

69



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"PROYECTO DE ILUMINACION DE UNA CANCHA
DE FUTBOL DE SANTA CRUZ TELOYUCAN"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

HERIBERTO AUSENCIO MORALES RIVERA

ASESOR: MAI. PEDRO GUZMAN TINAJERO

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
P R E S E N T E**

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Proyecto de Iluminación de una cancha de Futbol de Santa Cruz Teoloyucan".

que presenta el pasante: Heriberto Ausencio Morales Rivera
con número de cuenta: 8002615-2 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerandó que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 10 de abril de 2002.

PRESIDENTE	<u>Ing. Celina Elena Urrutia Vargas</u>	
VOCAL	<u>Ing. Leonardo Sergio Lara Flores</u>	
SECRETARIO	<u>MAI. Pedro Guzmán Tinajero</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Lucía García Luna</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Angel Rueda Angeles</u>	

A MIS PADRES

Índice

Objetivos	5
Introducción:	6
CAPITULO 1 La necesidad de la Iluminación artificial	8
CAPITULO 2	13
El proceso visual	13
Elementos constitutivos del ojo	15
Características de la percepción visual	17
Sensibilidad del ojo	20
Factores objetivos de la visión	21
CAPITULO 3	28
Factores que Influyen para tener una excelente iluminación	28
Capitulo 4	39
La naturaleza y propagación de la luz	39
Teoría corpuscular	39
Teoría ondulatoria	39
Teoría dual	41
El espectro electromagnético	41
Dist. de la energía espectral de diferentes fuentes luminosas	44
CAPITULO 5	45
Luminotecnia	45
Terminología de iluminación	45
Energía luminosa o cantidad de luz Q	49

Flujo luminoso Q	49
Rendimiento luminoso	50
Iluminación (E) o iluminancia: Lux (lx)	50
CAPITULO 6	52
Potencia y energía	52
Control de un sistema de iluminación	54
Control manual.	54
Control automático	55
Control semiautomático	56
Apagado de las lámparas HID	57
Eficiencia de un sistema de iluminación	58
CAPITULO 7	61
Generación de la luz artificial	61
Clasificación de las fuentes de luz artificial	61
Fuentes luminosas	63
Lámparas incandescentes	64
Lámparas incandescentes halógenas	66
Lámparas Infrarrojas	68
Filamentos:	70
Lámparas fluorescentes	72
Funcionamiento:	75
Temperatura de color	77
Lámparas de vapor de mercurio	84
Lámparas de Haluros metálicos	90

Lámparas de vapor de sodio alta y baja presión (VSPA, VSBP)	90
CAPITULO 8	96
Control de la luz (Fotometría)	96
CAPITULO 9	101
PROYECTO DE LA ILUMINACIÓN	101
Niveles de iluminación (cantidad de luz)	102
Niveles de iluminación recomendados	102
Calidad de la iluminación.	104
Elección del tipo de iluminación	107
Elección del tipo de alumbrado	107
CAPITULO 10	108
Métodos para el calculo del proyecto.	108
Conclusiones	117
Bibliografía	119
Anexo	120

PROYECTO DE ILUMINACIÓN DE UNA CANCHA DE FUTBOL DE SANTA CRUZ TEOLOYUCAN.

Objetivos:

- Dar a conocer el proceso visual.
- Dar a conocer la naturaleza y propagación de la luz.
- Dar a conocer la terminología de iluminación.
- Iluminar una cancha de Fútbol por el método de Lumen.

INTRODUCCIÓN.

Desde hace miles de años, el hombre ha necesitado la iluminación artificial para realizar diversas actividades, principalmente trabajos nocturnos y en lugares poco iluminados. En épocas remotas como en la era primitiva, cuando el hombre era nómada y se alimentaba de la caza, la pesca y la recolección se utilizaban rústicas antorchas para hacer pinturas y dibujos rupestres en las cuevas.

Posteriormente, en las grandes civilizaciones de la antigüedad como la teotihuacana, egipcia, griega, maya, inca etc., se utilizó la iluminación artificial producida por el fuego. Los espléndidos murales interiores de los grandes templos y pirámides requirieron para su matización de considerables niveles de iluminación. Los edificios eran proyectados con espaciosos cubos y ventanales internos de manera que tuvieran buena ventilación e iluminación para poder realizar en ellos labores de gobierno y actividades religiosas durante el día. En las casas y chozas se utilizaba algún tipo de iluminación artificial, por ejemplo, los teotihuacanos usaban un espacio de candelero de barro cocido en el que colocaban una vela, que seguramente era de cera de la que producen las abejas.

En el feudalismo se acostumbraba iluminar castillos y casas con antorchas y candiles colgantes en los muros, se colocaban no donde podían dar los mejores resultados de iluminación sino donde su calor, humo y goteo causaran las menores molestias.

Con el capitalismo y la Revolución Industrial se inventó la máquina de vapor y la bombilla eléctrica y se requirió de producir satisfactores materiales y de servicio para la población. Las actividades en talleres y oficinas públicas se prolongaron hasta altas horas de la noche, por lo que se desarrollaron y perfeccionaron las instalaciones de alumbrado.

Desafortunadamente los proyectistas de las primeras instalaciones dieron por hecho que los soportes en las paredes y los candiles colgantes tenían cualidades reales de iluminación, lo que atrasó por cincuenta años la madures arquitectónica del alumbrado artificial, ya que la mayor dificultad de la iluminación de este tipo se debía a la escasez de conocimientos sobre el proceso de visión, incluso se pensaba que para obtener mejores resultados, las luz de las fuentes luminosas debían incidir directamente sobre los ojos y no sobre los objetos. Fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando se elaboraron métodos científicos basados en el funcionamiento real del proceso en el desarrollo de la luz artificial eléctrica y en el conocimiento de la fotometría, para proyectar instalaciones en la que combinan las instalaciones de la luz artificial con la sobras para proporcionar luz diurna por medio de tragaluces, cubos y ventanales.

CAPITULO 1

La necesidad de la iluminación artificial.

El presente trabajo se basa en un proyecto específico, pretendiendo lograr que se realice para promover pequeños torneos de fútbol para la distracción y el entretenimiento de las personas que gusten de practicar este deporte.

Se describen los diferentes tipos de lámparas, así como sus aplicaciones en diferentes áreas de acuerdo a sus características.

La iluminación en campos de deportes se ha ido adoptando a la práctica por las noches, ya que se facilita porque la mayoría de las personas cuentan con un poco de tiempo, además de que las prácticas son más cómodas por la temperatura ambiente y la exposición a los rayos de sol donde las áreas son abiertas.

En particular este proyecto se realiza con el fin no solo de iluminar no solo dicha cancha sino varias que se han construido en la zona ya que son de las mismas dimensiones.

Se pretende que se realice el mantenimiento adecuado ya que esto afecta los niveles de iluminación sobre todo por suciedad, esto porque el mantenimiento que se debe realizar en zonas publicas de recreación pocas veces se realiza de acuerdo a lo establecido.

El trabajo se presenta como una referencia de iluminación de canchas de fútbol con medidas oficiales.

Se toma el método del proyecto mencionado entre varias opciones de cálculo ya que se realiza mediante un programa de computadora evitando hacer varias pruebas para su determinación. Sólo se hace mención de los métodos ordinarios.

La primera luz eléctrica fue producida mediante un arco formado entre electrodos de carbono en un experimento desarrollado por el químico inglés Sir. Humphrey Davy en 1801 usando como fuente de corriente una pila voltaica.

Entre los años 1400 –1700 se encontraban faroles en las calles de Londres y París que funcionaban con velas.

Se comenzó a utilizar gas después de numerosos experimentos realizados en 1879 por William Hurdock en Inglaterra, en 1803 se iluminaron con gas los muelles de Filadelfia y la primera instalación de alumbrado de las calles fue en Londres en 1807, la primera instalación de gas en EU fue en 1821, el alumbrado público se aceptó en Inglaterra EU, Francia, Alemania y México.

En México en 1801 se disponía de faroles que daban luz por combustión de aceite de nabo o ajonjolí, posteriormente se alimentaron con trementina.

En 1854 el alemán Heinrich Goebel fabricó la primera lámpara con filamento de carbón, posteriormente la sustituyó por una fibra de bambú carbonizada la cual tenía una vida promedio de 400 horas.

En 1877 en Inglaterra Sawyer y Man utilizaron como filamento un alambre de platino, mientras esto sucedía en Estados Unidos Edison carbonizaba tiras de papel que hacía funcionar dentro de recipientes de vidrio dentro de los que se había practicado vacío parcialmente. Hizo pruebas con varillas de carbón las cuales utilizó posteriormente nombrando a esta "lámpara de arco".

La primera instalación de este tipo fue en Ohio en 1878, en México en 1881.

Este tipo de lámpara fue una gran fuente de luz, entonces Edison decidió hacer lámparas más pequeñas para usarse en casas, fábricas, comercios, etc., sustituyendo así el alumbrado de gas.

A partir de entonces fueron sustituyéndose en gran parte del mundo las lámparas de gas por este tipo de lámparas que finalmente fueron nombradas lámparas incandescentes.

La primera estación comercial de energía para luz incandescente que se instaló en el mundo entró en servicio el 12 de enero de 1882 en Londres, para 1890 las compañías Edison daban servicio a 1,300,000 lámparas incandescentes en EU.

Poco a poco se fue modificando la forma y el filamento de estas lámparas, como filamento se utilizó celulosa carbonizada, bambú carbonizado e hilos de carbón, hasta que en 1907 fueron sustituidos por el tungsteno que hasta la actualidad se utiliza. Este elemento fue descubierto por Scheele en 1781.

En 1876 se inventó la primera lámpara de arco eléctrico inventada por Paul Jablochhoff. Esta lámpara consistía de dos varillas paralelas de carbón separadas por un material aislante, el arco que originaba la luz se consumía gradualmente y requería reemplazo.

En 1869 una compañía de gas en México proporcionaba servicio público de alumbrado con dicho combustible.

En 1867 Becquerel realizó las primeras lámparas fluorescente, hacia 1930 fueron introducidas utilizándose para alumbrado exterior.

