este tipo de instalaciones no es fácil, pues hay que asegurarse de que los jugadores y demás objetos en movimiento sean perfectamente visibles independientemente de su tamaño, posición en el campo, velocidad y trayectoria. Por ello es importante tanto el valor de la iluminancia horizontal como la vertical, aunque en la práctica esta última sólo se tiene en cuenta en las retransmisiones

televisivas donde es necesario un buen modelado que destaque las formas de los cuerpos.

Para evitar problemas de deslumbramiento que dificulten el normal desarrollo del juego, especialmente en deportes donde hay que mirar hacia arriba, conviene tomar medidas como instalar luminarias apantalladas, reducir el número de puntos de luz agrupando los proyectores o evitar colocarlos perpendicularmente a la línea de visión principal. Es conveniente montar las fuentes de luz a una altura adecuada; para el caso de instalaciones exteriores y visto desde el centro del campo, el ángulo formado por el plano horizontal y el eje de cualquier proyector de la batería debe ser superior a 25°. (Ver **IMAGEN 29.**)

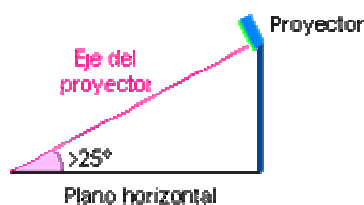


IMAGEN 29. Altura de montaje de las luminarias.

Las lámparas a utilizar dependerán de la finalidad de la instalación. En instalaciones de competición, se usan lámparas de halogenuros metálicos por sus altas prestaciones. Pero en otros casos puede bastar con lámparas halógenas o de mercurio y sodio a alta presión; más baratas.

Las luminarias, en instalaciones exteriores, se disponen normalmente en torres colocadas en los laterales, en las esquinas del campo o en una combinación de ambas. En el primer caso se emplean proyectores rectangulares cuya proyección sobre el terreno tiene forma trapezoidal obteniendo como valor añadido un buen modelado de los cuerpos. En el segundo caso se emplean los circulares que dan una proyección en forma elíptica. (Ver **IMAGEN 30.**)

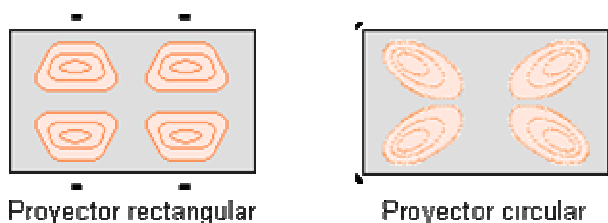


IMAGEN 30. Tipos de proyectores.

A continuación se ofrecen algunos ejemplos de disposiciones típicas de proyectores en instalaciones de entrenamiento de exteriores. (Ver **IMÁGENES 31, 32, 33.**)

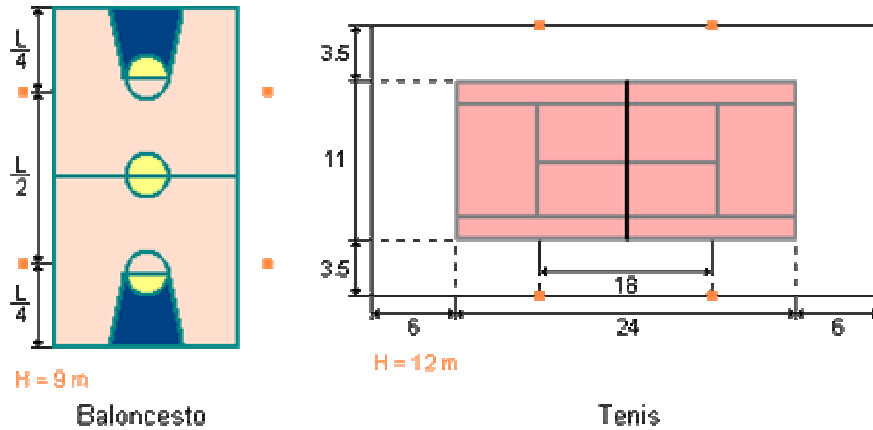


IMAGEN 31. y 32. Proyecciones en una cancha de baloncesto y de tenis.

