

Capítulo 11.

ILUMINACIÓN POR PROYECCIÓN

11.1	Generalidades	167
11.2	Iluminación utilitaria	168
11.3	Iluminación decorativa	170
11.4	Iluminación deportiva	180

11.1. Generalidades

El Comité Internacional de Iluminación (C.I.E.) define la iluminación por proyección como: *La iluminación de un lugar (escena, área) o de un objeto, por medio de proyectores, a fin de aumentar fuertemente su iluminación en relación con los alrededores.*

Hay un gran número de campos de aplicación totalmente diferentes y de sistemas de iluminación a los cuales se les aplica ordinariamente el término "iluminación por proyección" (también se utilizan los de *iluminación dirigida o por inundación*). La técnica común a todas las instalaciones de iluminación por proyección consiste en el uso de proyectores para obtener un aumento de la iluminancia de una superficie con respecto a sus alrededores.

Esta importante rama de la técnica de la iluminación es la más ligada quizás al desarrollo de los países y está teniendo un general e importantísimo incremento.

La escala de aplicaciones abiertas a la iluminación dirigida con propósitos decorativos y utilitarios es amplia y variada. Sin embargo, las más importantes se enumeran a continuación:

- **Iluminación utilitaria** (grandes áreas de trabajo).
- **Iluminación decorativa** (edificios, monumentos, puentes, parques y jardines).
- **Iluminación deportiva.**

Cada caso, en iluminación por proyección o con proyectores, es un problema a resolver en particular, y a veces precisaremos haces muy estrechos, de gran intensidad en candelas, para poder llegar a zonas u objetos situados a grandes distancias, mientras que otras veces precisaremos determinados ángulos de apertura para lograr buena uniformidad en la iluminación de la zona o campo, ajustándonos en lo posible a sus límites geométricos.

Si añadimos la enorme variedad que pueden presentar las tres variables más importantes que intervienen en todos los casos (tipo de área, situación geométrica de los equipos de alumbrado y condiciones del entorno o alrededores) deducimos fácilmente que es prácticamente imposible establecer una normalización. Únicamente en la mayoría de los casos de iluminación deportiva (unificación de dimensiones, reglas de juego, etc.), es factible el establecimiento de normas generales, aún cuando admiten numerosas variantes. Por tanto, para ayuda del técnico que ha de realizar el estudio o proyecto de la instalación, sólo podemos proporcionarle las más importantes reglas básicas, recomendaciones, tablas o datos a tener en cuenta, contando siempre con su justo criterio a la hora de suplir deficiencias.

Recopilación de datos

Es la base fundamental para tomar decisiones posteriores. Cuanto más datos, planos, observaciones, posibilidad de los emplazamientos, horas de encendido, previsión de acumulación de suciedad, alrededores de la zona, calles, cruces, carreteras o vías próximas, centros de alimentación, posibilidades del presupuesto, etc., tomemos, tanto mejor.

- En iluminación de seguridad, protección o producción, hemos de tomar nota de las horas de encendido, necesidades en horas punta, deslumbramientos, contrastes favorables, condiciones atmosféricas, etc.
- En iluminación decorativa o arquitectónica, no hemos de olvidar posibles efectos de color, sombras y contrastes, ángulos de proyección, reflectancia de la superficie, brillos de los alrededores, etc.
- En iluminación deportiva, nos fijaremos preferentemente en las posibles exigencias en iluminación vertical, en evitar sombras y deslumbramientos a los usuarios o al público, contrastes y clase o carácter del juego (competición, club, entrenamiento, recreo, etc.).

Determinación de la iluminancia

En el caso de no sernos dada, hemos de fijar el nivel recomendable, teniendo en cuenta todas las particularidades y con ayuda de las tablas que aparecen a lo largo y al final de este capítulo.

Pero no sólo ha de tenerse en consideración el nivel luminoso mínimo para una percepción correcta del objeto (facilitada siempre por la extraordinaria capacidad de adaptación del ojo humano), sino también se ha de procurar evitar la más leve fatiga visual de las personas sometidas durante largos periodos de tiempo a la acción de la iluminación artificial. Con ello podemos evitar accidentes o merma de facultades.

11.2. Iluminación utilitaria

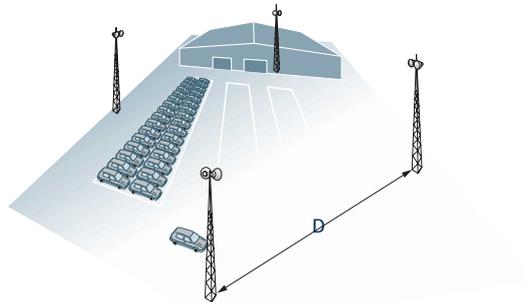
Este sistema de iluminación lo integran aquellos casos en que la iluminación por proyección viene obligada por la necesidad de seguridad, protección o producción, constituyendo el único sistema lógico de realizar el alumbrado. Muchos espacios grandes, por ejemplo intersecciones de caminos, puertos, zonas de clasificación en ferrocarriles, zonas de construcción, áreas de almacenamiento, complejos de depósitos, etc., se iluminan utilizando alumbrado por proyección con columnas altas. La iluminación con columnas altas se prefiere, principalmente, debido a la menor cantidad de columnas de iluminación que se utilizan, factor que contribuye a la facilidad de movimiento en el área iluminada.

El sistema de columnas altas, en general, presenta un ahorro en los costes si se lo compara con un sistema que use columnas bajas. El ahorro se da principalmente en el costo total de las columnas, lámparas, luminarias y cables, aunque también hay una reducción de los costos de mantenimiento.

Generalidades

Altura de columnas

Para calcular la altura de las columnas (torres o postes) sobre las que se montarán los proyectores de forma que no se produzca un deslumbramiento directo, se utilizará el ábaco de la Fig. 2. Hay que tener en cuenta que con alturas excesivas se eleva considerablemente el costo de las columnas, mientras que a alturas más bajas el número de columnas, lámparas y luminarias se vuelve muy alto. Sin embargo, si hay construcciones relativamente altas en distintas posiciones dentro del área, se deben utilizar alturas de montaje inferiores a aquellas mostradas en el ábaco, para evitar que arrojen sombras fuertes sobre el área. Cuando el énfasis se pone en ahorrar espacio y en la flexibilidad del uso del área, las columnas empleadas deben superar los del ábaco, ya que al aumentar la altura, aumenta también el espacio permisible, y por lo tanto disminuye el número de obstrucciones en forma de columnas.



La altura de montaje será como mínimo $H=D/4$

Figura 1

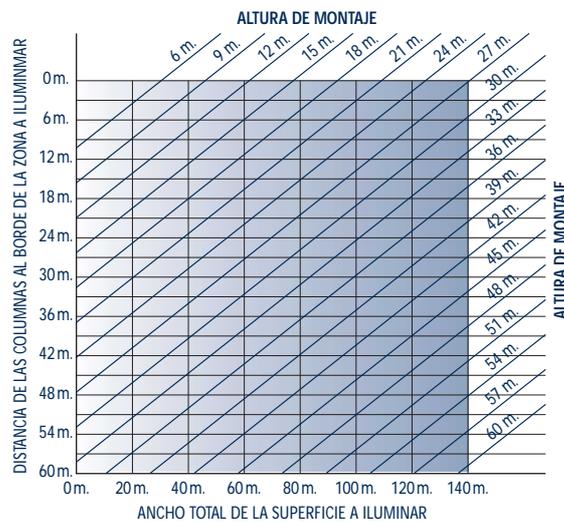


Figura 2

Niveles de iluminación

Se debe definir, al menos, el nivel requerido en el plano horizontal (iluminancia horizontal). A veces también se debe controlar la iluminancia vertical (por ejemplo, donde se llevan a cabo tareas de lectura donde se deben inspeccionar o mover mercancías).

Los niveles y uniformidades de iluminación necesarios dependen de la dificultad de la tarea visual por un lado y del grado de eficiencia y seguridad requeridos por el otro. En la Tabla 1 se indican los requerimientos de nivel y uniformidad para diferentes categorías de áreas.

Tarea visual y su categoría	Ejemplo	Iluminancia horizontal recomendada media mantenida (lux)	Factor de uniformidad
Seguridad			
Áreas de bajo riesgo	Áreas industriales de almacenaje; tránsito ocasional solamente	5	1:7
Áreas de mediano riesgo	Áreas de depósito de vehículos, terminales de containers con tránsito frecuente	20	1:4
Áreas de alto riesgo	Áreas críticas dentro de refinerías de petróleo, plantas químicas, de electricidad y de gas	50	1:2'5
Movimiento y tránsito			
Peatones	Movimiento de gente solamente	5	1:7
Vehículos lentos	Camiones montacargas y/o bicicletas	10	1:4
Tránsito normal	Alumbrado público en terminales de contenedores, lugares de maniobras	20	1:2'5
Trabajo general			
Muy arduo	Excavaciones, desmontes	20	1:4
Arduo	Manipulación de madera	50	1:4
Normal	Albañilería, carpintería	100	1:2'5
Fino	Pintura, trabajos eléctricos	200	1:2

Tabla 1. Iluminancias y uniformidades recomendadas para áreas exteriores de trabajo.

Deslumbramiento

El grado del límite de deslumbramiento requerido depende, por supuesto, de la categoría del área en cuestión (C.I.E.: Sistema de evaluación del deslumbramiento para iluminación de áreas y deportes exteriores).

En general, el deslumbramiento molesto se reducirá con el aumento de la altura de montaje. Elegir bien los proyectores y tener especial cuidado al apuntarlos también puede ayudar a mantener el deslumbramiento al mínimo. A veces, cuando el deslumbramiento es crítico, se deben colocar celosías especiales a las luminarias.

Lámparas

Las lámparas de descarga de alta intensidad se recomiendan como apropiadas para la iluminación por proyección de áreas. Las lámparas usadas con mayor frecuencia son las de descarga de Sodio a Alta Presión, y las de Halogenuros Metálicos, a pesar de que cuando la discriminación de color no es necesaria y los niveles de iluminación no excesivamente elevados, la lámpara de descarga de Sodio a Baja Presión ofrece una buena solución.

11.3. Iluminación decorativa

Este sistema de iluminación se utiliza cuando se trata de iluminar, por motivos puramente decorativos, un anuncio, una fachada, un edificio, fuente o monumento artístico, etc., con la idea de atraer sobre él la atracción del público, embellecer un paraje o como expresión de orgullo cívico, no exento de propaganda.

La iluminación, en estos casos, entra a formar parte del vocabulario arquitectónico, pasando a ser más un arte en que se manejan brillos, luces, sombras, colores y contrastes.

11.3.1. Consideraciones generales de diseño

Durante las horas diurnas, un edificio está iluminado por la luz directa del Sol, la difusa radiada desde el cielo o por ambas. El resultado es que las características arquitectónicas del edificio se ponen de manifiesto por un variado juego de luces y sombras. El diseño de una buena instalación de iluminación por proyección requiere un cuidadoso estudio de las características más atractivas del edificio y de los efectos de la luz sobre ellas. Por lo tanto, las técnicas de iluminar un edificio por proyección no están basadas únicamente en la luminotecnia, ya que el sentimiento y la comprensión de los valores estéticos son de igual importancia.

Dirección de observación

Normalmente hay varias direcciones desde las cuales puede observarse un edificio, pero en general se puede considerar una en particular como la dirección principal de observación.

Distancia de observación

La distancia de observación es importante, ya que determinará la cantidad de detalles visibles sobre la estructura que se ilumine.

Alrededores y fondo

Si los alrededores y el fondo de una estructura son oscuros, se necesita una cantidad de luz relativamente pequeña para que la estructura destaque contra el fondo. Si hay otros edificios iluminados por proyección en las cercanías, o edificios con ventanas iluminadas, o un fondo con brillo, éstos darán una fuerte impresión de luminancia. Entonces se necesitará más luz para que la iluminación por proyección produzca el impacto deseado. Otra solución puede ser la de crear contrastes de colores, en vez de diferencias de luminancias.

Obstáculos

Los árboles y las rejas que rodean un edificio pueden formar un elemento decorativo de la instalación. Una forma atractiva de hacerlo es colocar las fuentes de luz delante de ellos. Esto tiene dos ventajas: primero, las fuentes de luz son invisibles para el observador y, segundo, los árboles y rejas se ven como siluetas contra el fondo iluminado de la fachada, lo que aumenta la impresión de profundidad.

Posición y dirección de los proyectores

Una vez que se ha escogido la línea principal de observación, la implantación y enfoque de los proyectores dependerá de la forma del edificio o, mejor, de la de su planta o corte horizontal. La experiencia indica que la mejor disposición de los proyectores para un edificio con planta rectangular es el indicado de la Fig. 3. La línea principal de observación está indicada por la flecha *A* y la posición de los proyectores, por los puntos marcados *B*. Al colocar los proyectores en los dos extremos de la diagonal se obtiene un buen contraste de luminancia entre los dos lados contiguos del edificio, con lo que se logra una buena perspectiva. Los haces oblicuos de los proyectores hacen resaltar la textura de los materiales que forman la fachada. Como se observa en la Fig. 3, esta disposición para edificios rectangulares es también aplicable a los de planta cuadrada.