En 1952 se desarrolló una nueva lámpara fluorescente, esta se utilizó en iluminación de calles, causando gran interés y probando que el alumbrado público fluorescente podría ser práctico.

En 1901 Peter Cooper-Hewitt inventó la lámpara de mercurio de baja presión, pero produciendo una luz verde-azulosa.

Fue hasta 1934 cuando se introdujo la primera lámpara de vapor de mercurio de

alta presión mejorando su rendimiento cromático. Las ventajas que ofrecían estas lámparas dio como resultado que se usaran en alumbrado de calles que poco a poco fueron sustituyendo a las incandescentes.

La lámpara de sodio se desarrollo en 1933, en 1934 se introdujo en forma práctica, emitiendo una luz amarilla (característica de espectro de sodio) distorsionando los demás colores, sin embargo se pensó en utilizar en alumbrado de calles y avenidas teniendo una alta eficiencia y sustituyendo a la mayoría de las lámparas anteriores.

Las lámparas de aditivos metálicos son básicamente mercuriales de alta presión con algunas diferencias de diseño a las que han agregado algunos aditivos metálicos en forma de yoduros, la cual apareció en 1964, estas lámparas tienen una mayor eficiencia lumínica y mejor rendimiento cromático.

CAPÍTULO 2

El proceso visual.

El ojo es un mecanismo fisiológico que se parece en su funcionamiento al de una cámara fotográfica. Los rayos luminosos que entran a través del cristalino (lente), pasan por la pupila e inciden sobre las células fotosensibles localizadas en el fondo de la superficie interna del globo ocular llamada retina (lo que en la cámara fotográfica es la película). El párpado hace la función de obturados y el iris de diafragma que regula la entrada de luz.

Hay dos tipos de células fotosensibles en la retina: bastones y conos. La mayoría de los conos están agrupados en una pequeña área cerca del centro de la retina (fóvea-foco), donde los rayos luminosos enfocados por el cristalino forman una imagen invertida. Su agrupamiento se hace menos denso a medida que aumenta la distancia a la fóvea. Su fina disposición de mosaico permite que se forme una imagen clara y nítida, que es transmitida por el nervio óptico al cerebro que la percibe como una idea consciente. Los conos nos permiten leer e inspeccionar objetos cercanos, distinguir colores y hacer comparaciones visuales precisas.

La concentración de los conos disminuyen a medida que aumenta la distancia a la fóvea. Esto significa que fuera de la pequeña abertura del pequeño ángulo visual dominado por los conos, la claridad y agudeza visual disminuyen rápidamente. Los conos son insensibles a los niveles bajos de iluminación y su mayor concentración esta en la fóvea, zona del centro de la retina de unos 0.3 mm de diámetro.

Por su parte, los bastones desempeñan otro papel en la visión están menos densos que en los conos y se encuentran dispersos sobre toda la superficie interna del globo ocular. Son mucho más sensibles a la luz y por su escasa y torpe disposición en mosaico no producen una imagen finamente enfocada. Además, están conectados por nervios no al cerebro sino directamente a músculos en distintas partes del cuerpo, lo cual hace posible que se produzcan reflejos musculares automáticos para proteger el cuerpo y los ojos de objetos en el aire. A los bastones se debe una visión mucho más amplia y con bajos niveles de iluminación, responden poco al color y existen sólo fuera de la fóvea, aumentando su densidad a medida que se alejan de ésta, son muy sensibles al movimiento y a las oscilaciones luminosas. (Tabla 2.1)

Visión foveal por los conos	Visión por los bastones
<ol style="list-style-type: none"> 1. Campo estrecho de visión. 2. Visión por esfuerzo consistente. 3. Visión precisa. 4. Necesidad de iluminación adecuada. 5. Sensibilidad al color. 6. Comparaciones visuales precisas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Amplio campo de visión. 2. Visión instintiva de rápida reacción. 3. Visión general. 4. Visión sensible (nocturna) 5. Poca reacción a los colores. 6. Capta si hay equilibrio en el ambiente.

Tabla 2.1 Campos de visión foveal

- **Visión central.** Los conos de la fóvea producen en el cerebro una imagen muy nítida; gracias a ellos el ojo alcanza su máxima capacidad de resolución.
- **Visión periférica.** Por las características de los bastones y su disposición en la periferia de la retina, no se produce una visión nítida si no que los objetos aparecen como siluetas borrosas.

- **Visión escotópica.** En valores de luminancia o niveles de iluminación de interiores a 0.5 lux, la visión se denomina escotópica. Aquí los bastones son los elementos principales y la detección periférica, es por lo tanto, superior a la foveal. La visión escotópica no produce en el cerebro la sensación de color.
- **Visión fotópica.** Si el ojo esta adaptado a niveles de luminancia o iluminación mayores de 3 lux., la visión se denomina fotópica. En ella los conos son los elementos activos primordiales y es posible una captación de colores normal.
- **Visión mesópica.** Es la visión comprendida entre los niveles de luminancia de 0.05 a 3 lux valore límite de la visión escotópica y fotópica, respectivamente. Al disminuir el nivel de iluminación disminuye también la capacidad del ojo para distinguir colores.

Elementos constitutivos del ojo.

- **Párpado.** Es un pliegue de piel que protege y ayuda a regular la cantidad de luz que llega al ojo bajo condiciones demasiado brillantes. Sirve también para distribuir el líquido lagrimal sobre la córnea y mantenerla húmeda.
- **Córnea** Es la porción transparente de la membrana exterior que rodea al ojo, sirve como protección, pues es muy resistente.
- **Humor acuoso.** Es un líquido situado entre la córnea y el cristalino, con un índice de refracción (próximo al del agua) de 1.336 e igual al del humor vítreo.
- **Cristalino.** Es el lente del ojo. Está formado por una cápsula transparente que contiene una gelatina fibrosa, dura en el centro y se hace progresivamente más blanda hacia fuera, con un índice de refracción de 1.437. El cristalino está sostenido por ligamentos que lo unen a los músculos ciliares.

- **Músculos ciliares.** Son dos pares, dos verticales y dos horizontales, que controlan la forma del cristalino. Uno para enfocar los objetos a diferentes distancias. Cuando estos músculos se fatigan sobrevienen los defectos de la visión.
- **Iris.** Está situado detrás de la córnea y delante del cristalino, en su centro hay una abertura llamada pupila.

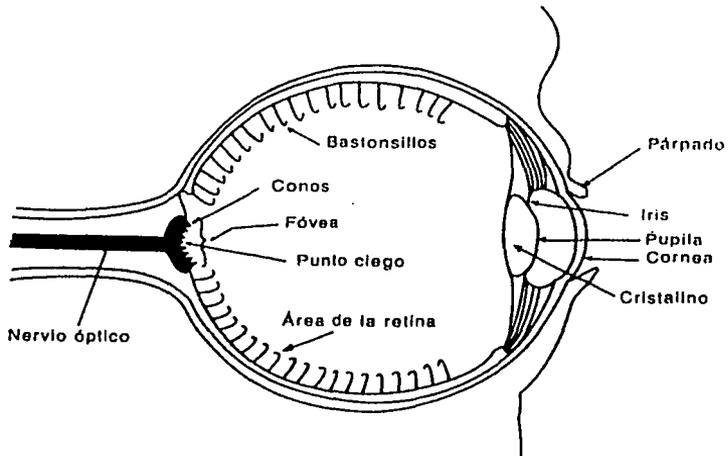


Fig. 2.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL OJO.

- **Pupila.** La función de la pupila es regular la cantidad de luz que entra en el ojo. Se dilata automáticamente si la cantidad de luz del campo de visión es pequeña y se contrae si ésta aumenta.
- **Humor vítreo.** Es una gelatina ligera que contiene en su mayor parte agua. Se

encuentra entre el cristalino y la retina.

- **Retina.** Es una gran parte de superficie interna del ojo, recibe las imágenes y es sensible a la luz. Está formada por una delicada película de fibras nerviosas que divergen del cono óptico y terminan en minúsculas estructuras en forma de conos y bastones. Estos, junto con el líquido azulado llamado púrpura visual que se encuentra entre ellos, reciben la imagen óptica y la transmiten por medio del nervio óptico al cerebro. Hay una ligera depresión en la retina llamada mancha amarilla o mácula. (Véase Fig. 2.1).

Características de la percepción visual.

Adaptación:

Es el proceso mediante el cual se regula la cantidad de luz que llega al ojo. Dicha función la realiza la pupila, ya que esta se dilata si el brillo del campo es pequeño y se contrae si es excesivo. Sin embargo, mientras que el diámetro de la pupila puede hacerse 4 veces más mayor (y por consiguiente el área es 16 veces mayor), el ojo puede adaptarse a variaciones de brillo de 1 a 100 000 veces. Esta enorme variación relativa de la luz que entra en el ojo no puede ser compensada sólo por la variación del tamaño de la pupila, sino que es ayudada por la retina, que es capaz por sí misma de adaptarse a estas grandes diferencias de cantidad de luz.

El tiempo que toma el proceso de adaptación depende del estado de la luz y de la diferencia entre las intensidades de iluminación. La adaptación a un nivel más alto de iluminación se verifica más rápido que en el caso contrario, normalmente en el transcurso del primer minuto, mientras que la adaptación a la oscuridad avanza

con mayor celeridad durante los primeros 30 minutos y puede transcurrir hasta una hora para adaptarse completamente. Estos hechos se deben tomar en cuenta en la iluminación de las salas cinematográficas, pasos a desnivel o túnel de tráfico.

Acomodación:

Cuando el cristalino se encuentra en su forma mínima convexa, el ojo enfoca sobre objetos en el infinito. Para enfocar objetos próximos el cristalino necesita aumentar su convexidad mediante la contracción de los músculos ciliares; cuando están contraídos el cristalino está enfocado sobre los objetos situados en el infinito, este proceso se denomina acomodación. Los límites del intervalo dentro del cual es posible este proceso se conoce con los nombres de punto remoto y punto próximo del ojo. La posición del punto próximo depende del grado que pueda aumentarse la curvatura del cristalino por acomodación fig. 2.2.