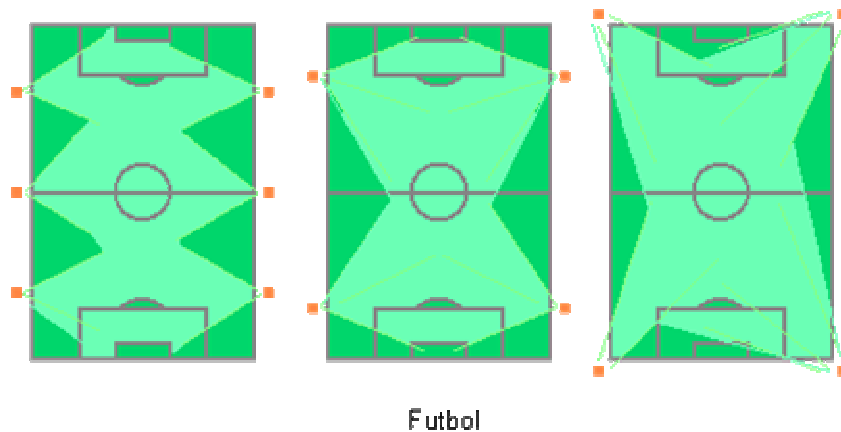


IMAGEN 33. Proyecciones en un campo de fútbol.

13. ALUMBRADO DE TÚNELES.

En la iluminación de túneles, y en general de cualquier tramo de vía cubierta, se busca proporcionar unas condiciones de seguridad, visibilidad, economía y fluidez adecuadas para el tráfico rodado. En túneles cortos, menos de 100 m, no será necesario iluminar salvo de noche o en circunstancias de poca visibilidad. En los largos, será necesario un estudio individualizado de cada caso. Para ello es necesario analizar los problemas que representan los túneles para los vehículos en condiciones de día o de noche, el mantenimiento necesario y las características de los equipos de alumbrado a instalar.

13.1. Iluminación diurna.

Cuando nos aproximamos a un túnel de día, la primera dificultad que encontramos es el llamado efecto del agujero negro. En él, la entrada se nos presenta como una mancha oscura en cuyo interior no podemos distinguir nada. Este problema, que se presenta cuando estamos a una distancia considerable del túnel, se debe a que la luminancia ambiental en el exterior es mucho mayor que la de la entrada. Es el fenómeno de la inducción.

La inducción se produce cuando no es posible distinguir un objeto de otros a su alrededor por mucho tiempo que se mire. Esto se debe a que su luminancia es muy inferior a la del campo de distribución de luminancias del resto de objetos del campo visual. Dicho de forma sencilla, es un problema de contrastes de luminancias entre un cuerpo y el resto del campo visual. (Ver **IMAGEN 34.**)



IMAGEN 34. Efecto del agujero negro.

A medida que nos acercamos a la entrada, esta va ocupando una mayor porción del campo visual y nuestros ojos se van adaptando progresivamente al nivel de iluminación de su interior. Pero si la transición es muy rápida comparada con la diferencia entre las luminancias exterior e interior, sufriremos una ceguera momentánea con visión borrosa hasta llegar a un nuevo estado de adaptación visual. Es lo mismo que ocurre cuando, en un día soleado, entramos en un portal oscuro y durante unos instantes no vemos con claridad. Es el fenómeno de la adaptación.

La adaptación es la capacidad del ojo para ajustarse a los cambios en los niveles de iluminación. No es un proceso inmediato, ya que depende del tiempo de reacción del ojo, que es muy rápido al pasar de ambientes oscuros a luminosos pero apreciablemente más lento en caso contrario.

Cuando el cambio es brusco, por ejemplo el flash de una cámara, se produce una ceguera temporal durante la cual no vemos con claridad los objetos a nuestro alrededor.

Se trata, por lo tanto, de un problema de diferencia de niveles de luminancia entre el exterior ($3000-8000 \text{ cd/m}^2$) y el interior del túnel ($5-10 \text{ cd/m}^2$). Podríamos

pensar que manteniendo un valor de luminancia próximo al exterior en toda su longitud habríamos resuelto el problema, pero esta solución es antieconómica. Lo que se hace en túneles largos, con densidad de tráfico elevada o cualquier otra circunstancia que dificulte la visión, es reducir progresivamente el nivel de luminancia desde la entrada hasta la zona central. En la salida no hay que preocuparse de esto pues al pasar de niveles bajos a altos esta es muy rápida. Así pues, podemos dividir los túneles en varias zonas según los requerimientos luminosos. (Ver **IMAGEN 35.**)