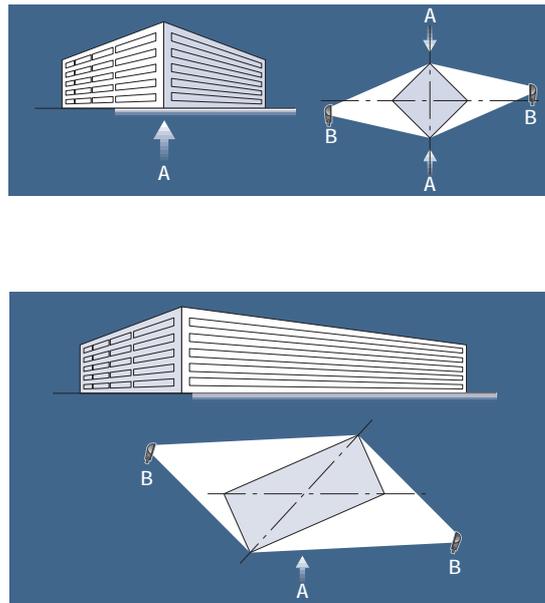
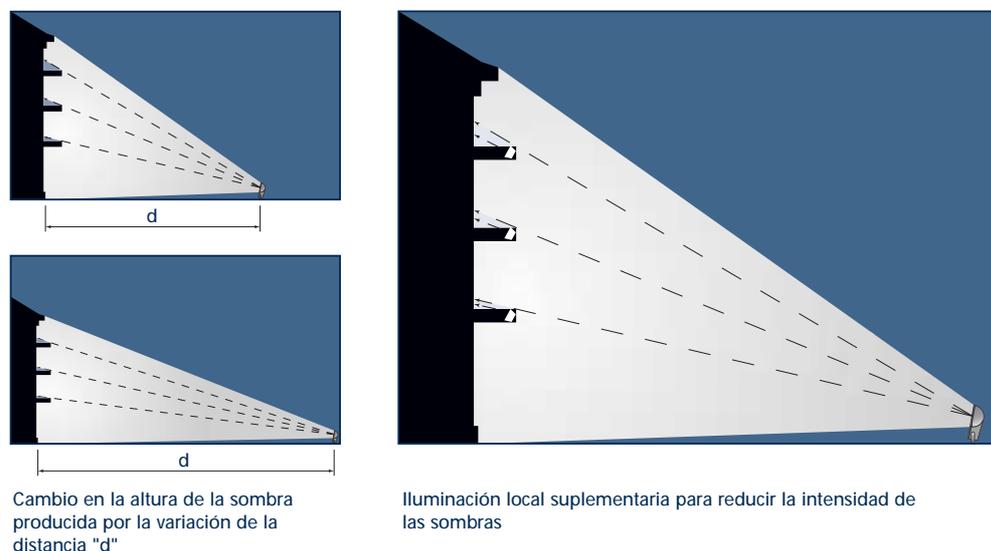


Figura 3

También debemos tener en cuenta que elementos salientes o voladizos (como balcones), muros o balaustradas pueden enriquecer la apariencia de una fachada, si se les incluye en el esquema de iluminación. En este caso, los proyectores deben colocarse a cierta distancia de la fachada, para evitar que resulten sombras excesivamente duras. Si no hubiese espacio para esto se podrían utilizar pequeños proyectores, como iluminación complementaria, colocados en el mismo voladizo (Fig. 4). Elementos entrantes o cóncavos, como galerías o balcones, quedarán en sombra al colocar proyectores a poca distancia de la fachada. En estos casos se puede utilizar iluminación complementaria, colocada en las mismas partes entrantes. La luz de otro color puede ser apropiada para este fin. Una iluminación por proyección, colocada a una mayor distancia, produce menos sombras y elimina la necesidad de la iluminación adicional.



Cambio en la altura de la sombra producida por la variación de la distancia "d"

Iluminación local suplementaria para reducir la intensidad de las sombras

Figura 4

Algunas de las muchas alternativas para colocar las fuentes luminosas son: en los postes de alumbrado público o en postes expresamente colocados para este fin; en el tejado de un edificio vecino; en soportes fijados en la misma fachada o en el suelo, detrás de muros bajos, setos o arbustos.

Niveles de iluminación recomendados

Para determinar el nivel de iluminancia necesario para proporcionar a una estructura el impacto visual requerido, se deben tomar en cuenta factores como el brillo de los alrededores y fondo, material empleado en la construcción, etc. Se deben

considerar tres puntos:

- 1) Cuanto más oscuro sea el material, mayor será la iluminancia necesaria sobre el mismo para proporcionar una impresión de brillo satisfactoria.
- 2) Para una instalación normal, en la cual la luz está dirigida hacia arriba en una superficie vertical, la cantidad de luz reflejada que llega a un observador, y por lo tanto el brillo de la superficie iluminada, disminuirá con un aumento de la uniformidad de la superficie.
- 3) La iluminancia necesaria será influenciada en cierta medida por el grado de combinación entre el espectro de la fuente de luz empleada y el color del material de construcción. Se obtienen soluciones favorables cuando el color de la luz es cercano a aquel de la superficie iluminada.

En la Tabla 2 mostramos las iluminancias recomendadas para la iluminación por proyección, la cual ha sido elaborada teniendo en cuenta estos tres puntos.

NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS							
Material de la fachada	Iluminancia en Lux			Coeficientes de corrección			
	Alrededores			Lámpara		Superficie	
	Pobre	Bien	Muy B	M	S	Limpia	Sucia
Piedra clara Mármol blanco	20	30	60	1,0	0,9	3,0	5,0
Piedra mediana Cemento Mármol de color claro	40	60	120	1,1	1,0	2,5	5,0
Piedra oscura Granito gris Mármol oscuro	100	150	300	1,0	1,1	2,0	3,0
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1,2	0,9	2,5	5,0
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1,2	0,9	2,0	4,0
Ladrillo marrón oscuro Granito rosa	55	80	160	1,3	1,0	2,0	4,0
Ladrillo rojo	100	150	300	1,3	1,0	2,0	3,0
Ladrillo oscuro	120	180	360	1,3	1,2	1,5	2,0
Detalle arquitectónico	60	100	200	1,3	1,2	1,5	2,0
Revestimiento de aluminio: Terminación natural	200	300	600	1,2	1,1	1,5	2,0
Terminación térmica de laca saturada (10%) rojo, marrón, amarillo	120	180	360	1,3	1,1	1,5	2,0
Terminación térmica de laca saturada (10%) azul, verde	120	180	360	1,0	1,3	1,5	2,0
Terminación térmica de laca mediana (30-40%) rojo, marrón, amarillo	40	60	120	1,2	1,0	2,0	4,0
Terminación térmica de laca mediana (30-40%) azul, verde	40	60	120	1,0	1,2	2,0	4,0
Terminación térmica de laca pastel (60-70%), rojo, marrón, amarillo	20	30	60	1,1	1,0	3,0	5,0
Terminación térmica de laca pastel (60-70%) azul, verde	20	30	60	1,0	1,1	3,0	5,0

Tabla 2

Los niveles de iluminación recomendados son aquellos necesarios para crear una luminancia de 4, 6 ó 12 cd/m^2 sobre la fachada cuando los alrededores están pobremente iluminados, bien iluminados o con mucho brillo respectivamente. Los valores son válidos para lámparas de filamento de wolframio de 2.800 K y para superficies de edificios limpias. Los coeficientes de corrección que se muestran son multiplicadores.

11.3.2. Iluminación de edificios

La conveniencia de que un edificio sea iluminado por proyección está determinada por varios factores, incluyendo la forma y superficies del edificio, su carácter (el cual puede ser difícil de definir), su mérito arquitectónico, su significado histórico o social y sus alrededores.

La apariencia de una superficie iluminada por proyección depende, entre otros factores, de su textura. Superficies ásperas reflejan algo de luz en todas las direcciones y así, cuando es iluminada, aparece más o menos brillante independientemente del ángulo desde el cual la estamos observando. Por otra parte, los cristales y otras superficies muy pulidas, reflejan toda la luz incidente en ellas como un espejo, y por esta razón aparecen oscuros y sin vida cuando son iluminados y vistos desde posiciones normales (Fig. 5, 6, 7 y 8).

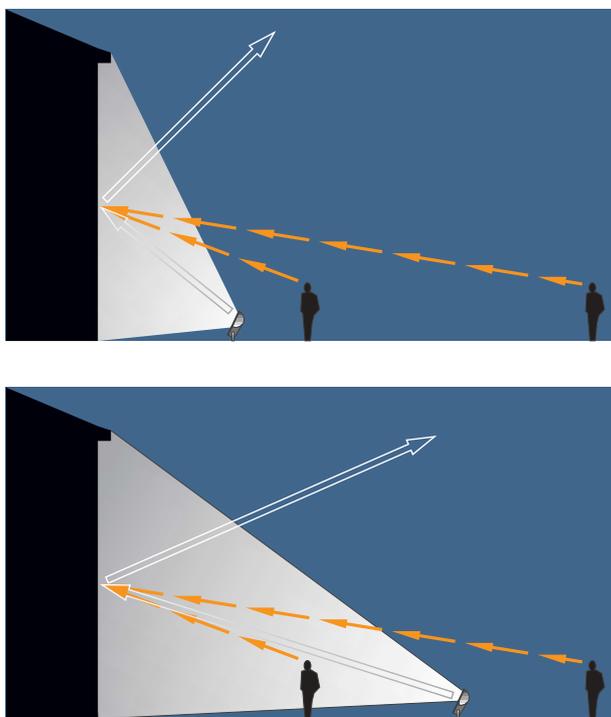


Figura 5. Reflexión especular (superficies brillantes, pulidas, etc.).

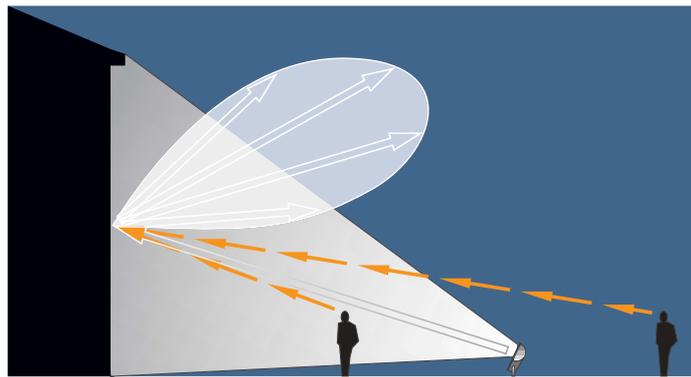
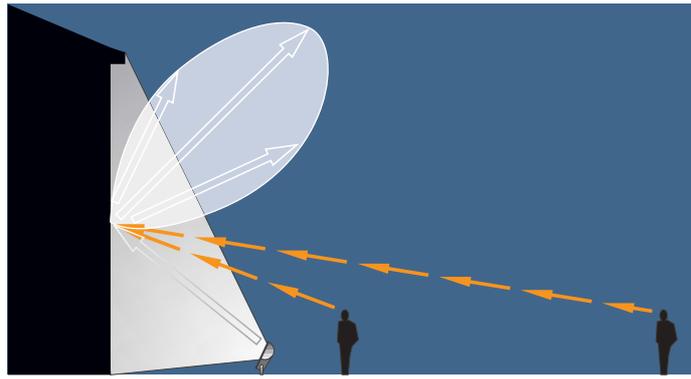


Figura 6. Reflexión compuesta (superficies irregulares, rugosas, etc.).

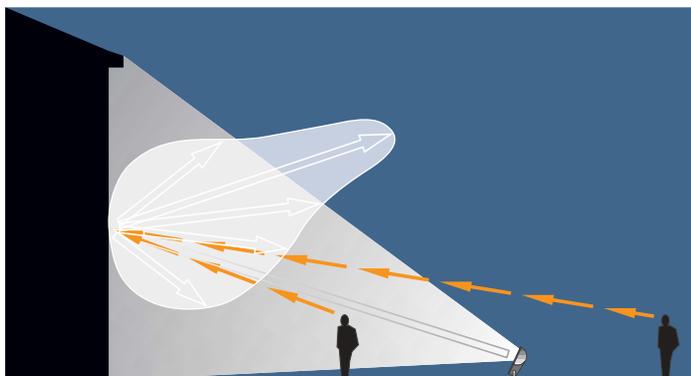
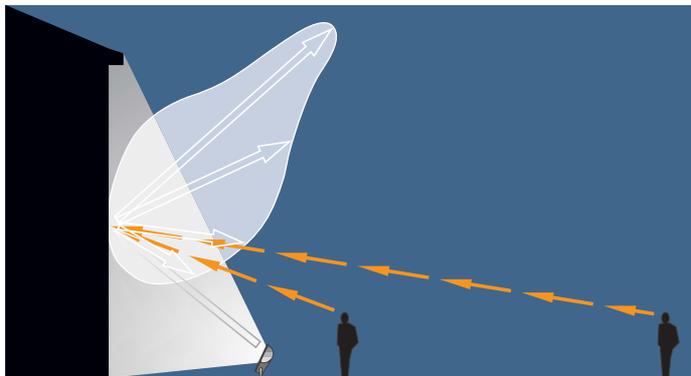


Figura 7. Reflexión mixta (superficies no pulidas, barnizadas, etc.).