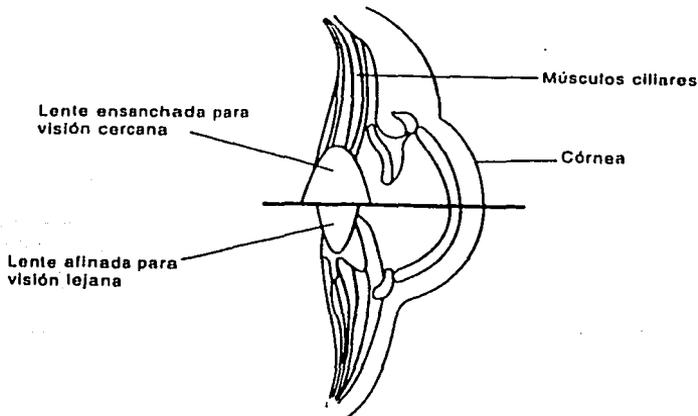


Fig. 2.2 PROCESO DE ACOMODACIÓN DEL OJO.

El alcance de la acomodación disminuye gradualmente con la edad, debido a que el cristalino pierde su flexibilidad. En la *tabla 2.2* se presenta la posición del punto próximo a diferentes edades.

Edad (años)	Punto próximo (cm)
10	7
20	10
30	14
40	22
50	40

· TABLA 2.2 Alcance de acomodación por la edad.

Al respecto puede considerarse que los efectos de la visión se deben, principalmente a fatigas crónicas en los músculos ciliares y causa del mal uso de la vista. Por ejemplo, cuando se realiza una tarea visual bajo condiciones de baja iluminación o en condiciones en que la vista tiene que esforzarse demasiado (leer en un autobús en marcha o leer tipos de letra demasiado pequeños) y no se proporciona a la vista un descanso adecuado, sobreviene la fatiga que cuando es crónica obliga a tener, que ayudarse de anteojos, lo cual no es recomendable, pues los adminículos obligan al músculo ciliar fatigado, responsable del defecto visual, a quedar permanentemente invalidado.

Otras causas no menos importantes de la visión defectuosa son las deficiencias alimenticias y las tensiones emocionales, ya que los músculos, principalmente de la cara, se alteran y desequilibran a su vez a los músculos ciliares. Los defectos más comunes son:

- **Astigmatismo.** Defecto en el cual la superficie de la córnea no es esférica, de manera que no se puede enfocar al mismo tiempo líneas verticales y horizontales.
- **Miopía.** Imposibilidad de enfocar objetos lejanos. La distancia focal es corta y los rayos convergen delante de la retina.
- **Hipermetropía.** Imposibilidad enfocar objetos cercanos. La distancia focal del ojo hipermetrope es larga y los rayos convergen atrás de la retina.
- **Presbicia.** No se considera un defecto, pues la falta de la acomodación del cristalino se pierde a medida que éste se hace menos flexible con la edad.

Sensibilidad del ojo.

El ojo no responde con la misma sensibilidad a las diferentes longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas del espectro visible, es decir, que no es igualmente sensible a todos los colores. Por ejemplo, se sabe que el color amarillo es el que con mayor intensidad impresiona a los ojos. De hecho la sensibilidad máxima del ojo reside en el amarillo-verdoso en una longitud de onda de unos 554 nm. Esto significa que el ojo humano distingue más rápidamente objetos iluminados con estos colores. De ahí el uso de los faros de niebla de color amarillo y la tendencia a pintar de anaranjado o amarillo las zonas o partes peligrosas en maquinaria e industria.

La curva normal de la sensibilidad del ojo se basa en la visión de conos que también se llama visión fotópica. A muy bajos niveles de iluminación del orden de unos 0.05

lux o menos, son los bastones quienes se encargan de todo el proceso visual, apareciendo entonces una nueva curva de sensibilidad del ojo (igual a la normal de visión con conos, pero defasada unos 48 nm hacia el extremo azul del espectro. A este defasamiento se le conoce como efecto Purkinje por lo cual en la oscuridad el ojo se hace relativamente sensible a la energía en el extremo azul del espectro visible.

Factores objetivos de la visión.

Como se indicó, los ojos trabajan por contraste, el contraste de la luz y de la sombra, lo recto y lo curvo, lo grande y pequeño, lo hondo y superficial, lo cercano y lejano; estos dos últimos contrastes en virtud de la visión estereoscópica de los ojos. Podemos considerar algunos factores fundamentales que exageran o atenúan dichos contrastes, a saber:

Contraste.

La iluminación de un objeto depende de la luz que incide sobre él y de la que es capaz de reflejar. Así, los colores pueden parecer más brillantes al ojo que los oscuros, aunque estos últimos pueden parecer brillantes con una iluminación muy intensa.

Es obvia la importancia del contraste la luminancia del objeto y la del fondo para facilitar la visión. Aunque se debe guardar cierta proporción, se ha encontrado que una relación entre luminancias de 10 a 1 y hasta de 30 a 1 son recomendables.

El factor directamente en la observación es la diferencia de luminancias y/o color entre el objeto contemplado y el medio circundante. Subjetivamente, el contraste es la valoración de la diferencia de aspecto de dos partes de un campo de visión observados simultáneamente o sucesivamente. Desde el punto de vista objetivo el contraste, y en particular la luminancia, se define por una de las fórmulas:

$$L_c = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad L_c = \frac{L_2 - L_1}{\sqrt{2}(L_1 + L_2)}$$

Donde L_1 representa la luminancia del fondo y L_2 representa la del objeto.

Sensibilidad de contraste.

Es un determinado ensayo que se mide ajustando el nivel de iluminación de manera que el contraste observado sea apenas perceptible. Por ello, la visión se facilita si se aumenta el contraste y el nivel de iluminación por encima del valor del umbral definido por la sensibilidad de contraste del ojo. Cuantitativamente la sensibilidad de contraste (C_s) es igual valor recíproco del umbral de contraste O y a la luminancia del fondo dividida por la luminancia umbral (L), es decir:

$$C_s = \frac{1}{C_u} = \frac{L_f}{L_u} = \frac{L_1}{L_2 - L_1}$$

Por otro tanto, cuanto más bajos sean los valores umbral, mayor será la sensibilidad.

La sensibilidad de contraste, medida en condiciones de laboratorio, es meramente

una función de la luminancia del fondo. En la práctica está influida por el contorno, la adaptación del ojo y otros factores secundarios, tales como las fuentes de luz que pueden producir deslumbramientos dentro del campo de visión.

El tamaño y la forma.

Es común que los tipos de letra grandes de un periódico o libro sean más fáciles de leer que los tipos pequeños de un diccionario. En virtud de lo recto y curvo es que se puede descifrar, el dibujo, etc; es por ello que estos factores externos deben tomarlos en cuenta el decorador o el arquitecto.

Inercia visual.

La sensación luminosa en el ojo no desaparece instantáneamente, es decir una imagen queda en el ojo por espacio de algunas centésimas de segundo para que pueda ser asimilada. Esta especie de inercia visual logra que el "parpadeo" de las lámparas, producido por la alternancia de la corriente, no se note (excepto cuando se trata de frecuencias más bajas de 25 cps.). Un ejemplo lo constituye el cinematógrafo donde las imágenes se suceden a razón de 37 por segundo y que gracias a la inercia visual no percibimos. Este 'parpadeo', principalmente de las lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, debido al efecto de la frecuencia de la corriente alterna se le llama efecto estroboscopio y si no se corrige puede hacer ver al espectador múltiples imágenes de cualquier objeto en movimiento.

Tiempo.

El tiempo no es un factor tan importante cómo se pensaba, aunque debe tomarse en consideración para algunos casos especiales como el proceso de adaptación. Decimos esto porque el ojo humano sólo necesita fracciones de segundo para poder fijar y asimilar una imagen, como es el caso del cine.

Agudeza visual

La agudeza visual o nitidez de visión puede definirse cualitativamente o cuantitativamente.

Cualitativamente es la capacidad para distinguir objetos que están muy cerca entre si. Cuantitativamente es el valor recíproco de la separación angular (generalmente minutos de arco) de los objetos adyacentes que el ojo apenas puede distinguir que están separados. Así la agudeza visual mide el detalle más pequeño que puede percibirse y depende del nivel de iluminación.

Velocidad de perfección.

La velocidad de perfección depende del nivel de iluminación y se puede definir como el valor recíproco del intervalo del tiempo transcurrido entre la presentación de un objeto y la percepción de su forma. Correspondientemente, la velocidad de percepción del contraste es el valor recíproco del intervalo de tiempo entre el instante

en que el contraste aparece y se percibe.

Por otra parte es saludable para la vista recorrer el panorama visual fijarla mucho en un solo detalle, lo que obliga a tener buenos niveles de iluminación, pues con bajos niveles el ojo requerirá de más tiempo para lograr la imagen y tendrá que esforzarse más para poder ver y enfocar una imagen mal iluminada o sin contraste. Evidentemente a buenos niveles luminosos es insignificante el tiempo de exposición de una imagen en el ojo.

Se puede concluir que de los factores que el luminotécnico puede controlar están el brillo y lógicamente el contraste producido, ya que los demás factores dependen de una realidad propuesta por los decoradores y arquitectos.

Campo de la visión.

Para evitar que la luz de las luminarias llegue directamente a los ojos y produzca deslumbramientos es necesario conocer el campo visual del ojo humano. Dicho campo se extiende unos 180° en el plano horizontal y unos 130° en el plano vertical, 60° por encima y 70° por debajo de la horizontal. (Véase Fig. 2.3)

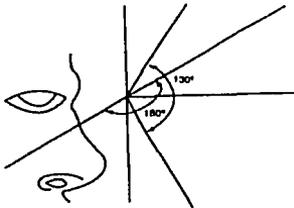


FIG. 2.3 Campo visual del ojo humano.

En suma un sistema de alumbrado debe suministrar iluminación suficiente y adecuada para la visión en detalles con los conos y además, proporcionar una relación cómoda de equilibrio entre lo brillante y lo oscuro para dar contrastes suaves en todo el campo visual en la visión con los bastones.

Un sistema de alumbrado bien proyectado proporciona iluminación suficiente para el trabajo visual que se realiza, con una visión sostenida y sin fatiga (visión con los conos), y una iluminación equilibrada de los alrededores para dar una sensación de comodidad, de bienestar y aun de seguridad (visión con los bastones).