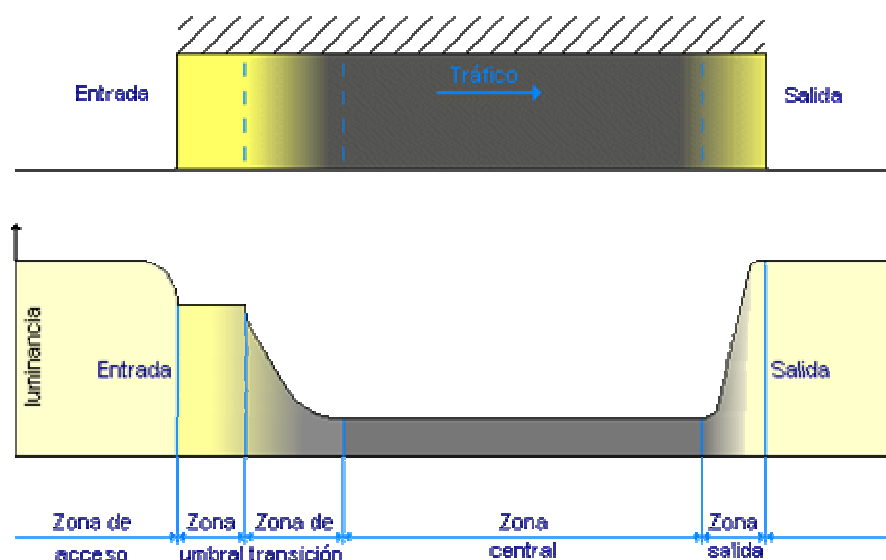


IMAGEN 35. Niveles de luminancia requeridos en un túnel de tráfico unidireccional.

13.2. Zona de acceso a túneles.

Antes de establecer la iluminación necesaria en la entrada del túnel, debemos determinar el nivel medio de luminancia en la zona de acceso o luminancia externa de adaptación. Este magnitud se calcula a partir de las luminancias de los elementos del campo visual del observador como puedan ser el cielo, los edificios, las montañas, los árboles, la carretera, etc. y su valor oscila entre 3000 y 10000 cd/m^2 . (Ver **IMAGEN 36.**)



Zona llana y descubierta Zona montañosa Zona edificada

IMAGEN 36. Zona llana descubierta, zona montañosa y zona edificada.

En zonas llanas y descubiertas donde el cielo ocupa la mayor parte del campo visual podemos tomar un valor máximo de 8000 cd/m^2 . Mientras en las zonas montañosas o edificadas donde cobran mayor importancia las luminancias de los edificios, las montañas, la carretera o los árboles se adopta un valor de 10000 cd/m^2 . (Ver **TABLA 5.**)

Región	Luminancia máxima (cd/m^2)
Llana y descubierta	8000
Montañosa o edificada	10000

TABLA 5. Diferencias de las luminancias en diferentes regiones.

13.3. Zona de umbral.

Para proporcionar al conductor una información visual adecuada en la entrada del túnel, la iluminación debe ser por lo menos un 10% de la luminancia de la zona de acceso en un tramo de longitud aproximadamente igual a la distancia de frenado del vehículo (entre 40 y 80 m para velocidades comprendidas entre 50 y 100 km/h). Como aún así la luminancia necesaria es muy alta y supone un consumo importante de energía, se pueden intentar rebajar aplicando medidas especiales.

La primera de ellas es rebajar el límite de velocidad en el túnel y hacer que los vehículos usen sus propias luces. De esta manera se facilita el proceso de adaptación y se reduce la distancia de frenado y por tanto la longitud de la zona de umbral. Asimismo, conviene emplear materiales no reflectantes oscuros en calzada y fachadas en la zona de acceso para rebajar la luminosidad y otros claros con propiedades reflectantes de la zona de umbral para maximizarla. También es conveniente evitar que la luz directa del Sol actúe como fondo de la entrada del túnel. A tal efecto conviene cuidar la orientación geográfica, maximizar el tamaño de la entrada, plantar árboles y arbustos que den sombra sobre la calzada, usar paralúmenes, etc. En estos últimos casos hay que tener cuidado en regiones frías porque en invierno pueden favorecer la aparición de hielo en la calzada además de otros problemas. Por último, es posible crear

una zona iluminada con farolas antes de la entrada para favorecer la orientación visual y atraer la mirada del conductor hacia el túnel.

13.4. Zona de transición.

Como al llegar al final de la zona de umbral el nivel de luminancia es todavía demasiado alto, se impone la necesidad de reducirlo hasta los niveles de la zona central . Para evitar los problemas de adaptación, esta disminución se efectúa de forma gradual según un gradiente de reducción o en su defecto una curva escalonada con relaciones de 3 a 1 entre luminancias. Estas curvas, obtenidas empíricamente, dependen de la velocidad de los vehículos y la diferencia entre las luminancias de las zonas umbral e interior.