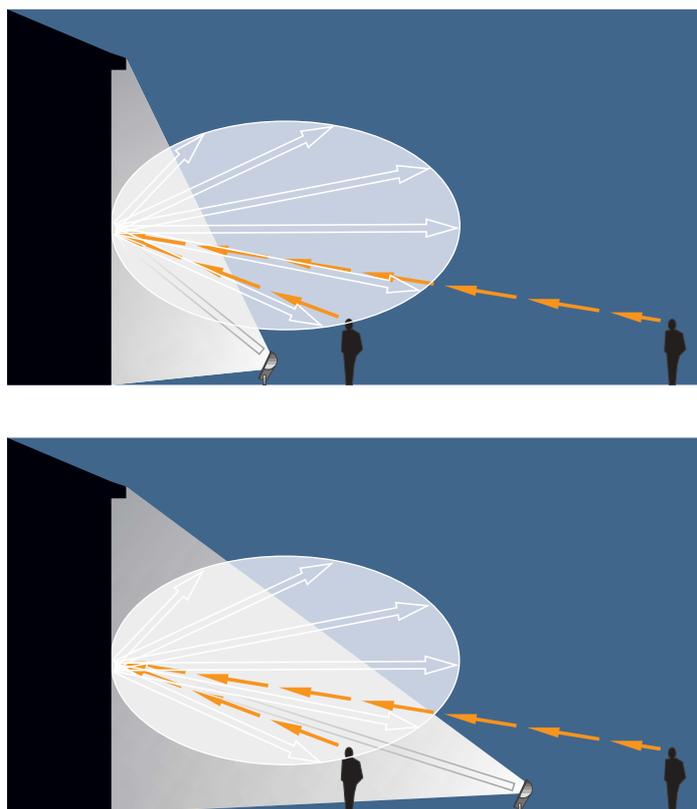


Figura 8. Reflexión difusa (superficies mates, etc.).

Es obvio que estas diferencias de las propiedades de reflexión de la superficie del material hace, en cada caso, necesaria una iluminación diferente para cada fachada para obtener la luminosidad deseada. Incluso, la cantidad de suciedad en la fachada es importante; el factor de reflexión de una fachada limpia puede ser más del doble que el de la misma fachada sucia. Los alrededores tienen una poderosa influencia en el efecto producido por los edificios iluminados por proyección. Por ejemplo, si cerca del conjunto tenemos un lago, río, canales, etc., éste queda muy realzado cuando se producen reflexiones de sus edificios en el agua.

Las catedrales, iglesias, castillos, edificios públicos, puentes y monumentos antiguos son ejemplos de edificios que generalmente responden bien a la iluminación por proyección; algunos edificios industriales y comerciales pueden ser iluminados por proyección como una ventaja para ellos mismos y los alrededores.

Condiciones básicas de diseño

Aparte de los puntos ya vistos anteriormente en las "condiciones generales de diseño", los siguientes comentarios se aplican generalmente al diseño de la iluminación por proyección. Lo pertinente de cada comentario varía con el tipo de edificio y los requerimientos de iluminación.

- a) Los contrastes en la iluminación son generalmente más importantes que su homogeneidad, y las sombras son tan importantes como los reflejos de luz.
- b) La iluminación por proyección coloreada permite destacar diferentes planos y producir sombras de colores. Como regla general, el color debería ser usado escasamente y con discreción.
- c) El aspecto de un edificio iluminado por proyección, y especialmente aquel modelado con sombras, difiere bastante de su apariencia a la luz del día, principalmente porque la dirección y distribución de luz son diferentes. Esto también cambia con la dirección de observación, y especialmente con el cambio de ángulo entre la dirección de observación y la dirección del principal flujo de luz.
- d) Como ya se comentó, el impacto visual hecho por el edificio iluminado por proyección depende considerablemente del brillo de los alrededores; cuanto más oscuro sea el fondo, más dramático es el efecto

- y menor es la cantidad de luz necesaria para realzar el edificio.
- e) La forma de un edificio iluminado por proyección es mejor destacada cuando sus contornos son visibles, su solidez es enfatizada, y las esquinas son acentuadas iluminando las paredes contiguas con una luminancia diferente. La forma de un edificio con tejado a un agua es evidentemente completa cuando ambos, tejado y pared, están iluminados por proyección.
 - f) La "solidez" de torres, cúpulas y capiteles es enfatizada si están iluminados por proyección desde no más de tres direcciones en azimut.
 - g) Un buen modelado pronunciado es deseable en todo, pero en fachadas planas no tiene sentido destacar pequeños detalles cuando el edificio es visto desde una cierta distancia.
 - h) La impresión de altura es acentuada si la iluminación del edificio se reduce progresivamente desde la base hacia arriba. Si las partes más bajas de un edificio están ocultas de la observación a distancia por las estructuras de los alrededores, quizás sea deseable reducir el brillo en la dirección opuesta, por ejemplo, hacia el suelo.

Iluminación de edificios de diseño contemporáneo

Los nuevos materiales y métodos de construcción han jugado un papel importante en el desarrollo del carácter distintivo de los edificios contemporáneos. Por ejemplo, las paredes externas e interiores de los modernos edificios de estructura de acero no son muros de carga y por lo tanto pueden hacerse de material ligero y prefabricarse antes de la entrega; las estructuras de hormigón armado, algunas con tejados de alturas de 40 metros o más, son otro típico elemento del paisaje contemporáneo.

A condición de que la estructura sea adecuada, la iluminación por proyección puede ser usada para enfatizar el significado social y arquitectónico de muchos edificios cívicos, comerciales y educativos recientemente construidos. Quizás también sirva de propaganda de los productos de la compañía propietaria o inquilina del edificio. Por ejemplo, en la Fig. 9 se puede ver un edificio de oficinas con una fachada de hormigón armado prefabricado que fue construido para una compañía que fabrica hormigón; la iluminación por proyección revela las formas del material de forma marcada.



Figura 9

11.3.3. Monumentos

Los monumentos deberían ser iluminados por proyección de una manera que indique su carácter, edad y, donde sea factible, su significado histórico.

Los proyectos de iluminación por proyectores para monumentos son similares, en general, que aquellos para edificios históricos. Deberían tomarse informes sobre los efectos de la erosión y, si los techos y muros han sido destruidos, o parcialmente destruidos, la iluminación debería diseñarse para conseguir un efecto sin una causa aparente (Fig. 10).

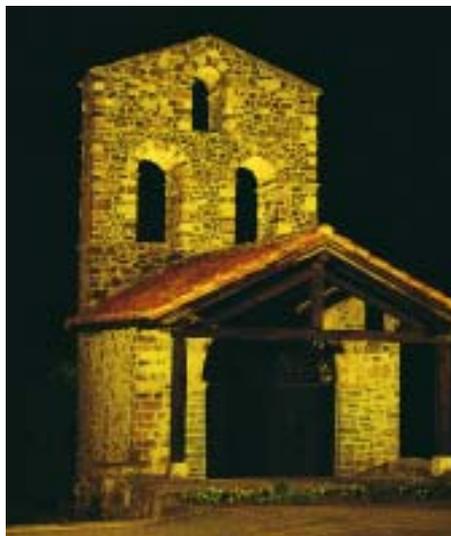


Figura 10

Los proyectores para iluminación por proyección de castillos en ruinas y monumentos similares deberían diseñarse para enfatizar el carácter macizo de las estructuras y revelar la forma de las torres y otros elementos prominentes (Fig. 11).



Figura 11

La importancia histórica de un monumento puede ser indicada por luz de color; por ejemplo, la luz azul quizá pueda usarse para crear un aire de misterio, y la luz roja para indicar el escenario de una batalla.

El esplendor y la magnificencia de un monumento puede ser manifestada al máximo sólo por una estrecha y continua cooperación entre el arquitecto del proyecto, el ingeniero de iluminación y, donde sea apropiado, el arqueólogo, cuyo principal interés es la conservación del monumento. El equipo de iluminación no debería fijarse a la estructura del edificio a menos que se tenga un permiso especial.

11.3.4. Puentes y viaductos

Los puentes son, en general, elementos atractivos, y cuando son convenientemente iluminados, contribuyen a mejorar el paisaje nocturno (Fig.12). Hay demasiados tipos de puentes para que la iluminación de cada uno sea discutida individualmente, pero los siguientes criterios son aplicables de forma general:



Figura 12

- La forma y los principales elementos del puente deben ser visibles desde una distancia considerable. A menudo es deseable, para puentes de carreteras, incluir los accesos en el proyecto de iluminación para que sea visto como una parte de la carretera y no como un elemento aislado del conjunto; las luminarias decorativas para iluminar calzadas deberían ser tratadas como parte del diseño de iluminación.
- La conveniencia de que un puente sea iluminado por proyección depende de los alrededores, las principales direcciones y las distancias de observación, la importancia de la estructura y arquitectura del puente, su importancia en el decorado nocturno, y los materiales con los que ha sido construido.
- Los puentes de piedra y hormigón armado, generalmente responden bien a la iluminación por proyección, pero puede ser difícil mostrar la forma y los detalles de los puentes de hierro y acero por este medio, debido a la baja reflectancia y la pequeña área proyectada de los miembros de la estructura. Sin embargo, se pueden usar otros métodos: por ejemplo, la iluminación con guirnaldas, con lámparas sujetas a los cables y cadenas, ha sido usada en algunos puentes colgantes con satisfacción, pero el mantenimiento efectivo puede ser difícil.
- La iluminación no debería distraer la atención del tráfico (rodado, vial o marítimo) que pasa sobre o debajo del puente: si se emplea iluminación de colores se debe tener especial cuidado para evitar la confusión con las señales de tráfico.
- La iluminancia necesaria para mostrar de forma efectiva el puente dependerá principalmente del tipo de puente, los alrededores (incluyendo la iluminación del distrito) y la reflectancia de los materiales de construcción. Cuando se ha decidido el tipo de sistema de iluminación y la ubicación de los proyectores, su tipo, número y potencia puede ser estimada usando el programa de cálculo **INDALWIN**. Después de que el sistema de iluminación ha sido instalado, los efectos deberían ser valorados de forma crítica, y los ajustes hacerlos a pie de obra.
- Los lados de un puente de piedra, o similar, que cruza un valle, desmonte o río a menudo pueden ser convenientemente iluminados por proyectores rectangulares asimétricos montados en una o ambas orillas. Si la luz es dirigida desde uno de los lados principalmente, los arcos, estribos, contrafuertes y las balaustradas serán enfatizados por las sombras coherentes que se forman; sin embargo, quizás este sistema no se puede aplicar si el puente es muy largo. Preferiblemente, los proyectores deberían ser montados debajo de la plataforma del puente para minimizar el deslumbramiento al tráfico y a los peatones que pasan sobre o debajo del puente (Fig. 13). Los proyectores que, por razones prácticas, deben ser

montados por encima de la altura del puente, deberían estar convenientemente orientados para que el deslumbramiento sea restringido tanto como sea posible. Los puentes de este tipo quizá puedan ser iluminados también con luminarias montadas en o contiguas al puente y ocultadas de los ángulos de observación normales, o por una línea continua de luminarias fluorescentes a prueba de lluvia montadas en el parapeto.

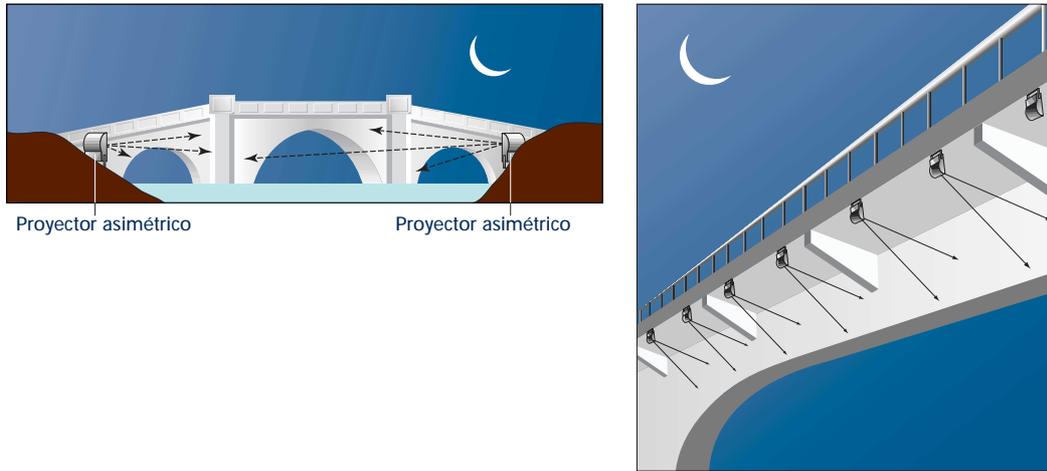


Figura 13

Este último sistema puede ser aplicado para la iluminación de puentes de peatones, usando luminarias que dirijan parte de la luz a la acera y parte a los lados del puente. A menudo, la apariencia de un puente abovedado es mejorada si la parte inferior de los arcos es iluminada, preferentemente con luz de diferente color a la usada en los lados del puente; se produce un efecto muy dramático dejando los lados sin iluminar (en la oscuridad). Es difícil, excepto para iluminación festiva, delinear los cables y cadenas de los puentes colgantes, pero sus torres de sujeción pueden ser generalmente iluminadas por proyectores con gran ventaja, usando proyectores circulares simétricos con haz estrecho, montados en o contiguos al puente y apuntados hacia arriba. La iluminación de la zona del puente que soporta tráfico rodado se realiza normalmente con luminarias de alumbrado público.