Un ejemplo extremo de un alumbrado proyectado sólo para proporcionar iluminación sobre la tarea visual, es un reflector dirigido sobre un escritorio en un cuarto oscuro. La mancha de luz producida descuida la iluminación, da un contraste desequilibrado entre lo brillante y lo oscuro para la visión de los bastones, proporciona una sensación de inseguridad, así como pérdidas de agudeza visual. Por esta razón, los arquitectos y constructores deben evitar usar como sistema básico de alumbrado la combinación de lámparas reflectoras y acabados oscuros en techos y paredes. Es decir, evitar sistemas de alumbrado que favorecen la visión con los bastones y descuidan la visión con los conos.

Tal condición ocurre, por ejemplo, cuando se tiene un techo muy luminoso y paredes y muebles demasiado claras o blancas pues el deseo instintivo de fijar la atención sobre los objetos brillantes dentro del campo de visión, provoca que los ojos tengan

dificultad para concentrarse y enfocarse sobre la tarea visual que se pretenda realizar. En un ambiente así la atención vaga, los objetos pierden precisión en su forma y textura y los detalles arquitectónicos y embellecimiento tienden a ser monótonos, sin relieve y sin rasgos distintivos, ya que la vista es un sentido que trabaja por contraste.

CAPITULO 3

Factores que influyen para tener una excelente iluminación.

La gran mayoría de nosotros confía más en la vista que en cualquiera de los otros sentidos. Contamos con ella para aprender, para realizar nuestras labores. Sin luz no hay iluminación, el ojo no transmite información al cerebro si no existe luz. Los factores que debemos tomar en cuenta para una excelente iluminación son los siguientes;

- Iluminación
- Contraste
- Sombras
- Deslumbramiento

Iluminación

En varios proyectos se ha podido comprobar que la capacidad visual depende de la iluminación y que ésta afecta el estado de ánimo de las personas, su aptitud para desarrollar su trabajo, su poder de relajación, etc.

Cada actividad requiere una determinada iluminación nominal que debe existir como valor medio en la zona en que se desarrolla la misma. Este valor para una determinada actividad está en función de una serie de factores en los que se puede citar:

- Tamaño de los detalles a captar.

Capítulo 3. Factores que influyen para tener una excelente iluminación.

- Distancia entre el ojo y el objeto observado.
- Factor de reflexión del objeto observado.
- Contraste entre los detalles del objeto y el fondo sobre el que destaca.
- Tiempo empleado en la observación.
- Rapidez de movimiento del objeto.

Mientras mas dificultoso nos resulte el poder observar a detalle algunos objetos, mayor debe ser el nivel de iluminación requerido en esa zona.

La dificultad para observar a detalle los objetos, sobre todo "pequeños" se acentúa mucho más en las personas de edad avanzada. Por tal motivo se requiere un mayor nivel de iluminación en los lugares donde estas personas realizan actividades específicas. Se ha comprobado que mientras un niño de 10 años, para leer normalmente la página de un libro con buena impresión necesita un nivel medio de iluminación de 175 lx, una persona de 40 años necesita 500 lx y otra de 60 años 2500 lx. Tomando en cuenta estos estudios se han creado normas y recomendaciones de los niveles de iluminación mínimos que se requieren para poder tener un buen nivel de iluminación, dependiendo de la actividad que se desee desarrollar y la edad de las personas que la van a desarrollar.

Contraste

El ojo solo aprecia diferencias de luminancia. La diferencia de luminancia entre el objeto que se observa y su espacio inmediato es lo que se conoce como **contraste**. Las mejores condiciones visuales se consiguen cuando el **contraste de luminancia**

Capítulo 3. *Factores que influyen para tener una excelente iluminación.*
entre el objeto visual y las superficies circundantes se encuentran dentro de unos
límites determinados.

En la siguiente tabla se muestra algunos contrastes de colores.

Color del objeto	Color de fondo
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro

Tabla 3.1 Contraste de colores

Sombras

El hecho de que nosotros podemos ver las cosas en relieve, es decir, unas cosas mas cercas que otras, se debe a que contamos con 2 ojos. En cada ojo se forma una imagen ligeramente distinta, y al ajustarse las dos en el cerebro dan la sensación de relieve.

Para que suceda un relieve, es preciso que algunas zonas del objeto observado estén más iluminadas que otras. A las zonas menos iluminadas se les conoce como **sombras**.

Las sombras son el resultado de una diferencia de luminancia respecto a zonas mas iluminadas. Se conocen 2 tipos de sombras: fuertes y suaves. Sombras fuertes son las que resultan de iluminar un objeto con luz directa e intensa desde un punto determinado mas o menos dejado y se caracteriza por su profunda oscuridad y

Capítulo 3.

Factores que influyen para tener una excelente iluminación.

dureza con alto efecto de relieve. Las sombras suaves son las que resultan de iluminar un objeto con luz difusa y se caracteriza por su suavidad y menor efecto de relieve.

En todo proyecto de iluminación debemos tener una buena uniformidad de iluminación. Las sombras traen como consecuencia un disconfort visual, esto se debe de evitar en trabajos especialmente en Naves Industriales al área de inspección, laboratorios, selección, ensamblado, etc.

Deslumbramiento.

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestias o disminución en la capacidad para distinguir los objetos, o ambas cosas a la vez. Este fenómeno es provocado por una inadecuada distribución de los luminarios o como consecuencia de contrastes excesivos.

DESLUMBRAMIENTO DIRECTO.

Es el resultado de la luminancia proveniente directamente de una ventana o luminaria. Puede crear disconfort y fatiga visual como consecuencia del continuo ajuste y reajuste de las pupilas a dos niveles de iluminación muy diferentes.



DESLUMBRAMIENTO REFLEJADO.

- Esta luz reflejada por superficies brillantes y que contribuye a un esfuerzo visual y fatiga. Una fuente de luz reflejada en la pantalla de un monitor crea una imagen brillante que dificulta la lectura de los caracteres en dicha pantalla.



LUMINANCIA DE VELO.

Es el reflejo producido por una luminaria que oscurece parcial o totalmente detalles (como por ejemplo palabras impresas sobre un papel brillante) por la reducción del contraste entre los detalles y el fondo. Puede oscurecer partes de un texto o velar imágenes fotográficas dificultando su visión.

CONSECUENCIAS.

Al margen de los problemas visuales apuntados, la iluminación incorrecta de los puestos de trabajo trae como consecuencia una cantidad de dolores corporales (cuello, hombros y espalda especialmente) derivados de tales posiciones anormales que, inconscientemente, el individuo adopta para evitar de alguna manera de ser víctima del deslumbramiento.

Brillantez o Luminancia:

La luminancia es el flujo luminoso reflejado o transmitido a través de una superficie.

Capítulo 3. Factores que influyen para tener una excelente iluminación.

Es igual a la luminancia de una superficie, multiplicada por los factores de reflectancia o transmisión de dicha superficie. La luminancia es percibida por nuestros ojos como una sensación de brillantez que en parte es afectada por la luminancia medible y en parte por el estado de adaptación del ojo.

En la tabla podemos ver los valores de luminancia para fuentes de luz naturales y artificiales.

Valores de luminancia aproximados para varias fuentes de luz		
Fuente de luz	Luminancia típica (fi)	Luminancia típica (cd/m ²)
Sol (observados desde la tierra)	450,000,000	1,540,000,000
Luna (observada desde la tierra)	2,400	8,000
Nieve a la luz del sol	9,000	31,000
Cielo cubierto	600	2000
Luz de Buje		
Lámpara de filamento (600	2,900	1 0,000
Watts esmerilada interiormente)	8,800	30,000
Lámpara Fluorescente 40 watts	5,000	17,000
(blanco frío)		

Tabla 3.2 Valores de luminancia

Se define a la emitancia luminosa o brillantez como la densidad de flujo luminoso reflejado o transmitido por una superficie hacia los ojos del observador (B) (lm/m² o %)

$$B = \frac{\Phi_{\text{incidente}} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right)}{A} \quad B_{\text{reflejada}} = \frac{\Phi_{\text{reflejada}}}{A}$$

Donde:

lm: Lumen (lm)

A: AREA (m)

Capítulo 3.

Factores que influyen para tener una excelente iluminación.

En consecuencia el Brillo es característica de una sensación visual la cual un área parece emitir mas o menos luz. El termino brillo se considera un atributo del color y se emplea para describir la luminosidad de este.

Lámpara:

Se puede definir a la lámpara como cualquier dispositivo empleado para la iluminación artificial. Es el aparato mediante el cual se transforma la energía eléctrica, en energía luminosa.

Balastro

Es un dispositivo electromagnético o electrónico usado para operar lámparas eléctricas de descarga. Sirve para proporcionar a éstas las condiciones de operación necesarias.

Luminaria:

Es el gabinete contenedor de las lámparas y en algunos casos también balastos, se utiliza para dirigir y controlar el flujo luminoso de una o mas lámparas.

Flujo luminoso:

Es la energía radiante en forma de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad del tiempo (segundo), su unidad es lumen (lm).

Capítulo 3. Factores que influyen para tener una excelente iluminación.

Candela:

Es la unidad de intensidad de una fuente de luz en una dirección dada. Se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente luminosa que emite radiación monocromática (540×10^{12} Hz = 555 nm), y de la cual, la intensidad radiante en esa dirección es de 1/683 watts / steradian.

Nivel de iluminación o iluminancia.

Se define como la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie, su unidad de medida es el "lux". Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado. El nivel de iluminación se recomienda en un cierto valor mínimo de luxes de acuerdo a la tarea a desarrollar y tipo de lugar de trabajo.

Reflector.

Dispositivo empleado para aprovechar la reflexión de la luz. La reflexión de la luz es especular cuando los rayos luminosos reflejados se orientan en direcciones preferentes de acuerdo a las características geométricas en la que se produce la reflexión.

Eficacia de una lámpara.

Es el flujo luminoso emitido por una lámpara entre la potencia eléctrica (watt) que

Capítulo 3. Factores que influyen para tener una excelente iluminación.
requiere para operar, se expresa como lumen / watt.

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{lumenes}}{\text{watt}}$$

Eficacia de una luminaria.