13.5. Zona central.

En la sección central de los túneles el nivel de luminancia se mantiene constante en valores bajos que rondan entre 5 y 20 cd/m^2 según la velocidad máxima permitida y la densidad de tráfico existente. Es conveniente, además, que las paredes tengan una luminancia por lo menos igual a la de la calzada para mejorar la iluminación en el interior del túnel.

13.6. Zona de salida.

En la salida las condiciones de iluminación son menos críticas pues la visión se adapta muy deprisa al pasar de ambientes oscuros a claros. Los vehículos u otros obstáculos se distinguen con facilidad porque sus siluetas se recortan claramente sobre el fondo luminoso que forma la salida. Esto se acentúa, además, si las paredes tienen una reflectancia alta. En estas condiciones, la iluminación sirve más como referencia y basta en la mayoría de los casos con unas 20 cd/m^2 para obtener buenos resultados.

13.7. Iluminación nocturna.

En ausencia de luz diurna, iluminar un túnel resulta mucho más sencillo. Basta con reducir el nivel de luminancia en el interior del túnel hasta el valor de la iluminación de la carretera donde se encuentra o si esta no está iluminada que la relación entre las luminancias interior y exterior no pase de 3 a 1 para evitar problemas de adaptación. En este último caso se recomienda un valor aproximado entre 2 y 5 cd/m^2 . Hay que tener en cuenta que aunque no se presente el efecto del agujero negro en la entrada sí se puede dar en la salida. Por ello es recomendable iluminar la carretera a partir de la salida durante un mínimo de 200 m para ayudar a la adaptación visual.

13.8. Equipos de alumbrado.

Las lámparas utilizadas en los túneles se caracterizan por una elevada eficiencia luminosa y larga vida útil. Por ello se utilizan lámpara fluorescentes o de vapor de sodio a baja presión dispuestas en filas continuas en paredes o techos. En la entrada, donde los requerimientos luminosos son mayores se instalan lámparas de halogenuros metálicos o de vapor de sodio a alta presión.

En el caso de las luminarias, estas deben ser robustas, herméticas, resistentes a las agresiones de los gases de escape y los productos de limpieza. Además de ser de fácil instalación, acceso y mantenimiento. Debido a los gases de escape y partículas en suspensión es conveniente una limpieza periódica. Momento que se puede aprovechar para sustituir las lámparas fundidas aunque conviene también establecer un plan de sustitución periódica de todas las lámparas a la vez según el ciclo de vida de las mismas para garantizar un nivel de iluminación óptimo.

La distribución de las luminarias es muy importante; ha de garantizar una distribución uniforme de la luz sobre la calzada, el control del deslumbramiento, el nivel de luminancia, etc. Pero además, los túneles presentan dos dificultades añadidas: el efecto cebra y el efecto del parpadeo o *flicker*. El efecto cebra se produce por la aparición sucesiva de zonas claras y oscuras ante el conductor que puede llegar a sentir una sensación de molestia e incluso mareo debido a una baja uniformidad de las luminancias en el túnel. El efecto de parpadeo o *flicker* se produce por cambios periódicos de los niveles de luminancia (unos reflejos, unas lámparas...) en el campo visual según unas frecuencias críticas (entre 2.5 y 15 ciclos/segundo) que provocan incomodidad y mareos y se evita colocando los aparatos en filas continuas o con una separación adecuada.

Como las condiciones de iluminación en el exterior varían con la climatología y con las horas del día es conveniente instalar un sistema de regulación automática de la iluminación interior. Esta se hace gradualmente, con variaciones entre los estados inicial y final inferiores a 3 a 1. Para simplificar, se distingue entre tres niveles de iluminación: diurno, nocturno y crepuscular para los días nublados.

Es necesario disponer, además, de un sistema de alumbrado de emergencia que garantice unos niveles mínimos de iluminación en caso de apagón. En este sentido hay que garantizar por lo menos el funcionamiento de una de cada tres luminarias.

13.9. Mantenimiento.

Para mantener en buenas condiciones el sistema de iluminación del túnel y conservar unos niveles óptimos es necesario realizar 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.