11.3.5. Iluminación de áreas de ocio y entretenimiento

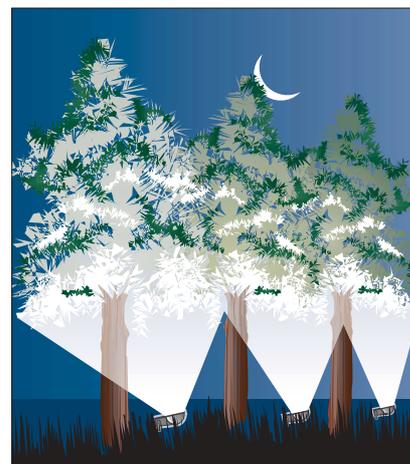
La iluminación nocturna de parques públicos y jardines es esencial para la seguridad, especialmente de los niños, y aumenta el tiempo durante el cual pueden disfrutarse los elementos para el ocio. La iluminación muestra la belleza de jardines floridos, árboles, arbustos y fuentes o lagos, siendo otro de sus objetivos el eliminar zonas oscuras.

Árboles y arbustos: Durante el día, un árbol se ve generalmente como una silueta perfilada contra un cielo brillante. Si el árbol está iluminado por la noche, la situación es inversa: el árbol sobresale claramente contra el cielo oscuro. Este efecto dramático queda realizado si las fuentes de luz están ocultas.

Iluminación de árboles



lateralmente



desde abajo

Figura 14

Las luminarias pueden iluminar el follaje desde cierta distancia o colocarse próximas al tronco, iluminando sus ramas desde abajo (Fig. 14). La primera técnica es apropiada para árboles con follaje muy denso, mientras que el otro tipo de enfoque es apropiado para árboles de poco follaje. Pueden lograrse efectos hermosos utilizando luces de diferentes colores (Fig. 15).



Figura 15

Si no se desea una iluminación superior frontal o vertical, o no es aplicable, los árboles florecidos o con ramas desnudas se pueden proyectar contra una pared, cerco o enrejado blancos o de colores claros. Otro efecto sutil visualmente más interesante que la iluminación de frente, se puede obtener iluminando los árboles y arbustos desde atrás.

Pero en la mayoría de los casos, los proyectores deberían colocarse entre el público y los objetos a iluminar. Se puede evitar el deslumbramiento colocando pantallas a los proyectores, a pesar de que la mayoría de los jardines cuentan con abundantes lugares para ocultarlos, tales como arbustos, troncos de árboles o cepas, rocas, cercas, paredes pequeñas, etc. Alternativamente, puede ser posible empotrar los proyectores en el piso (en este caso hay que tener en cuenta la posibilidad de drenaje).

En general, no es económico ni práctico iluminar más que unos pocos árboles del parque; y por razones estéticas, la iluminación uniforme por proyección de la totalidad de un área es pocas veces satisfactoria. Los árboles que sean elegidos deberían ser importantes y especies hermosas, y que estén en posiciones donde den profundidad y delicadeza al paisaje.

11.4. Iluminación deportiva

11.4.1. Generalidades

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).

11.4.1.1. Requisitos básicos

Al diseñar la iluminación de una instalación deportiva se deben tener en cuenta los requisitos y el confort de los siguientes usuarios: deportistas o jugadores, jueces o árbitros, espectadores y medios de comunicación.

Jugadores y árbitros

Los jugadores (deportistas) y árbitros (jueces) deben poder observar claramente todo lo que sucede en el área de juego para poder realizar la actividad deportiva en las mejores condiciones posibles.

Espectadores

Los espectadores deben poder seguir la actividad de los deportistas y la acción del deporte realizando el menor esfuerzo. El entorno de visión debe ser agradable, lo que significa que no sólo se debe poder ver la pista o área de juego, sino también los alrededores inmediatos. La iluminación debe ayudar al espectador a ingresar a la instalación deportiva y salir de ella de forma segura. Este aspecto de seguridad es muy importante para el público.

Retransmisión por T.V.

Para la cobertura televisiva, la iluminación debe proporcionar condiciones que aseguren una buena calidad de imagen de color (Publicación C.I.E. nº 83), tanto para las imágenes generales del juego, como para los primeros planos de espectadores y deportistas.

Continuidad de cobertura

Para cumplimentar los requisitos de continuidad de cobertura de la T.V. en caso de producirse un fallo en el sistema de iluminación normal, generalmente se instala un sistema de alimentación secundario capaz de proporcionar un nivel de "iluminación de T.V. de emergencia".

11.4.1.2. Criterios de iluminación

Los criterios de iluminación más importantes para la iluminación deportiva son los siguientes.

Iluminación horizontal

El área iluminada donde se desarrolla la actividad deportiva es la parte principal del campo de visión de los deportistas y los espectadores, por lo tanto, la iluminancia en este plano horizontal al nivel del suelo sirve principalmente para establecer el estado de adaptación de la visión. Debido a eso, y debido a que el área de juego iluminada sirve como fondo visual, es importante que el mismo tenga una adecuada iluminancia horizontal para conseguir crear el contraste correcto con el fondo. También es importante la iluminancia horizontal en las áreas de circulación, como por ejemplo la iluminación anti-pánico que se utiliza en caso de producirse un fallo en el sistema de iluminación normal, para asegurar el movimiento de los espectadores al ingresar y al salir del campo deportivo.

Las iluminancias medias recomendadas en la Tabla 4 son valores mantenidos. Es decir, son los valores que se deben alcanzar durante el periodo de operación de una instalación. Para alcanzar los valores iniciales requeridos, los valores mantenidos se deben multiplicar por el *inverso del factor de mantenimiento* (f_m).

Iluminancia vertical

Es importante que exista un contraste suficiente a través del cuerpo del deportista para identificarlo. Esto se obtiene sólo si alcanza luz suficiente a los planos verticales, ya que esta iluminancia es esencial para reconocer objetos.

La iluminancia vertical se caracteriza por la magnitud y la dirección. Para los deportistas, es importante una iluminancia vertical desde todas las posiciones, mientras que para los espectadores y las cámaras que ocupan una posición determinada, se debe considerar sólo la iluminancia vertical hacia dichas posiciones. En el caso de las cámaras con distintas posiciones, se debe tener en cuenta la iluminancia vertical sobre los cuatro planos laterales del campo.

En la práctica, la iluminancia vertical requerida para deportistas y espectadores se obtiene automáticamente si se cumplen los requisitos de iluminancia horizontal. Por lo tanto, en la práctica, la iluminancia vertical, que se debe medir a una altura de 1'5 metros sobre el área de juego, es sólo un criterio de diseño cuando se considera la cobertura televisiva, ya que tiene una influencia mayor en la calidad de imagen.

La iluminancia vertical no sólo debe asegurar el reconocimiento de un deportista o la calidad de imagen, sino que los espectadores y deportistas puedan seguir fácilmente una pelota, aro, etc., que vuela sobre el campo de juego.

Los espectadores y las tribunas forman parte del medio visual de la cámara. Por lo tanto, para las tribunas también se debe

crear una iluminancia vertical adecuada.

Uniformidad de iluminancia

Es importante una buena uniformidad de iluminancia en los planos horizontales y verticales. Evita problemas de adaptación para jugadores y espectadores, y elimina la necesidad de ajustar continuamente las cámaras en las diferentes direcciones de la visión. Si la uniformidad no es suficientemente buena, existe la posibilidad (especialmente con cámaras de televisión) de que una pelota o jugador no se vea claramente en ciertas posiciones del campo.

La uniformidad se puede expresar como la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia máxima (U_1) o como la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia media (U_2).

Para que las cámaras puedan obtener las mejores condiciones visuales posibles, la relación entre la iluminancia media en el plano horizontal y la iluminancia media en el plano vertical debe, en general, mantenerse entre 0.5 y 2.

Deslumbramiento

El deslumbramiento, que ocurre si un área de brillo molesto se aproxima o penetra en el campo de visión, produce un efecto molesto en la visión de los deportistas y espectadores.

El deslumbramiento se puede minimizar prestando cuidadosa atención en la elección de los proyectores o luminarias, y asegurándose que los mismos estén bien enfocados, teniendo en cuenta las principales direcciones de visión.

Evaluación del deslumbramiento

La C.I.E. ha desarrollado una base para evaluar la impresión subjetiva del deslumbramiento en áreas exteriores.

Esencialmente comprende un índice de deslumbramiento en el cual cuanto menor es el alcance, menor será el deslumbramiento. El índice de deslumbramiento GR (Glare Rating) se da por:

$$GR = 27 + 24 \cdot \log \left[\left[\frac{L_{vl}}{L_{ve}} \right]^{0.9} \right]$$

donde:

L_{vl} = luminancia de velo producida por las luminarias.

$$L_{vl} = \frac{E_{ojo,i}}{\Phi_i^2}$$

donde $E_{ojo,i}$ es la iluminancia en el ojo producida por la fuente de luz (lux) i , y Φ_i es el ángulo entre la dirección de la visión y la dirección de la incidencia de luz desde la fuente de luz i (grados).

L_{ve} = luminancia de velo producida por el medio.

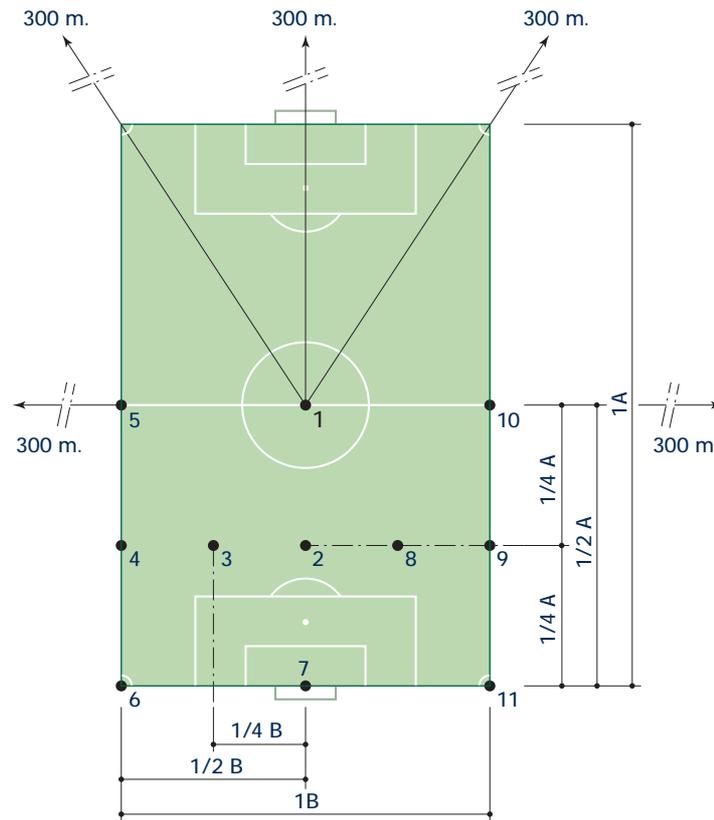
L_{ve} se puede aproximar desde la iluminancia media horizontal del área donde se realiza la actividad deportiva, E_{hav} , utilizando la fórmula:

$$L_{ve} = 0,035 \cdot E_{hav} \cdot \frac{p}{\pi}$$

donde p = la reflectancia del área.

Para L_{vl} las fuentes de luz son las luminarias, mientras que para L_{ve} el campo y los alrededores luminosos se consideran como un número infinito de pequeñas fuentes de luz.

Es necesario calcular GR para las posiciones más críticas del observador, definidas en la Fig. 16. para un campo de fútbol.



- 1-11 Posiciones de observador para cálculos de GR
- — Posiciones de referencia para calcular la luminancia de velo fuera del área de juego

Figura 16

Actualmente, las asociaciones deportivas internacionales están introduciendo sus propias normas de GR y la luminancia de velo.

Deslumbramiento externo

Antiguamente el deslumbramiento se consideraba sólo para los deportistas y espectadores que se encontraban en o muy cerca de área iluminada. Sin embargo, en el caso de un deporte al aire libre, la luz dispersa de la instalación puede resultar molesta para los espectadores que se encuentran fuera del complejo: por ejemplo, para el tráfico en vías adyacentes y para aquellas personas que viven en las proximidades.