Se define como el flujo luminoso emitido por un conjunto de lámparas que aloja una luminaria entre la potencia eléctrica (watt) que requiere para operar, incluidos los balastos, se expresa como lumen / watt.

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{lumenes}}{\text{watt}}$$

Temperatura de Color.

Es una medida de color de la luz emitida por un cuerpo negro a una temperatura particular, es expresada en grados kelvin. Las lámparas incandescentes tienen una baja temperatura de color (2800 °k), denotada por un rojo amarillo; las lámparas de luz de día poseen alta temperatura de color (aproximadamente 6000 °K), y parecen como azulado. En la actualidad el fósforo usado en lámparas fluorescentes puede graduarse para proveer cualquier temperatura de color deseada en el rango de 2800 a 6000 °k. La tabla 3.2 lista las temperaturas de color características de algunas lámparas típicas.

Fuente luminosa	Rango de temperatura de color °K
Incandescentes	
60 watts	2500 —2700
100watts	2700—2900
500 watts	2900-3100
Halógeno, tungsteno	3000-3200
Fluorescentes	
Blanco cálido	2900 -3000
Blanco frío	4000—4500
Luz diurna	6000 — 6500
Mercurio	
Transparente	5500 — 5800
Mejorado	4400—4500
Aditivo metálico	
Transparente	3700- 3800
Recubierto	3200—4000
Sodio alta presión	
Normal	2000--2100
Color mejorado	3000 —4000
Sodio de baja presión	1700—1800

Tabla 3.3 Temperatura de las fuentes luminosas

Índice de rendimiento de color

Es una medida que describe la calidad de la producción de colores de la luz de una lámpara, debe ser considerada en toda la aplicación de la iluminación, se mide en una escala de 0 al 100, o en porcentaje. La luz del sol y la luz incandescente tiene un CRI de 100. Es importante saber que los objetos y personas iluminados bajo una luz con alto CRI se ven mas naturales, además que el nivel de la iluminación se percibe como mayor.

En aplicaciones comerciales, las lámparas con alto índice de rendimiento de color hacen que la mercancía sea mas atractiva al cliente, la comida sea mas apetitosa en los restaurantes y la gente en general un mejor, saludable y mas natural. En las oficinas se incrementa la productividad del trabajador, se reduce el ausentismo y se disminuye el riesgo de cometer errores.

Vida nominal de la lámpara.

La vida nominal de una lámpara se define como el tiempo que transcurre hasta que sigue funcionando solo el 50% de un grupo de lámparas. La vida nominal sigue de cerca la curva de mortalidad de la mayor parte de las estadísticas para grandes poblaciones de individuos.

Depreciación de lúmenes.

La potencia lumínica se va degradando con el tiempo. La pérdida de la luz, que se conoce como depreciación lumínica puede ser tan alta como el 20 al 30% de la vida nominal de la lámpara. Esta característica debe tomarse en consideración en el diseño de la iluminación. En la tabla siguiente se listan las características de depreciación en lúmenes típicas para varias lámparas.

TIPO DE LAMPARA	Potencia lumínica aproximada	
	50% de la vida	100% de la vida
Incandescente		
Tipo para servicio general	90	82
Tungsteno — halógeno	97	92
Fluorescente		
Carga ligera (baja brillantez)	92	90
Carga mediana (normal)	85	82
Carga alta (salida alta)	75	65
Descarga de alta densidad		
Mercurio (H)	77	60
Aditivos metálicos (MH)	70	65
Sodio alta presión (HPS)	90	70

Tabla 3.4 Depreciación de las lámparas

CAPITULO 4

La naturaleza y propagación de la luz.

Teoría corpuscular.

En el siglo XVII se pensaba que la luz era una corriente de corpúsculos emitidos por focos luminosos como el sol o una vela. Estos corpúsculos se propagan en línea recta, penetraban en las sustancias transparentes, se reflejaban en las sustancias opacas y excitaban el sentido de la vista al penetrar por la pupila del ojo. A esto se le conoce como Teoría corpuscular propuesta por Newton.

Teoría ondulatoria.

En 1670 Christian Huygens demostró que las leyes de reflexión y refracción se explicaban mejor por medio de la teoría ondulatoria, basada en el fenómeno electromagnético. Esta teoría se objetaba diciendo que si la luz era un fenómeno ondulatorio, entonces no se propagaría en línea recta y que un rayo de luz podría, por ejemplo, doblar una esquina, fenómeno que no se observaba debido a que longitudes de onda de los rayos luminoso son demasiado pequeñas. Sin embargo, en 1669 Grimaldi observó la inflexión luminosa en los bordes de un objeto, (véase fig. 4.1), a este fenómeno se le conoce con el nombre de difracción.

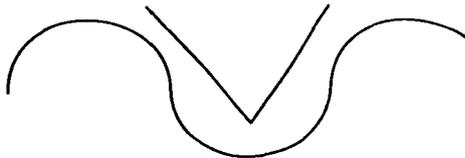


Fig. 4.1 Inflexión de una onda luminosa

En 1827 Young y Fresnel midieron la longitud de onda de la luz y demostraron su propagación rectilínea.

El físico escocés James Clerk Maxwell, demostró en 1873 que un circuito eléctrico oscilante debía radiar ondas electromagnéticas, cuya velocidad de propagación podía calcularse a partir de cantidades puramente eléctricas y resultó ser 3×10^8 m/seg., cantidad muy similar a la calculada por Foucault.

En 1888 Heinrich Hertz, con un circuito oscilante de pequeñas dimensiones, logró producir radiaciones de corta longitud de onda (que hoy se llaman ultracortas) de indudable origen electromagnético y demostró que poseían todas las propiedades de las ondas luminosas; podían ser reflejadas, concentradas por un lente, polarizadas; etc., igual que las ondas luminosas.

Sin embargo, la teoría ondulatoria electromagnética no podrá explicar el fenómeno de la emisión fotoeléctrica (efecto Edison), es decir, la expulsión de electrones de un conductor por la luz que incide sobre él. Ver figura 4.2

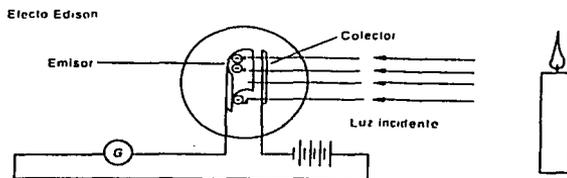


Fig. 4.2 Circuito oscilante.

TEORIA DUAL.

En 1921 A. H. Compton logró determinar el movimiento de un solo electrón de un solo fotón y después de un choque entre ellos y demostró que tenían energía cinética y cantidad de movimiento, conservándose ambas magnitudes después del choque.

Actualmente, se acepta que la luz tiene una doble naturaleza: ondulatoria y corpuscular, es decir, electromagnética y fotónica, de manera que los fenómenos de propagación de la luz se explican dentro de la teoría electromagnética, mientras que la acción mutua entre luz y materia en los procesos de absorción de la energía luminosa se explica por medio de la teoría corpuscular.

El espectro electromagnético.

Queda establecido hasta ahora que la luz es un fenómeno ondulatorio electromagnético de pequeñas partículas denominadas fotones, cuya energía es proporcional a su frecuencia de vibración, dicha frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda. (véase Fig. 4.3).

Como el producto de la longitud de onda por la frecuencia nos da la velocidad, que es constante, entonces:

$$L \times F = C = 300000 \text{ km/seg}$$

por lo cual

$$f = \frac{C}{L}$$

es decir, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda.

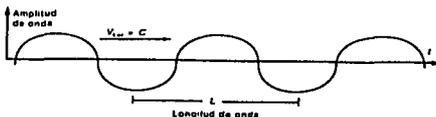


Fig 4.3 Frecuencia ondulatoria

De aquí se desprende que todas, las radiaciones electromagnéticas son similares en cuanto a su naturaleza y a la velocidad con que se desplazan y diferentes entre si en cuanto a su longitud de onda, su frecuencia y su modo de manifestarse, que va desde efectos nocivos a los seres vivos como son los rayos cósmicos, rayos gamma, rayos X y ultravioleta hasta efectos útiles, como las ondas de radio para las comunicaciones, de la energía eléctrica alterna, cuya frecuencia de 60 hertz da una longitud de onda L igual a 5000 Km.

$$L = \frac{300\,000}{60} \frac{\text{Km / seg}}{\text{ciclos / seg}} = 5000 \text{ km}$$

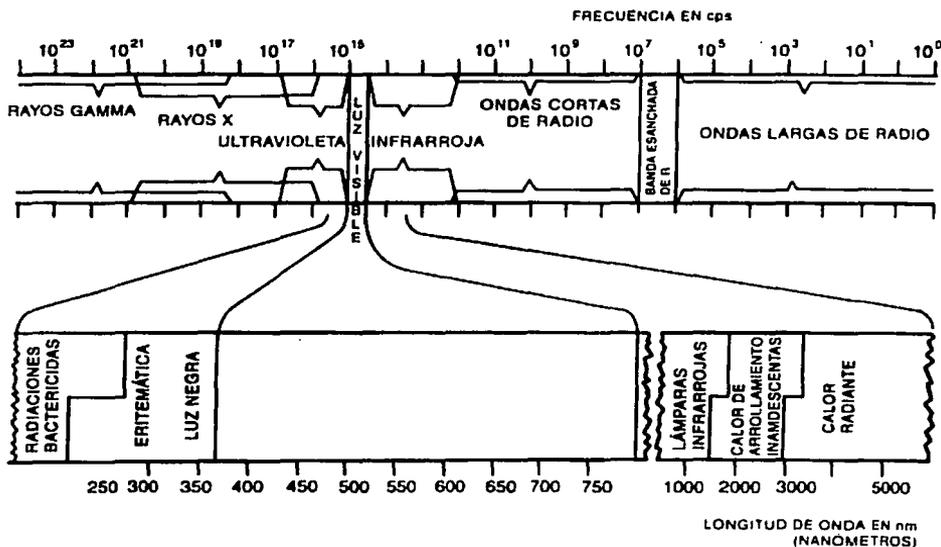


Fig. 4.4 Espectro electromagnético

El espectro visible o luz se puede descomponer en sus colores por medio de un prisma, fenómeno conocido como refracción de la luz que es lo que se observa en el arco iris. Debido a que el ángulo de reflexión de la luz es diferente para cada longitud de onda, las distintas longitudes de onda presentes en la luz y correspondientes a cada color se dispersan y producen la gama de colores conocida.