14. CARACTERÍSTICAS Y USO DE LAS LUMINARIAS.

Los criterios a seguir en la elección de las luminarias, para conseguir una iluminación eficiente de interiores, podemos resumirlos en estas tres normas básicas: La lámpara nunca deberá sobresalir de la boca del reflector. El haz de luz producido no debe extenderse fuera de la zona que necesitamos iluminar, ya que ésta es energía que se pierde, produciendo deslumbramiento, fatiga visual, etc. (Ver **IMAGEN 37**)

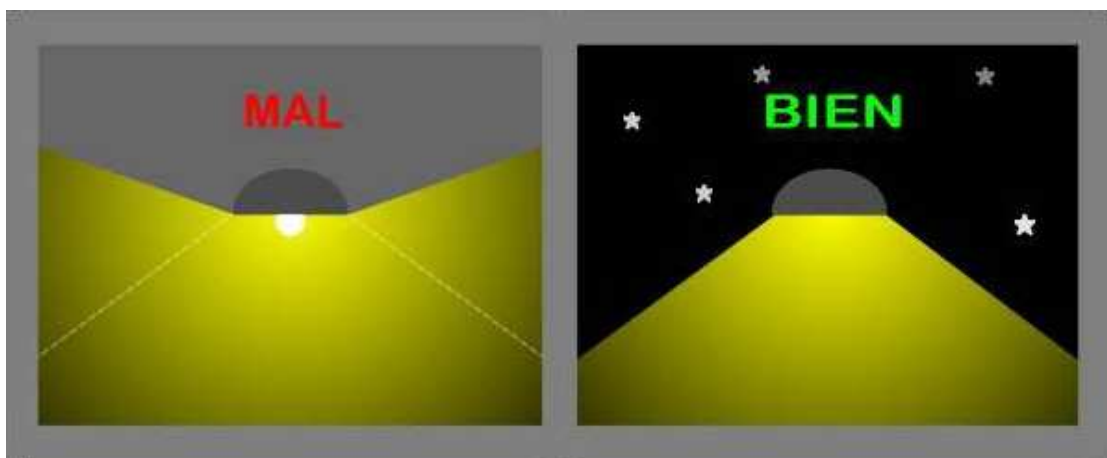


IMAGEN 37. Diferencia entre una lámpara que emite parte de su espectro al cielo y otra que no.

- El cristal de cierre debe ser plano y transparente. El cristal abombado o prismático dispersa la luz produciendo importantes pérdidas de energía y deslumbramiento.
- La boca del reflector debe orientarse siempre hacia el suelo, con el cristal de cierre en posición horizontal. Cuando el centro de la zona a iluminar se encuentre desplazado de la vertical de la luminaria, se utilizará una con reflector

asimétrico, que produce un haz inclinado manteniendo horizontal la boca del reflector. Otra solución aceptable, si la luminaria es de reflector simétrico, consiste en dotarla con una rejilla o una visera que corte el flujo superior y lateral, reflejándolo hacia el suelo, procurando además que su inclinación no supere los 45 °. (Ver **IMAGEN 38**)

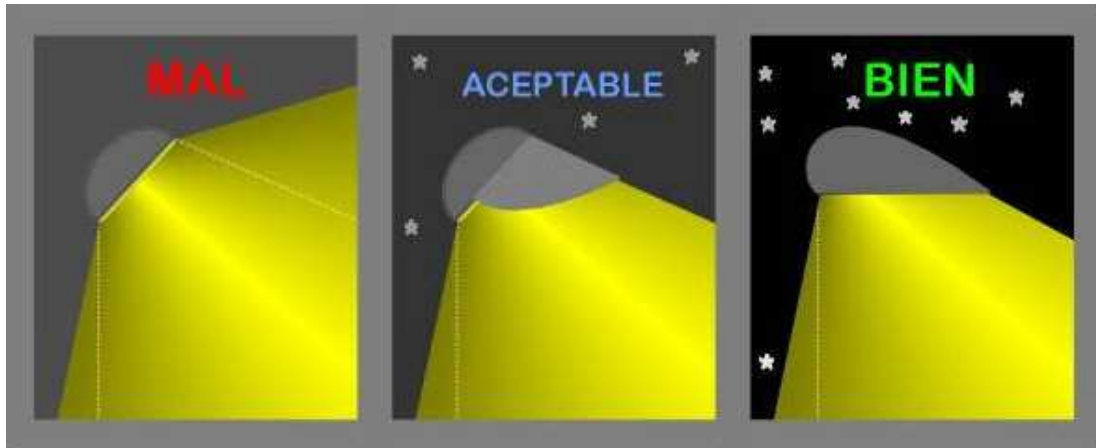


IMAGEN 38 . Distintas maneras de colocar la boca del reflector.