Actualmente la C.I.E. está estudiando un parámetro directo para cuantificar dicha molestia. Esto se relaciona directamente con las cualidades ópticas de los proyectores empleados, lo que significa que para evitar este inconveniente, se deben seleccionar los proyectores basándose en la limitación de luz dispersa fuera del haz principal. Los mismos deben ser montados y enfocados de forma adecuada.

Recomendaciones

El índice de deslumbramiento, o GR, aunque no está especificado en las recomendaciones, es de hecho importante para todas las instalaciones de iluminación deportiva. Debe coincidir con los valores GR establecidos en la publicación C.I.E. nº 83. El valor GR calculado depende parcialmente de la reflectancia del área donde se desarrolla la actividad deportiva. Para canchas de césped, se presume generalmente una reflectancia difusa de alrededor de 0'15 a 0'25.

El valor GR se debe determinar para las posiciones del observador patrón del deporte en cuestión a una altura de 1'5 metros sobre el área donde se desarrolla la actividad deportiva, con el observador viendo a todos los puntos de malla a nivel del suelo. En el caso de una instalación al aire libre, se debe calcular el efecto de la luz dispersa fuera del recinto a una distancia de 300 metros desde el centro del área. Esto significa que se debe calcular la luminancia de velo a una altura de 1'5 metros sobre el suelo para las cinco posiciones más extremas.

Modelado y sombras

El modelado es la capacidad de la iluminación para revelar formas y texturas. La misma es particularmente importante para proporcionar una visión general de los deportistas, jugadores, pelota u otros elementos, y espectadores que se encuentran en el área donde se desarrolla la actividad deportiva o cerca de la misma.

La eficacia del modelado depende de las direcciones desde las cuales proviene la luz y el número y tipo de fuentes utilizadas. El modelado puede ser "duro", producido con sombras profundas, por ejemplo mediante proyectores de haz estrecho y simple; o "chato", resultado de una iluminación sin sombra desde, por ejemplo, un techo luminoso. Ninguno de estos extremos es aconsejable; sin embargo, para el último caso, es posible adicionar algunos pequeños proyectores para mejorar el modelado.

Las imágenes de televisión de buena calidad requieren un buen modelado por el alumbrado. Por lo tanto, para limitar la longitud y dureza de las sombras proyectadas por los deportistas donde se emplea una disposición de proyectores asimétrica, hasta un 60% del flujo total instalado puede provenir desde el lado de la cámara principal y un 40% o más desde el lado opuesto.

Apariencia del color y reproducción del color

La buena percepción del color es importante en la mayoría de deportes, y aunque se acepta determinada distorsión debida a la luz artificial, la misma no debe ser tanta como para producir problemas de discriminación en el color (entre colores parcialmente distorsionados).

Se deben distinguir dos aspectos importantes de color.

- La apariencia de color de la luz: Esta es la impresión de color de todo el medio creada por la lámpara.
- La reproducción del color de la luz: Esta es la habilidad de la luz para reproducir los colores de los objetos.

Tanto la apariencia del color como la reproducción del color de la luz emitida por las lámparas dependen de la distribución de la energía espectral de la luz que emiten. Una indicación de la apariencia del color de una lámpara se puede obtener desde su temperatura de color correlativa, medida en Kelvin (K), la cual varía entre 2.000 y 6.000 K. A menor temperatura de color, más cálida es la impresión de color de la luz; a mayor temperatura de color, más fría o más azulada es la impresión de color de la luz.

Las propiedades de la reproducción del color de una fuente luminosa se puede indicar por el índice de reproducción del color (IRC). El valor máximo teórico del índice de reproducción del color es 100, que se puede comparar con una situación de luz de día. El ambiente visual del medio depende del IRC. Cuanto mayor es el IRC, más agradable resulta el medio.

11.4.2. Consideraciones de diseño

11.4.2.1. Tipo de luminaria

Proyectores

Los proyectores se clasifican de acuerdo a su distribución de luz:

Proyectores circulares (Fig. 17)

Existen dos tipos de proyectores circulares empleados en la iluminación deportiva por proyección:

- a) Con un haz simétrico en forma cónica. Pueden tener un haz estrecho o un haz ancho.
- b) Con un haz levemente asimétrico en el plano vertical. Pueden tener un haz estrecho, mediano, ancho y muy ancho.

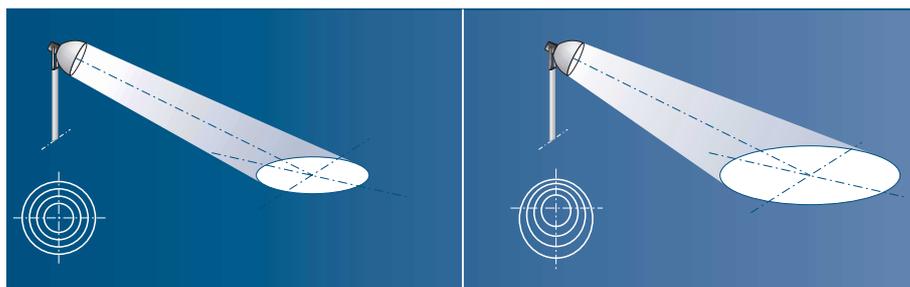


Figura 17. Proyectores circulares.

Proyectores rectangulares (Fig. 18)

Existen dos tipos:

- a) Con distribución de luz simétrica en los planos horizontales y verticales. En el plano horizontal el haz es ancho, mientras que en el plano vertical puede ser ancho o estrecho.
- b) Con distribución de luz simétrica en el plano horizontal y distribución de luz asimétrica en el plano vertical. El haz horizontal es ancho.

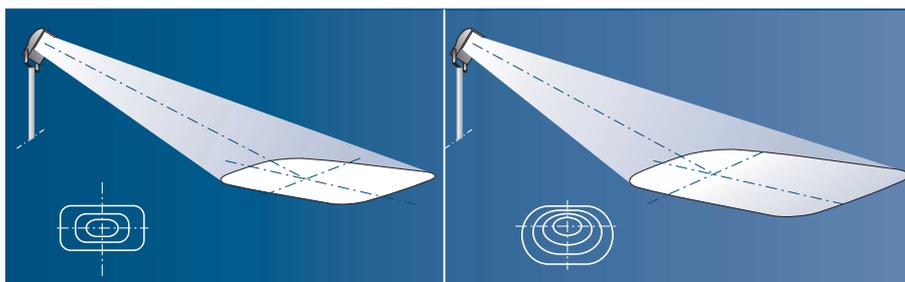


Figura 18. Proyector rectangulares.

Los proyectores circulares requieren el uso de una fuente de luz más o menos concentrada, tal como un tubo de descarga corto de una lámpara de descarga de alta intensidad. Cuando no se enfoca verticalmente hacia abajo, el haz cónico emite un modelado de luz elíptica o casi elíptica sobre el campo (Fig. 17).

Los proyectores rectangulares se utilizan junto con fuentes lineales tales como lámparas de descarga tubulares y halógenas. El haz con forma de abanico produce sobre el área donde se practica la actividad deportiva un modelo de luz muy trapezoidal (Fig. 18).

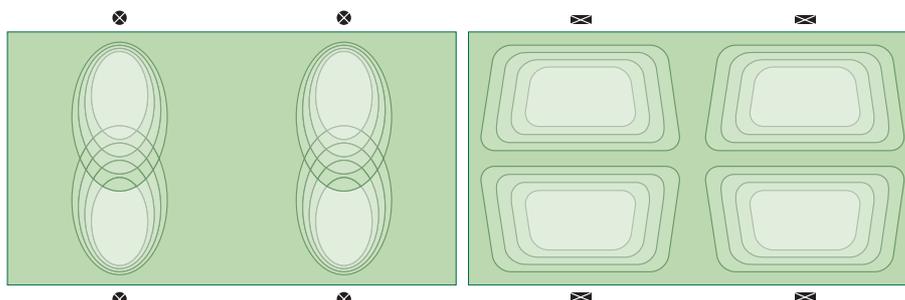


Figura 19. Disposición lateral.

Cuando los proyectores rectangulares se montan en forma no muy separada sobre los lados de un área deportiva (disposición normal para un área pequeña) ofrecen dos ventajas sobre la unidad circular: la distribución de luz es más uniforme y el desperdicio de luz es menor (Fig. 19). El proyector circular, sin embargo, es más eficiente que la unidad rectangular cuando se utiliza en las cuatro esquinas, disposición diagonal (Fig. 20), siempre y cuando se utilicen varias unidades por columna.

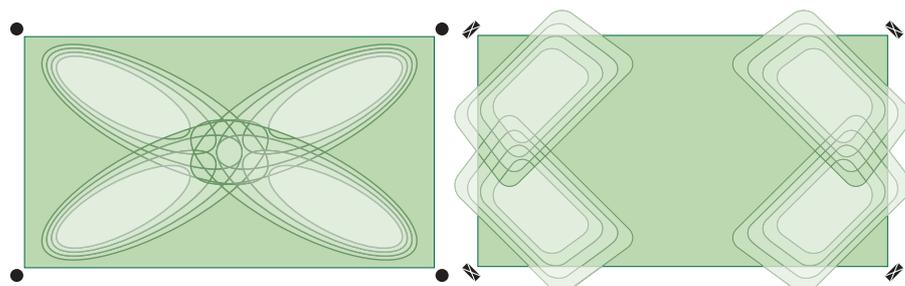


Figura 20. Disposición diagonal.

Para todos los tipos de proyectores rectangulares simétricos se puede utilizar un dispositivo de apantallamiento especial, o louver, siempre que el proyector esté enfocado en una dirección que produzca deslumbramiento. Dichos proyectores están diseñados de manera tal que la intensidad máxima no está en el centro del haz, sino que se desplaza hacia un lado. La disminución de la intensidad luminosa en cada lado del eje del haz está dispuesta de manera tal que cuando enfoca en un punto determinado sobre la superficie, produce una iluminancia horizontal más o menos uniforme.

Para limitar el deslumbramiento, las intensidades disminuyen rápidamente desde cierto ángulo de incidencia de luz, haciendo que la distribución de luz sea todavía más asimétrica.

Cuando el deslumbramiento pueda producir una molestia importante a las personas que se encuentran fuera del área donde se practica la actividad deportiva, las intensidades luminosas fuera del haz actual deben ser lo más bajas posibles. Para esta aplicación se recomienda un proyector que pueda distribuir la luz totalmente debajo del plano horizontal.

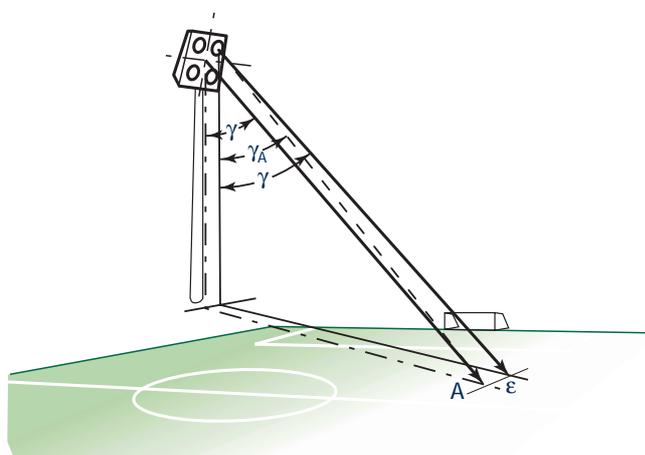
11.4.2.2. Diseño de iluminación

Cálculos de iluminación

Es muy común en la práctica utilizar programas de ordenador (INDALWIN) para diseñar instalaciones de iluminación deportiva. Los resultados del programa muestran los valores cuantitativos de la mayoría de los parámetros, tales como iluminancias verticales y horizontales, relaciones de uniformidad e índices de deslumbramiento.

Orientación y ubicación del proyector

Los cálculos realizados por el ordenador suponen que pequeños grupos de proyectores en una red están ubicados en un solo punto, es decir, en el centro del grupo. Dichos cálculos son generalmente lo suficientemente exactos para aplicaciones generales. Sin embargo, cuando existen grandes grupos de proyectores y el espaciado entre las unidades exteriores es considerable, tal presunción puede resultar inexacta en el enfoque (Fig. 21). En dichos casos, se determina para cada pequeño grupo de proyectores un punto de referencia.



Error en el enfoque del proyector Σ cuando se utiliza el mismo ángulo de enfoque para proyectores muy espaciados.

Figura 21

Matriz de cálculo

Como la distancia entre los puntos de la matriz es relativamente pequeña, el valor que se muestra en cada punto representa el área que rodea dicho punto (Fig. 22.). Los tamaños de matriz comúnmente empleados son:

- de 1 a 2 m.: Para pequeñas áreas de juego.
- de 5 m.: Para fútbol, hockey o rugby.