La longitud de onda de las radiaciones electromagnéticas capaces de impresionar el sentido de la vista, se encuentra entre 0.000038 y 0.000076 cm. Para poderlas medir se utilizan unidades más pequeñas, por ejemplo:

- Una micra = $1 \times 10^{-6} \text{ m} = 10^{-4} \text{ cm}$
- Una milimicra = $1 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$
- Un nanómetro = $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$

El color púrpura o guinda existe sólo por una interacción entre los conos rojos y azules de la retina, es decir, el púrpura es un artificio visual y no color espectral puro, véase fig. 4.4.

En iluminación artificial lo que realmente interesa, además de un nivel luminoso apropiado, es que la energía radiante de las fuentes luminosas al incidir sobre los objetos excite al sistema visual y reproduzca en el cerebro de lo más ampliamente posible al espectro visible. Sin embargo, no todas las fuentes luminosas logran esto,

pues si algunas reproducen casi todo el espectro visible otras sólo color, como las incandescentes y las de vapor de sodio de baja presión.

Distribución de la energía espectral de diferentes fuentes luminosas.

El ojo humano responde sólo a una parte del espectro electromagnético, una estrecha franja comprendida entre los rayos ultravioleta y los rayos infrarrojos, a la que comúnmente se le llama espectro visible. (véase fig. 4.4)

Las longitudes de onda que comprenden al espectro visible van desde 380 nm que corresponden al color violeta, hasta los 760 nm que corresponden al color rojo. Por lo tanto, cada color le corresponde un rango determinado de longitud de onda.

(Tabla 4.1)

<i>Color</i>	<i>Longitud de onda en nanómetros (nm)</i>
Púrpura	Color no espectral
Rojo	760—630
Naranja	630—590
Amarillo	590—560
Verde	560—490
Azul	490—440
Íñigo	440—420
Violeta	420—380

Tabla 4.1 Distribución de la energía espectral

CAPITULO 5

Luminotecnia.

Al igual que otras formas de la energía, la luminosa, que es una parte de la energía radiante Q_r , ha sido investigada a fondo determinándose diferentes conceptos matemáticos que la definen completamente. Estos conceptos se relacionan entre si con leyes bien definidas que se derivan de dicha energía luminosa o cantidad de luz, que se simboliza con la letra Q y cuya unidad es el lumen-hora o lumen-segundo.

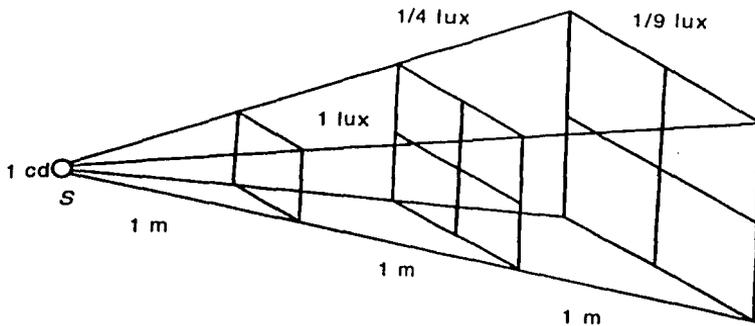
Terminología de iluminación

Debido a que las primeras fuentes de iluminación artificial eran relativamente reducidas (velas, lámparas de aceite, capuchones de gas), los primeros términos empleados para medir la intensidad de la luz se escogieron de acuerdo con el concepto de "fuente-punto" de luz.

Así que, una "candela" o "bujía", la unidad de intensidad luminosa, era verdaderamente una vela de un tamaño y encendido determinados. La cantidad de luz proyectada por una "candela" patrón sobre un área de un metro cuadrado de una esfera con un metro de radio, era, naturalmente, una "candela metro o lux", la unidad de iluminación. En el sistema inglés, esta unidad es la "candela pie" ("footcandle"). Una "candela pie" equivale a 10.7 luxes.

A medida que el tamaño de la esfera aumenta, forzosamente los mismos rayos divergentes cubren un área más amplia, pero con un nivel de iluminación menor. Según la fig.5.1 puede expresarse matemáticamente por la fórmula $E = I/D^2$ en donde E , es la iluminación en "luxes"; I , es la intensidad luminosa en "candelas" y D , es la distancia en metros de la fuente luminosa a la superficie.

En la fórmula básica de la superficie receptora es normal al rayo de luz. Si esta superficie está inclinada en "X" grados de la normal, entonces:



$$E_{\text{horizontal}} = \frac{I \cos(X)}{r^2}$$

$$E_{\text{vertical}} = \frac{I \text{ Sen}(X)}{r^2}$$

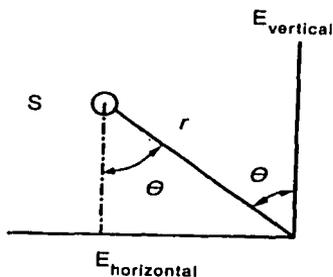


Fig. 5.1 Candela

Existen otras dos unidades: "Lumen y el Lambert". El lumen es la cantidad de luz emitida por una vela, un foco eléctrico, un lumínario, etc. Así un foco incandescente de 100 watts emite aproximadamente 1600 "lúmenes", y una lámpara fluorescente de 40 watts aproximadamente 3100 "lúmenes" bajo condiciones normales de operación.

El concepto de "lumen" permite calcular la iluminación promedio proveniente de múltiples fuentes luminosas, aumentada por la reflexión de los alrededores: muros, pisos y techos. Esto en virtud de:

$$E \text{ (iluminación en luxes)} = \frac{\text{Lúmenes generados} \times C.U.}{\text{área considerada en } m^2}$$

En esta fórmula C.U. es un coeficiente combinado relacionado en el tamaño del cuarto. Su configuración, reflectancias y la eficiencia del luminario. Los fabricantes de iluminación publican tablas con los valores de C.U.

Se ve que un "lux" no es sólo la iluminación producida por una "candela" a un metro de distancia, sino también es un "lumen" incidente sobre una superficie de un metro cuadrado, o sea un lumen por metro cuadrado.

La otra unidad necesaria es la que define la brillantez de una superficie u objeto luminoso. Desde un punto de vista visual es la más importante de todas las unidades, porque la visión es esencialmente una respuesta a las diferencias en brillantez en el campo de visión. La acción de leer, por ejemplo, depende de poder distinguir la brillantez entre la tinta y el papel en el que esta escrito.

La brillantez es la luz emitida en determinada dirección por el objeto que se ve y depende de la luz que reciba este objeto y de su poder de reflexión. Se puede expresar en candelas por centímetro cuadrado o en metro-lambert (en el sistema inglés pie-lambert).

Conociendo ya la unidad lumen podemos servirnos de ella para establecer un método de medición para la brillantez.

Así pues, si 1,000 luxes (1,000 lúmenes por metro cuadrado) representan la iluminación sobre un escritorio y éste tiene una reflectancia de 60%, su brillantez es de 600 metros/lamberts, o sea que se reflejan a 600/10.7 ó sea 56 pie/lamberts (lúmenes por pie cuadrado). Por lo tanto tenemos: B (en metro/lambert) = E (luxes) x R (factor de reflexión).

Energía luminosa o cantidad de luz Q.

La energía luminosa es la parte de la energía radiante que emite un cuerpo y que es capaz de sensibilizar al ojo. Matemáticamente se define con la ecuación:

$$Q = \Phi dt$$

Que es la integral del flujo luminoso con respecto al tiempo; sus unidades son:

Lumen-hora, es decir, lm-h

O lumen-segundo, es decir, lm-s

Flujo luminoso.

Es la cantidad derivada del flujo radiante mediante una evaluación de radiación según su efecto sobre un receptor selectivo, cuya sensibilidad espectral está definida por las eficiencias luminosas espectrales normalizadas. Su unidad es el lumen (lm), siendo el flujo radiante (Φ_r) la potencia emitida, transferida o recibida en forma de radiación, la unidad de este flujo es el watt.

El flujo luminoso depende del ángulo sólido del cono de radiación, el cual es un conjunto de líneas que a partir de un vértice subtienden un ángulo sólido en dicho punto. Los ángulos sólidos se miden en estereorradianes. Un estereorradián es el ángulo subtendido por una sección de superficie esférica de área = R^2 y de radio = R que es lo que constituye un ángulo sólido unitario.

En general, el número de estereorradianes de un ángulo sólido w estará dado por el cociente del área subtendida por el ángulo y el área de un estereorradián, es decir:

$$W = A \frac{I}{R^2}$$

Si el área es unitaria, el ángulo tendrá un estereorradián y la esfera completa tendrá:

$$W = \frac{4\pi R^2}{R^2}$$

por tanto nos queda 4π estereorradianes

Rendimiento luminoso Φ :

El rendimiento luminoso es la razón del flujo luminoso al flujo radiante y se mide en lúmenes/watt; demuestra una propiedad de cierto flujo radiante, pero el mismo término se aplica también a una fuente luminosa como una lámpara incandescente o fluorescente, sólo que se le llama rendimiento luminoso total y se define como la razón del flujo luminoso que sale de la fuente a la potencia eléctrica total absorbida por ella. Por ejemplo, el rendimiento de un foco incandescente de 40 watts es de 12 lúmenes/ watt y el de una lámpara fluorescente de 40 watts es de 58 lúmenes/watt. A continuación mencionamos los rendimientos luminosos de algunas fuentes típicas. (véase tabla 5.1)

Iluminación (E) o iluminancia: Lux (lx).

Cuando un flujo luminoso incide sobre una superficie se dice que la superficie esta iluminada. Se define a la iluminación (E) como la variación del flujo con respecto del área.

Fuente luminosa	Eficiencia en lumen/watt
Vapor de mercurio y haluros metálicos	7.6
Vela de cebo de cera	0.1
Lámpara de aceite	0.3
Lámpara Incandescente original	1.5
Sodio alta presión 400 watts	120
Lámpara de filamento de hilo de seda con carbón	4
Sodio baja presión 180 watts	183
Lámpara de filamento de tungsteno arrollado en doble espira	14.7
Lámpara fluorescente de 40 watts	58
Lámpara fluorescente de alta emisión	72
Lámpara Incandescente de yodo-cuarzo	122
Lámparas de vapor de mercurio de 400 watts	80

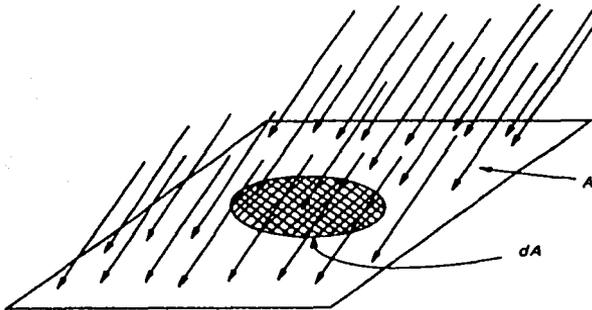
Tabla 5.1 Eficiencia luminosa

Es decir, la iluminación es el flujo incidente por unidad de área. Sus unidades son el lumen / m² o lux.

$$E = \frac{d\Phi}{dA}, \text{ (lumen/m}^2 \text{) o lux}$$

Si la iluminación es uniforme en todos los puntos de la superficie de área finita A y si ϕ es el flujo total y constante que incide sobre ella, entonces:

$$E = \frac{\phi}{A}$$



CAPITULO 6

CONSIDERACIONES ECONOMICAS PARA UN PROYECTO DE ILUMINACION.

Potencia y energía.

La energía conforma un factor importantísimo dentro de la iluminación el reto del ahorro de la energía es un objetivo imprescindible para lograr el diseño de un proyecto de iluminación, de tal forma que este no estaría completo si no ha sido sujeto a una cuidadosa evaluación de su empleo de energía y eficiencia en el sistema eléctrico.

Existen deportes que implican un nivel crítico de visión, debido a la velocidad del movimiento del objeto de juego, como es el béisbol o el pok de hockey sobre hielo, estos deportes requieren, por tanto, altos niveles de iluminación, en el rango de 300 a 1500 luxes (30 a 150 ft-cd). Pero este hecho no nos fuerza a un derroche de energía, sin embargo, para evitar esta debemos tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- a) El sistema de iluminación está en operación cuando no es necesario.
- b) El diseño del sistema es ineficiente o de poca calidad.
- c) El flujo luminoso es inadecuado para el desarrollo de alguna actividad.
- d) El nivel de iluminación excede de lo necesario.

Todo esto nos lleva a pérdidas directas en el costo del consumo de energía

el3ctrica, que es resultado de un eficiente control. Cada una de ellas puede evaluarse en forma cuantitativa en costo de kW/hr, cuando se compara la eficiencia de alg3n dise1o semejante.

La iluminaci3n requiere alta densidad de energa (Watts por unidad de 1rea) y alta demanda de energa (kWatts), adem1s facilidad de alto consumo de energa (kW/Hr). Es notable que la potencia es mayormente consumida solamente cuando el sistema comienza a operar. Para facilitar deportes mayores, la iluminaci3n puede ser requerida con mayor demanda de potencia en cortos periodos de tiempo.

Por ejemplo, un estadio de b3isbol de las grandes ligas puede ser iluminado con 700 luminarios equipados con 1.5 kW en l1mparas de aditivos met1licos. La demanda de potencia es aproximadamente de 1130 kW. Si la c3dula de operaci3n del estadio es de 400 juegos nocturnos anualmente, con un promedio de 5 Hr/juego, -el consumo puede estar en el rango de $1130 \times 40 \times 5 = 226,000$ kWh.

En comparaci3n, en un parque municipal que consta de 4 campos y que est1 iluminado con 240 luminarios equipados con 1 kW en l1mparas HID, la demanda de potencia es s3lo de 260 kW. Para una c3dula de operaci3n de 200 juegos nocturnos con un promedio de 5 Hr/juego, resulta que anualmente el consumo de energa est1 dado por $260 \times 200 \times 5 = 260,000$ kWh.

CONTROL DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

El control se refiere a, la habilidad de gobernar un sistema de iluminación convenientemente. Además, este factor es más importante en el consumo de energía, por lo que es necesario desarrollar un cuidadoso análisis de los sistemas de control a nivel ingeniería.

Existen tres tipos de control: el control manual, el control automático y el semiautomático.

Control manual.

Se caracteriza porque la mayor parte de la iluminación en las áreas de trabajo se controla manualmente, para esto se puede tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cada área deberá estar bajo su propio control.

- En grandes espacios abiertos, las áreas de trabajo deberán agruparse y controlarse independientemente.

- Cuando se utilizan luminarios de una o dos lámparas, los luminarios adyacentes se deben conectar en círculos alternos.

Capítulo 6.

Consideraciones económicas para un proyecto de iluminación.

-Cuando se utilicen tres lámparas por luminario, la lámpara central debe conectarse a un circuito separado al de las lámparas exteriores.

-Cuando se utilizan luminarios de cuatro lámparas, el par exterior debe conectarse a un circuito separado de las demás lámparas exteriores

-Las áreas de trabajo que quieren altos niveles de iluminación deben conectarse en circuitos independientes.

Control Automático.

En muchas ocasiones él operador tiende a cometer fallas en el mando de los controles del sistema, esto repercute directamente en el consumo de la energía, de ahí que el uso del control automático puede dar solución a muchos de los problemas en el empleo de la energía. Para su aplicación se utilizan diversos dispositivos automáticos.

-Interruptores de tiempo.

-Relojes.

-Relevadores.

-Detectores de presencia.

-Equipo de cómputo.

-Fotosensores.

El equipo de cómputo, cada vez nos proporciona más ventajas con respecto al control de la iluminación. Con sus sistema se pueden controlar grandes sistemas de iluminación, como puede ser el de un estadio o el de una arena, respondiendo a una amplia variedad de localización de lugares en los que desempeñen actividades, además de que pueden controlar otras funciones del sistema eléctrico en general; por mencionar algún ejemplo la calefacción, elevadores, aire acondicionado, circuito cerrado de video, etc.

Control Semiautomático.

Este tipo de control se mezcla de los dos puntos anteriores, puesto que en algunas ocasiones no podemos prescindir de la mano de obra del operador. Dando de esta forma algunas ventajas más, de acuerdo a las necesidades del sistema, que es el punto del cual depende una operación eficaz, y así reducir al mínimo los costos de operación.

Existen algunos otros aspectos relacionados al control de sistema de iluminación, los cuales se analizan en los siguientes puntos:

Atenuación de la luz.

La utilidad de un sistema de iluminación puede ser aumentada instalando atenuadores de luz en aquellas áreas donde se requiere variedad en los niveles de iluminación de acuerdo a la actividad.

Reducción de voltaje de operación.

Las lámparas fluorescentes pueden ser operadas a voltaje reducido con el uso del equipo y circuitos adecuados, logrando un considerable ahorro de energía.

Apagado y encendido del equipo fluorescente.

No existe situación alguna donde el apagado y el encendido de lámparas fluorescentes tenga efectos económicos negativos. Una lámpara fluorescente pierde pocos minutos de vida por cada ciclo de apagado y encendido; por lo regular al apagar las lámparas fluorescentes sirve para aumentar la vida útil de la lámpara, debido a que el tiempo que ésta permanece apagada excede en tiempo a la reducción de vida útil por el efecto de apagarlas y reencenderlas

APAGADO DE LAS LAMPARAS HID.

La iluminación por medio de lámparas HID requiere varios minutos para su reencendido después de su conexión. Debido a que el tiempo de su reencendido de estas lámparas es de por lo menos cinco minutos se limitan a los ciclos de apagado y encendido, las situaciones de tales tiempos pueden ser toleradas. Por esta razón hay pocos beneficios en el apagado y los reencendidos de los sistemas con lámparas HID.

EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

La mayor eficiencia de un sistema de iluminación se logra como resultado de la, adecuada combinación de rendimiento de los luminarios y del acondicionamiento del medio ambiente. De esta manera, para una mejor comprensión y saber que criterio aplicar para lograr esto podemos mencionar las siguientes consideraciones

- En la mayor parte de los diseños de iluminación de áreas interiores se continúan utilizando lámparas fluorescentes; sin embargo, últimamente se ha optado por utilizar lámparas HID debido a su rendimiento. Los diseñadores deberán seleccionar las fuentes más eficaces que satisfagan las necesidades de la superficie a iluminar .

Para ello es necesario que conozcan las características fotométricas de cada lámpara, así como el de cada luminario.

- La selección de las lámparas depende de las necesidades del rendimiento del color, el tiempo de encendido y la distribución deseadas.

Además, cabe mencionar que la eficacia (lúmenes / watt) es diferente para cada grupo de lámparas, y mientras la lámpara sea de mayor potencia, por lo general será mas eficaz.

Actualmente, es factible encontrar en el mercado lámparas ahorradoras de

energía, mucho más eficaces y eficientes que consumen menor cantidad de watts proporcionando mayor o igual cantidad de lúmenes. Su uso es por demás recomendable ya que implica una gran cantidad de ahorro en el costo que su pone su adquisición y en el costo que implica su operación.

Tan importante es establecer las especificaciones de un sistema de iluminación, como lo es establecer un lugar de trabajo o de actividades comfortable; esto se logra con la utilización de buena reflectancia en techo y paredes, con lo que respecta al piso, se debe ajustar de acuerdo a los requerimientos y facilidades del deporte que se vaya a practicar.

- Existe un amplia gama en diseños de balastos, el perfeccionamiento en sus diseños da como resultado pocas pérdidas en el núcleo y los devanados , lo cual redunda en una vida mayor debido a su operación a menor temperatura. Comúnmente una reducción de 10° C en la temperatura del balastro ocasiona un aumento al doble de la vida esperada.

Los avances en la tecnología de estado sólido han dado como resultado el desarrollo de balastos electrónicos para lámparas fluorescentes y de HID, estos dispositivos reducen las perdidas al eliminar el núcleo y los devanados ofreciendo una gran flexibilidad para el control, incluso una aplicación importante se da en el caso de los sistemas auxiliares de iluminación, para casos de emergencia.