Para especificar las iluminancias horizontales, la matriz debe estar a nivel del suelo, mientras que para especificar las iluminancias verticales generalmente está a 1'5 m. sobre dicho nivel.

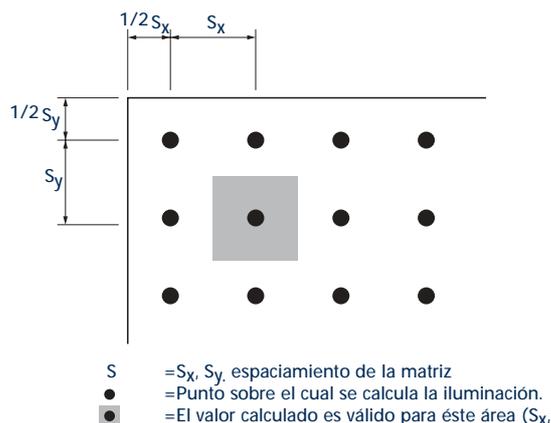


Figura 22

Las posiciones del observador patrón y las direcciones de observación o visión empleadas al realizar los cálculos de deslumbramiento se definen en la matriz.

Posiciones de la cámara

Se deben conocer las posiciones de la cámara para asegurar que la iluminación en dichas direcciones sea adecuada. Las mismas están especificadas como puntos de referencia en el programa de ordenador y generalmente se realizan cálculos separados para un número de puntos.

11.4.2.3. Campos de fútbol

Los requisitos de iluminación de las diferentes actividades que tienen lugar en diferentes épocas del año en campos de fútbol al aire libre deben, por razones prácticas, reunirse en el mismo sistema de iluminación por proyección. Por lo tanto, pueden definirse en términos generales.

Iluminancia

Cuando los eventos son televisados regularmente desde un estadio o campo de fútbol, el proyecto de iluminación por proyección está diseñado por lo general para proporcionar la alta iluminancia necesaria para cumplir los requisitos televisivos.

La **iluminancia horizontal** necesaria para un terreno de juego depende de:

- El nivel de competición que en él tiene lugar.
- La velocidad de la pelota (también debe tenerse en cuenta el movimiento rápido de los jugadores).
- La distancia máxima entre los jugadores y entre cualquiera de ellos y la pelota durante el juego.

Si el terreno deportivo tiene un graderío para espectadores y la distancia entre el centro del campo y el espectador más distante es mayor que la máxima existente entre un jugador y el objeto de juego, éste último es el que hay que tomar como criterio de referencia. En la Fig. 23 se representan los niveles de iluminancia horizontal mínimos recomendados para diferentes distancias entre los espectadores y el centro del campo.

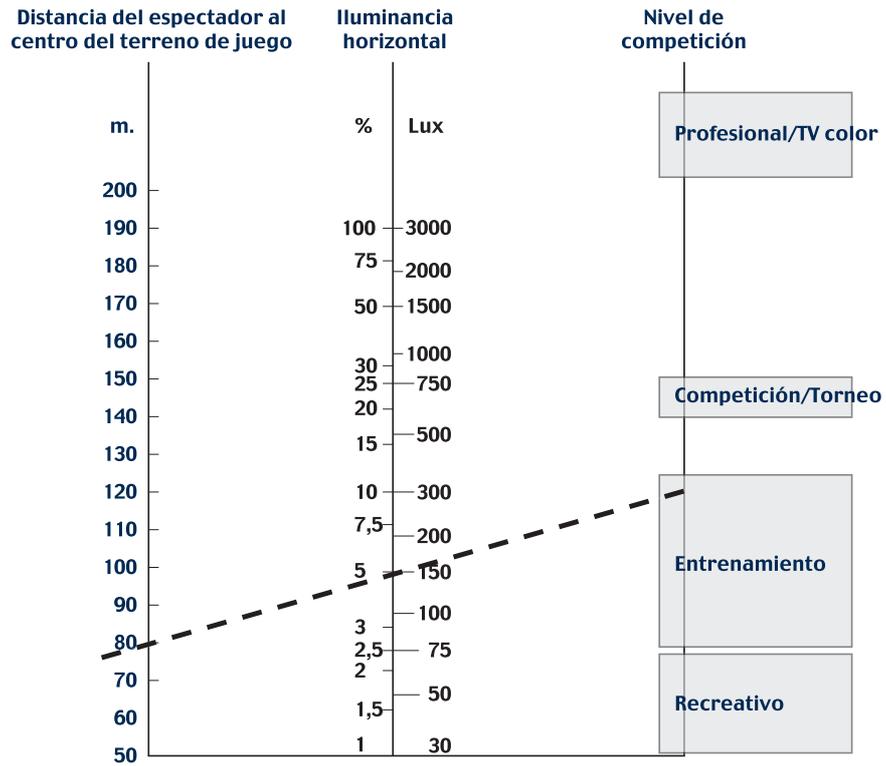


Figura 23

La **iluminancia vertical** se caracteriza no sólo por su magnitud, sino incluso por su dirección. La iluminancia vertical se considera en un plano vertical en ángulo recto con la línea de visión del observador (Fig. 24).

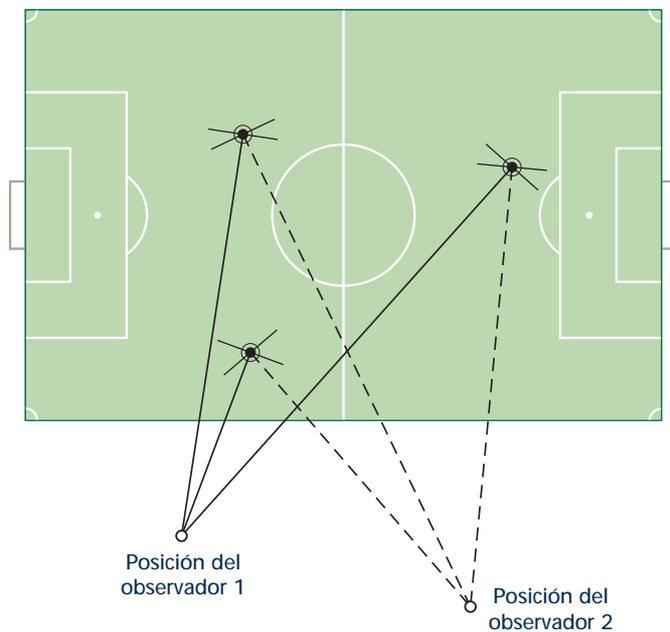


Figura 24. Planos de iluminancia vertical para distintas posiciones de observador.

Para los jugadores es muy importante una iluminación vertical adecuada desde todas las direcciones, pero si se comprueba ésta en las cuatro direcciones paralelas a las líneas exteriores del campo de juego será la adecuada en todas las demás. Para espectadores y cámaras que ocupen una posición fija sólo habrá que verificar la iluminación vertical vista desde ese lugar. En las tablas al final del capítulo se muestran los niveles de iluminancia vertical mínimos recomendados para retransmisión de T.V.

Relación de uniformidad

La uniformidad de iluminancia necesaria sobre el campo y las pistas de los alrededores depende de lo que está aconteciendo. Por ejemplo, se requiere mayor uniformidad de luz para transmisiones de televisión que para el desarrollo del juego o el seguimiento con la vista en una competición sin retransmisión. Para entrenamiento puede aceptarse una menor uniformidad que para la competición. Ver Tabla 3.

Deslumbramiento

El deslumbramiento no debería ser molesto con tal de que:

- a) Se usen proyectores con preciso control de luz y sean correctamente apuntados.
- b) Los proyectores se monten lejos de las direcciones de observación importantes. Los ángulos de montaje medidos desde el centro del campo deberían ser mayores de 20° sobre la horizontal.
- c) Se use el menor número de grupos de proyectores o una disposición en sólo una línea. El número de grupos en cualquiera de los lados del campo no debería ser mayor que 4.
- d) La iluminancia en el campo de visión (el cual incluye el campo y las áreas opuestas de espectadores) sea tan alta y tan uniforme como sea posible, consecuente con evitar demasiada iluminancia en los ojos de los espectadores. En la práctica esto significa que la media de la iluminancia en los planos verticales a la altura de los ojos de los espectadores de enfrente no debería ser mayor que la mitad del valor medio en la vertical sobre el campo, y preferiblemente no más de 1/3.

Si estos requisitos son satisfechos, el tamaño y la luminosidad de las fuentes individuales y el número de proyectores en cada grupo no es muy importante con respecto al deslumbramiento; ellos tienen más efecto en la iluminancia sobre el campo. La experiencia ha demostrado que el deslumbramiento desde una instalación correctamente planificada no se incrementa cuando se aumenta la iluminancia.

Iluminancia en planos verticales; modelado

Si los proyectores se montan a más de 30° sobre la horizontal medidos desde el centro del campo, el costo de las torres es normalmente prohibitivo, la razón de iluminancia en planos verticales o casi verticales a aquella en horizontales es más baja que lo deseable, y el modelado no es satisfactorio.

En general, el mejor balance entre el grado de deslumbramiento y la iluminancia en planos verticales se obtiene cuando los proyectores están bien apuntados y la iluminancia al nivel de los ojos de los espectadores de enfrente está en los límites dados.

El modelado más adecuado se obtiene con proyectores montados en 4 torres en los *córnerns* (Fig. 28). El efecto es menor con 6 torres, menos todavía con grupos de proyectores montados lateralmente, y menor con líneas continuas cercanas de proyectores montados lateralmente. Por otra parte, con iluminación lateral la iluminancia en planos verticales enfrente a la línea de banda es más alta que con el sistema de torres en *córnerns*. Las ventajas y desventajas de los varios sistemas de iluminación por proyección son discutidas más adelante.

Sistemas de iluminación por proyección

Las siguientes descripciones de sistemas de alumbrado por proyección reflejan en gran medida las condiciones que son necesarias para el fútbol o juegos similares, pero generalmente serán satisfactorias cuando otros acontecimientos tengan lugar en el estadio.

Sistema de iluminación lateral

Un sistema de iluminación lateral usando 4 grupos de proyectores en cada lado del campo se observa en la mitad superior de la Fig. 25. La mitad inferior muestra el diseño para 3 grupos de proyectores.

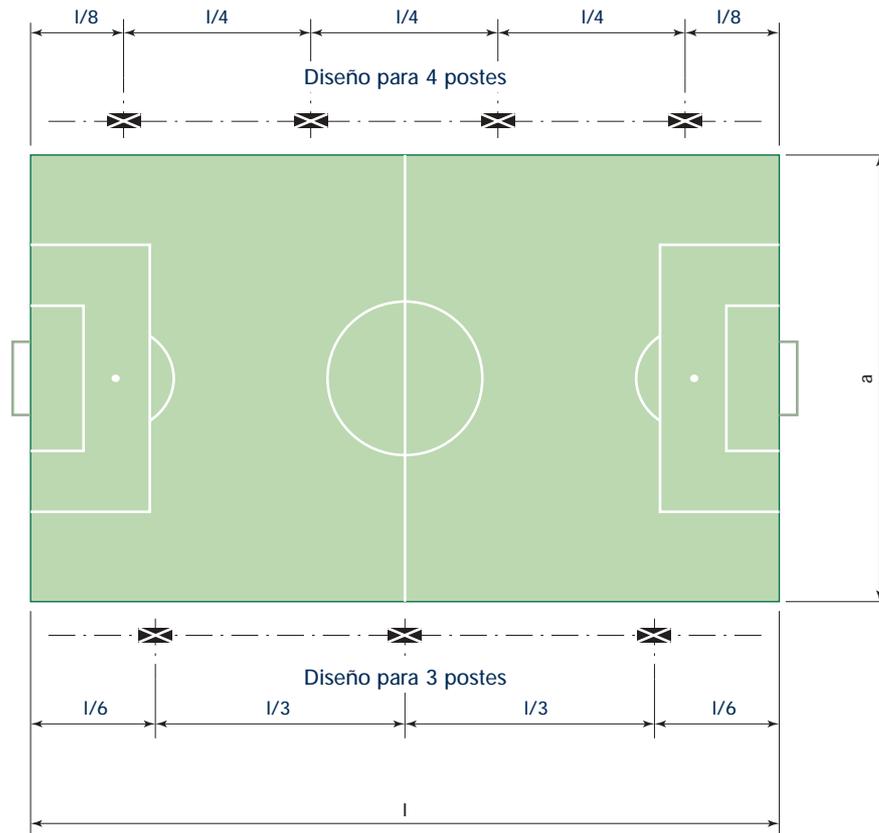


Figura 25

Los pequeños campos de entrenamiento pueden iluminarse desde menos posiciones y algunas veces desde sólo un lado. Los proyectores rectangulares simétricos o asimétricos (que dan un haz en forma de abanico) se usan para la mayoría de los proyectos de iluminación lateral. La altura de montaje recomendada se deduce de la Fig. 26, siendo medidos los ángulos característicos desde la línea longitudinal del centro del campo y la línea de banda.

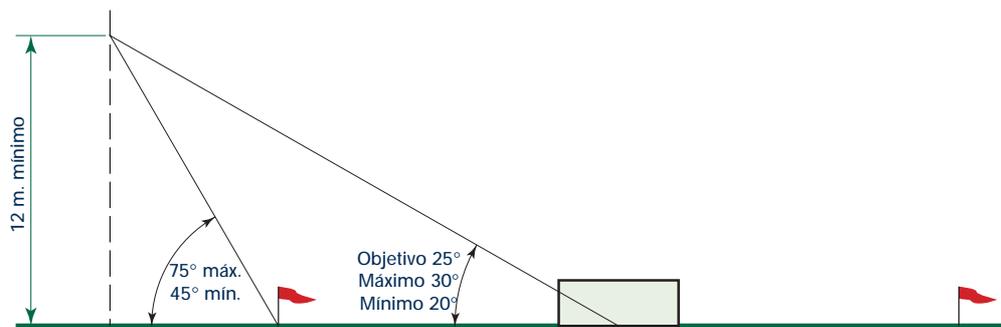


Figura 26

Cuando se usan tres grupos de proyectores, éstos deben ser apuntados para obtener una aceptable uniformidad de iluminancia a lo largo de la línea de banda cercana. Eligiendo un número apropiado de proyectores para cada torre, las iluminancias que pueden ser proporcionadas van desde los valores bajos adecuados para campos de entrenamiento, hasta valores altos, necesarios para la retransmisión por T.V. color. La iluminancia en planos verticales sobre el área de juego es aproximadamente igual que la de los planos horizontales. El modelado es relativamente insignificante, y pueden verse claramente múltiples sombras. Es necesario un apuntamiento cuidadoso para evitar un deslumbramiento inadecuado. La Fig. 27 muestra el diseño de un sistema de proyectores laterales donde los proyectores están montados en líneas únicas bajo cada lado del campo y proporcionan la alta iluminancia necesaria para la T.V. color. Las alturas de montaje de los proyectores están definidas por los ángulos dados en la Fig. 26. La línea de proyectores debería extenderse preferentemente más allá de las

líneas de gol para mantener una uniformidad de iluminancia razonable, especialmente en las áreas, y proporcionar luz sobre los jugadores para que sean vistos desde detrás de las porterías. Sin embargo, en la práctica esta extensión puede que no sea posible. Entonces, el amortiguamiento en iluminancia hacia las líneas de las porterías debería ser restringido por reducción del espacio de los proyectores hacia el final de las líneas o por el apuntamiento de los proyectores finales hacia fuera. Como con otros sistemas de iluminación lateral, la iluminancia media en los planos verticales sobre la zona de juego es aproximadamente igual a la de los horizontales y es necesario un apuntamiento cuidadoso para evitar excesivo deslumbramiento. Donde los proyectores son montados en los techos (viseras) de las gradas, la distancia de compensación puede que no sea suficientemente grande para proporcionar adecuada iluminancia vertical en la línea de banda más cercana. Entonces se necesitarán proyectores extra y deberían ser montados bajo el techo (visera) a la distancia de compensación necesaria.

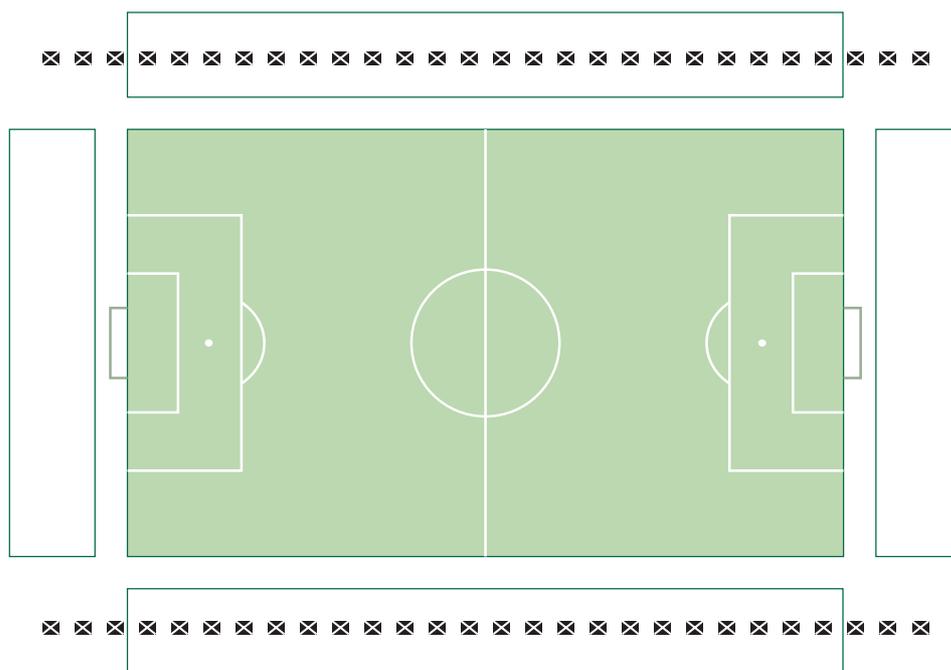


Figura 27

Sistema de torres en córners

El diseño usado para 4 torres en los córners es el observado en la Fig. 28; las alturas recomendadas para la torre son deducidas de la Fig. 26. Normalmente son usados proyectores tipo circular simétrico que dan un haz simétrico. Los haces individuales pueden unirse para llenar lo que, desde la estructura superior, es visto como un área de juego de forma no rectangular y así permite un diseño de iluminancia adecuado para ser aumentado sobre el campo. Las compensaciones angulares de 5° y 15° respectivamente desde el centro de la línea de banda y la boca de gol proporcionan adecuadas ubicaciones para las torres. En la práctica, la ubicación de la torre es mandada más a menudo por la disposición del lugar que por los requisitos de la iluminación ideal.

Los grandes estadios, y especialmente aquellos con pistas fuera del campo de juego, son difíciles de iluminar suficientemente desde las 4 esquinas. Serían necesarias torres muy altas para cumplir con los requisitos angulares de la Fig. 26, y el deslumbramiento desde los proyectores de largo alcance que serían necesarios, probablemente sería excesivo. Por estas razones, se prefiere el sistema de 6 torres visto en Fig. 29. La altura de la torre está definida desde el centro de la mitad del campo y aproximadamente 2 veces tantos proyectores agrupados en las torres centrales como en la de las esquinas. Los ángulos de apuntamiento son agudos y el deslumbramiento puede controlarse con bastante facilidad. La relación de iluminancia entre planos verticales y planos horizontales es aproximadamente 0'7.

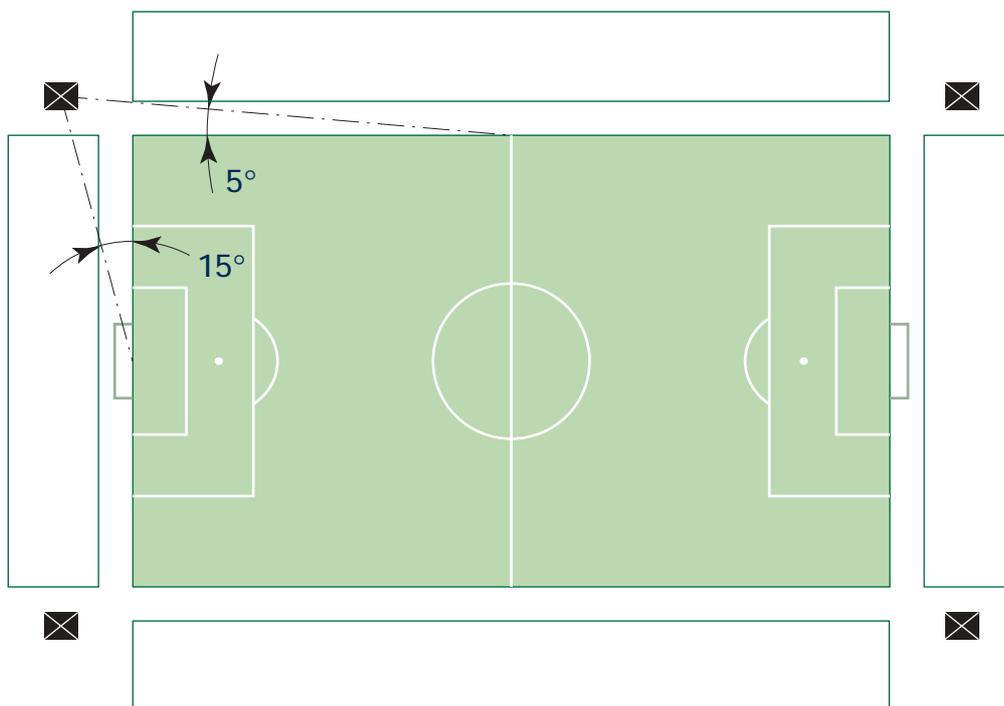


Figura 28.

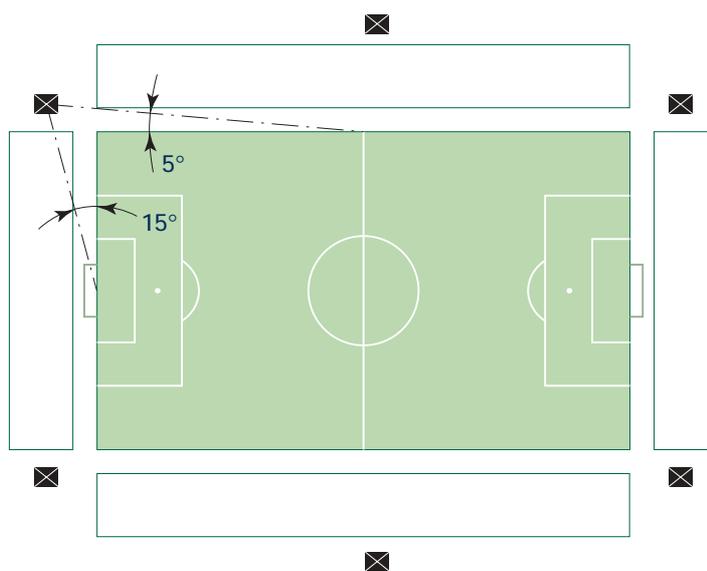


Figura 29

Sombras de las gradas

La posición de las sombras proyectadas en el campo por los techos de las gradas y otros obstáculos pueden ser obtenidas de la construcción vista en la Fig. 30. De ser posible, la altura y colocación de la torre debería elegirse para que no caigan sombras sobre el terreno de juego. Donde esto no sea posible, deberían montarse proyectores adicionales bajo el techo de las gradas y dirigirlos hacia las áreas sombreadas con el mismo ángulo medio de los proyectores principales.

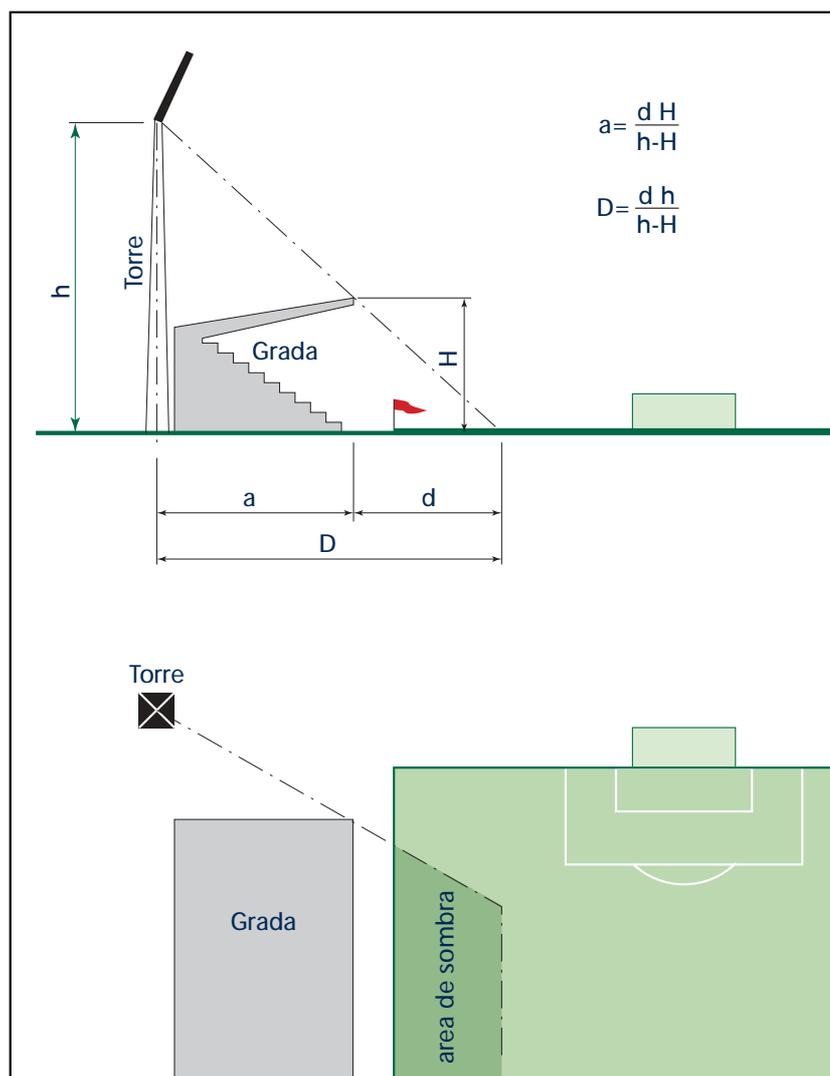


Figura 30

Pérdidas de absorción atmosférica

El polvo y la humedad en el aire produce que la luz sea perdida por absorción y dispersión, dependiendo la cantidad perdida de la localización del estadio, la longitud de proyección de los proyectores y de las condiciones atmosféricas al mismo tiempo. UEFA y CIE recomiendan que debería hacerse en los cálculos un descuento de un 30% de luz perdida.

La dispersión de luz causada por niebla, bruma o lluvia produce deslumbramiento de velo con la consecuente reducción de visibilidad. Muy poco se puede hacer sobre esto, pero hay una evidencia y es que el efecto es menor con el sistema de torres en los córners que con el sistema de iluminación lateral.

TABLAS NIVELES DE ILUMINANCIA HORIZONTAL							
Deporte	Nivel de actividad	E (lux)	U ₁	U ₂	IRC	T _c	Grupo
Tiro al arco cubierto							
- línea de tiro	t/r	100	0'3	0'4	60	2.000	
	ca	500	0'3	0'4	60	2.000	
	cp	n.a.					
- blanco	t/r	300*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	ca	500*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	cp	n.a.					
Tiro al arco al aire libre							
- línea de tiro	t/r	50	0'3	0'4	60	2.000	
	ca	100	0'3	0'4	60	2.000	
	cp	n.a.					
- blanco	t/r	100*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	ca	200*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	cp	n.a.					
Atletismo							
- cubierto	t/r	200	0'3	0'5	65	2.000	
	ca	300	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'2	0'3	20	2.000	
	ca	200	0'2	0'3	20	2.000	
	cp	400	0'3	0'5	65	4.000	
Bádminton							
	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	600	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	800	0'5	0'7	65	4.000	
Béisbol							
- en el campo	t/r	150	0'3	0'5	65	4.000	
	ca	300	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	750	0'5	0'7	65	4.000	
- fuera del campo	t/r	100	0'2	0'3	65	4.000	
	ca	200	0'3	0'4	65	4.000	
	cp	500	0'4	0'5	65	4.000	
Baloncesto							
- cubierto	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'2	0'3	60	2.000	
	ca	200	0'3	0'4	60	2.000	
	cp	n.a.					
Carrera de bicicletas							
- cubierto	t/r	200	0'3	0'4	65	4.000	
	ca	300	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	500	0'4	0'5	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'2	0'3	20	4.000	
	ca	200	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	400	0'4	0'5	65	4.000	

TABLAS NIVELES DE ILUMINANCIA HORIZONTAL							
Deporte	Nivel de actividad	E (lux)	U ₁	U ₂	IRC	T _c	Grupo
Billares							A
	todas	500	0'5	0'7	85	3.000	
Trineo							B
	t/r/ca	150	0'2	0'3	65	4.000	
	cp	300	0'2	0'3	65	4.000	
Bolos							
- aproximaciones, bandas y calles	t/r	200	0'3	0'5	65	3.000	
	ca	200	0'3	0'5	65	3.000	
	cp	400	0'3	0'5	65	3.000	
- pins	t/r	300*	n.a.	n.a.	65	3.000	
	ca	300*	n.a.	n.a.	65	3.000	
	cp	500*	n.a.	n.a.	65	3.000	
Boxeo							
Ver Artes marciales							
Criquet							C
- en el campo	t/r/ca	750	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	1.500	0'7	0'8	65	4.000	
- fuera del campo	t/r/ca	500	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	1.000	0'5	0'6	65	4.000	
Curling							A
- tees/pista	t/r	100	0'2	0'3	65	4.000	
	ca	200	0'3	0'4	65	4.000	
	cp	300	0'4	0'5	65	4.000	
Dardos							A
	t/r	300*	n.a.	n.a.	85	3.000	
	ca	500*	n.a.	n.a.	85	3.000	
	cp	1.000*	n.a.	n.a.	85	3.000	
Carrera de perros							B
	t/r/ca	200	0'5	0'7	20	2.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Esgrima							C
	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	Ca	600	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	800	0'5	0'7	65	4.000	
Fútbol							B
- cubierto	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	200	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Golf driving							
- tee/green	t/r	50	0'2	0'3	65	4.000	
	ca	50	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	n.a.					
- fairway/calle	t/r	30*	n.a.	n.a.	65	4.000	
	ca	30*	n.a.	n.a.	65	4.000	
	cp	n.a.					

TABLAS NIVELES DE ILUMINANCIA HORIZONTAL							
Deporte	Nivel de actividad	E (lux)	U ₁	U ₂	IRC	T _c	Grupo
Gimnasia							B
	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
Balonmano							B
- en sala	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	200	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Hockey sobre hierba							B
- cubierto	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	600	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	800	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	250	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Hockey sobre hielo							B
- cubierto	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	600	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	800	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'3	0'5	20	2.000	
	ca	250	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	n.a.					
Salto de caballo							A
- cubierto	t/r	300	0'3	0'5	65	4.000	
	ca	400	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	600	0'4	0'6	65	4.000	
- al aire libre	t/r	50	0'2	0'3	20	2.000	
	ca	150	0'3	0'5	65	4.000	
	cp	300	0'3	0'5	65	4.000	
Carrera de caballos							B
	t/r/ca	200	0'5	0'7	20	2.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Yudo							B
	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
Karate							
Ver Artes marciales							
Lacrosse							C
	t/r	100	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	200	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Artes marciales							C
	t/r	500	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	1.000	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	2.000	0'5	0'7	65	4.000	

TABLAS NIVELES DE ILUMINANCIA HORIZONTAL							
Deporte	Nivel de actividad	E (lux)	U ₁	U ₂	IRC	T _c	Grupo
Carreras de motor							B
- cubierto	t/r	300	0'3	0'4	65	4.000	
	ca	400	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	600	0'4	0'6	65	4.000	
- al aire libre	t/r	50	0'2	0'3	20	2.000	
	ca	100	0'3	0'4	20	4.000	
	cp	200	0'3	0'4	65	4.000	
Tenis							C
	t/r	250	0'4	0'6	60	2.000	
	ca	500	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	750	0'4	0'6	65	4.000	
Frontón tenis							C
	t/r	250	0'4	0'6	60	2.000	
	ca	500	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	750	0'4	0'6	65	4.000	
Patinaje sobre ruedas							B
	t/r	100	0'2	0'3	20	2.000	
	ca	200	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	500	0'4	0'5	65	4.000	
Rugby							B
	t/r	100	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	200	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	
Tiro en sala							A
- línea de tiro	t/r	200	0'3	0'4	60	2.000	
	ca	400	0'3	0'4	60	2.000	
	cp	n.a.					
- blanco	t/r	500*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	ca	1.000*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	cp	n.a.					
Tiro al aire libre							A
- línea de tiro	t/r	100	0'3	0'4	60	2.000	
	ca	200	0'3	0'4	60	2.000	
	cp	n.a.					
- blanco	t/r	200*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	ca	400*	n.a.	n.a.	60	2.000	
	cp	n.a.					
Patinaje artístico							B
- cubierto	t/r	300	0'3	0'5	65	4.000	
	ca	600	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	800	0'4	0'6	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'3	0'5	20	2.000	
	ca	250	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	n.a.					
Patinaje de velocidad							B
- cubierto	t/r	200	0'3	0'4	65	4.000	
	ca	300	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	500	0'4	0'5	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'2	0'3	20	2.000	
	ca	200	0'4	0'5	65	4.000	
	cp	400	0'4	0'5	65	4.000	

TABLAS NIVELES DE ILUMINANCIA HORIZONTAL							
Deporte	Nivel de actividad	E (lux)	U ₁	U ₂	IRC	T _c	Grupo
Esquí							B
	t/r	50	0'2	0'3	20	2.000	
	ca	100	0'2	0'3	20	2.000	
	cp	200	0'2	0'3	20	2.000	
Salto de esquí							B
- tobogán	t/r	100	0'4	0'5	60	2.000	
	ca	200	0'4	0'5	60	2.000	
	cp	200	0'4	0'5	60	2.000	
- llegada	t/r	200	0'3	0'5	65	4.000	
	ca	400	0'3	0'5	65	4.000	
	cp	400	0'3	0'5	65	4.000	
Natación							A
- cubierto	t/r	200	0'3	0'5	60	3.000	
	ca	300	0'3	0'5	60	3.000	
	cp	500	0'3	0'5	60	3.000	
- al aire libre	t/r	100	0'2	0'3	65	4.000	
	ca	200	0'3	0'5	65	4.000	
	cp	400	0'3	0'5	65	4.000	
Tenis de mesa							C
	t/r	300	0'4	0'6	60	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	60	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	60	4.000	
Taekwondo							
Ver Artes marciales							
Tenis							B
- cubierto (PPA)	t/r	500	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	750	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	1.000	0'4	0'6	65	4.000	
- cubierto (TPA)	t/r	400	0'3	0'5	65	4.000	
	ca	600	0'3	0'5	65	4.000	
	cp	800	0'3	0'5	65	4.000	
- al aire libre (PPA)	t/r	250	0'4	0'6	60	2.000	
	ca	500	0'4	0'6	65	4.000	
	cp	750	0'4	0'6	65	4.000	
- al aire libre (TPA)	t/r	200	0'3	0'5	60	2.000	
	ca	400	0'3	0'5	65	4.000	
	cp	600	0'3	0'5	65	4.000	
Trampolín							A
	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
Voleibol							B
- cubierto	t/r	300	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	400	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	600	0'5	0'7	65	4.000	
- al aire libre	t/r	100	0'4	0'6	65	4.000	
	ca	200	0'5	0'7	65	4.000	
	cp	500	0'5	0'7	65	4.000	

Leyenda de la tabla 3:

t: Entrenamiento (amateur y profesional).

r: Recreación general.

ca: Competición nacional.

cp: Competición nacional e internacional sin requisitos de TV.

E: Iluminancia horizontal mínima medias al nivel del suelo o, cuando está marcado con *, iluminancia vertical mínima.

n.a.: No aplicable.

U₁= Uniformidad extrema de iluminancia (E_{min}/E_{max})

U₂= Uniformidad media de iluminancia (E_{min}/E_{med})

IRC: Índice de reproducción cromática.

T_c= Temperatura de color (en grados Kelvin)

Grupo	Distancia máxima	Iluminancia		Uniformidad				IRC	T _c
		Cámara principal	Cámara secundar.	Vertical		Horizontal			
				U ₁	U ₂	U ₁	U ₂		
A									
	25 m	500 lux	500 lux	0'4	0'5	0'3	0'5	65	4.000
	75 m	700 lux	500 lux	0'4	0'5	0'3	0'5	65	4.000
	150 m	1.000 lux	700 lux	0'5	0'6	0'4	0'6	65	4.000
B									
	25 m	700 lux	500 lux	0'5	0'6	0'3	0'5	65	4.000
	75 m	1.000 lux	700 lux	0'5	0'6	0'3	0'6	65	4.000
	150 m	1.400 lux	1.000 lux	0'6	0'7	0'4	0'6	65	4.000
C									
	25 m	1.000 lux	700 lux	0'5	0'6	0'4	0'6	65	4.000
	75 m	1.400 lux	1.000 lux	0'6	0'7	0'4	0'6	65	4.000
	150 m	n.a.	n.a.						

Tabla 4. Iluminación recomendada para la TV. nacional.

Grupo	Distancia máxima	Iluminancia		Uniformidad				IRC	T _c
		Cámara principal	Cámara secundar.	Vertical		Horizontal			
				U ₁	U ₂	U ₁	U ₂		
A									
	25 m	700 lux	700 lux	0'4	0'5	0'3	0'5	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
	75 m	1.000 lux	700 lux	0'5	0'6	0'3	0'5	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
	150 m	1.400 lux	1.000 lux	0'5	0'6	0'4	0'6	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
B									
	25 m	1.000 lux	700 lux	0'5	0'6	0'3	0'5	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
	75 m	1.400 lux	1.000 lux	0'6	0'7	0'4	0'6	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
	150 m	1.750 lux	1.250 lux	0'6	0'7	0'4	0'6	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
C									
	25 m	1.400 lux	1.000 lux	0'6	0'7	0'4	0'6	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
	75 m	1.750 lux	1.250 lux	0'7	0'8	0'5	0'7	65 ⁽¹⁾	4.000 ⁽²⁾
	150 m	n.a.	n.a.						

Tabla 5. Iluminación recomendada para la TV. internacional

⁽¹⁾ Es admisible un IRC de 65, pero se aconseja 90.

⁽²⁾ Es admisible una T_c de 4.000 K, pero se aconseja 5.500 K.