- La iluminación con luz natural puede ser un factor importante en el ahorro de

energía. A su vez, esto depende de distintas variables como es la disponibilidad de luz natural, instalación, horario de labores, tamaño y localización de las ventanas, dependiendo de las facilidades, niveles de iluminación requeridos y de la utilización de controles de iluminación; pero tomando en cuenta que no debe alterarse el desarrollo del juego.

- El uso de reflectores en acabado de espejo implica una reducción significativa en el consumo de energía eléctrica, ya que aumenta la eficiencia del luminario al tenerse un máximo aprovechamiento de la emisión de luz, y por consiguiente podemos disminuir la cantidad de luminarios utilizados, con el consecuente ahorro de energía eléctrica.

CAPITULO 7

Generación de la luz artificial.

Clasificación de las fuentes de luz artificial.

Desde el punto de vista de la ingeniería existen dos formas principales de producir luz artificial por medios eléctricos: por incandescencia y por descarga eléctrica o arco voltaico existiendo varias dentro de estas categorías.

• Lámparas incandescentes.

- a) Con argón o nitrógeno.
- b) Con gas halógeno o de cuarzo.

• Lámparas de descarga o arco voltaico.

- a) Descarga en aire o arco de carbón.
- b) Descarga en gas a baja presión.

— Lámparas fluorescentes.

— Lámparas de sodio de baja presión.

c) Descarga en gas a alta presión.

— Lámparas de vapor de mercurio.

- Lámparas de haluros metálicos.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

El primer método consiste en la incandescencia producida por el paso de una corriente de electrones por un hilo conductor, que generalmente es de tungsteno, que se encuentra dentro del bulbo con un gas inerte como el argón para evitar la evaporación del filamento.

La energía de la radiación electromagnética emitida por unidades de tiempo dependen de la temperatura y naturaleza de la superficie del material luminoso. El flujo luminoso emitido por las lámparas incandescentes es una mezcla de radiaciones de diferente longitud de onda.

Generación de la luz artificial.

A la temperatura de 800°C Un cuerpo emite bastante energía radiante, visible para ser luminoso por sí mismo y parece incandescente, no obstante, la mayor parte de la energía emitida se transporta por las ondas infrarrojas. A 300°C , que es casi la temperatura del filamento de un foco incandescente, la energía radiante contiene bastantes longitudes de onda visibles de las comprendidas entre 400 nm y 700 nm , de modo que el cuerpo parece rojo-blanco y los objetos iluminados reflejan bien los colores rojos y amarillos, mientras que las lámparas fluorescentes resaltan más los colores azules y violáceos.

El segundo método consiste en la iluminación producida por la descarga de

electrones en un arco entre dos electrodos, ya sea directamente o a través de una pantalla fosforescente.

Los tipos principales de producir luz artificial en forma de arco eléctrico de descarga son:

- Fluorescente
- Vapor de mercurio
- Vapor de sodio a baja presión
- Vapor de sodio a alta presión
- Haluros metálicos
- Arco de electrodos de carbón.

Fuentes luminosas.

Se pueden considerar, con ciertas reservas, como fuentes de luz puntuales a la mayoría de las luminarias que se utilizan actualmente para alumbrado. A continuación describimos la constitución y el funcionamiento de las diferentes luminarias que se fabrican, así como sus ventajas, desventajas y otras características técnicas.

Lámparas Incandescentes.

El filamento de un foco incandescente es un fino hilo de tungsteno arrollado en forma de bobina, se encuentra en el interior de un bulbo de cristal con un gas inerte en su interior (argón o xenón) para evitar su desintegración por oxidación. El rendimiento de estas lámparas es bajo, pues el 100% de la potencia absorbida por el filamento sólo del 10 al 12% son radiaciones visibles y el resto son radiaciones infrarrojas que se manifiestan en forma de calor.

Las principales desventajas del foco incandescente son:

- Corta vida (750 a 1 000 horas).
- Baja eficiencia (alrededor de 19 lúmenes por watt).
- Gran disipación de calor.

Las principales ventajas del foco incandescente que lo hacen todavía utilizable en áreas pequeñas y de bajos niveles de iluminación son:

- Tamaño compacto.
- Bajo costo inicial flujo luminoso inalterable por la temperatura circundante.
- No utiliza accesorios de arranque o reactores.
- Luz cálida de la lámpara que resalta todos los colores, pero más los rojos anaranjados y amarillos, dando a las cosas una apariencia familiar y acogedora.
- Flujo luminoso controlable en una gran variedad de distribuciones

luminosas.

— Operación en corriente continua y corriente alterna.

Las lámparas incandescentes son de diferentes formas, tamaños y tipos dependiendo del uso que se les dé. De manera general se consideran dos grandes grupos:

- a) Lámparas de uso general. Utilizadas, para proporcionar niveles luminosos para una tarea visual determinada, en servicio doméstico o alumbrado general.
- b) Lámparas de usos especiales. Empleadas para proporcionar efectos especiales, por ejemplo, en alumbrado decorativo, señalización, fotografía, aparatos de proyección, etc.

Las lámparas de uso general y de servicio doméstico utilizan un bulbo tipo "A" para potencias de 200 watts o menores y de tipo cuello recto para potencias mayores utilizadas en otros sitios.

Para lámparas de mayor potencia (de 300 a 5 000 watts) se utilizan bulbos esmerilados o transparentes; Las lámparas de bulbo, proyectoras y reflectoras, forman en mismo bulbo la fuente de la luz y en reflector parabólico de alta eficiencia. El reflector consiste en un baño de aluminio o plata vaporizados y aplicados en la parte interior del bulbo. Los bulbos de

estas lámparas se constituyen también de cristal refractario para usarse en la intemperie, pero sólo para lámparas menores o de 150 watts (véase Fig. 7.1).

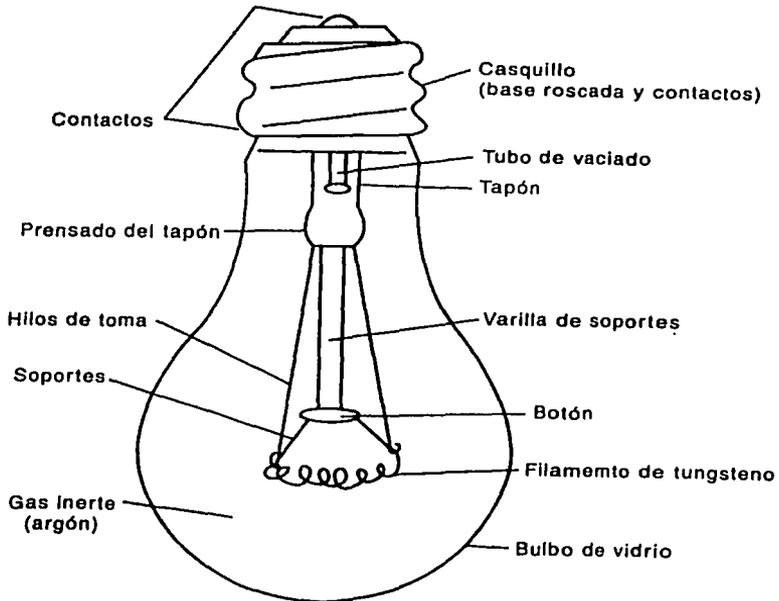


Fig 7.1 Foco tradicional.

Lámparas Incandescentes halógenas.

Otro tipo de lámparas incandescentes para uso general y especial son las halógenas o de yodo-cuarzo. En estas se emplea un bulbo de cuarzo y yodo

en su interior con el fin de reproducir un ciclo químico con el filamento de tungsteno sublimado para mantener el bulbo limpio. El bulbo de cuarzo permite una constitución compacta, resistente a los cambios bruscos de temperatura, alta eficiencia y un mantenimiento casi nulo durante su vida. Las lámparas de yodo-cuarzo se constituyen en forma tubular y en diferentes longitudes, se utilizan en aviación, fotocopiadoras e iluminación con proyectores. Su eficiencia luminosa es de 122 lúmenes por watt.

Las lámparas de usos especiales son de diversos tamaños y forma dependiendo del uso al que estén destinadas. Por ejemplo, en las lámparas decorativas se utilizan bulbos coloreados aplicando una capa pigmentada al interior del bulbo transparente o fundiendo un esmalte en la superficie exterior. También se usa el revestimiento interior de sílice ligeramente coloreado en rosa para proporcionar efectos cálidos.

Existe otro tipo de bulbo con cristal de color natural que se obtiene al añadir productos químicos a los ingredientes de vidrio. Por ejemplo, las lámparas de luz de día o azul cielo que reducen la preponderancia del color rojo y amarillo de la luz de las lámparas incandescentes. En estas lámparas se absorbe un 35% de la luz generada, su costo es elevado por lo que para fines fastuosos y decorativos se prefieren las de bulbo recubierto.

Existe en el mercado un tipo de lámparas tubular en la que el filamento está a lo largo del tubo, son menos eficientes y de mayor potencia. Algunas tienen la mitad de su superficie cubierta con un baño de una sustancia reflectora y por su disposición lineal se usan en el alumbrado de escaparates.

Lámparas infrarrojas.

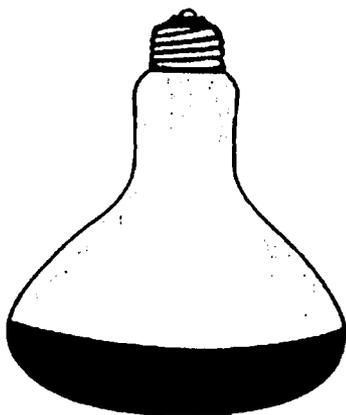
Son fuentes de energía radiante que es emitido en el rango de los 760 nm a los 860 nm, es decir, en la zona infrarroja del espectro electromagnético. Estas lámparas son similares a las incandescentes de uso general sólo que su filamento trabaja a bajas temperaturas, lo cual trae como consecuencias una baja emisión de luminosidad (8 lúmenes/watt) pero en cambio una gran duración (más de 5000 horas). El tipo de bulbo de estas lámparas es el R con reflector interno, bulbo transparente o bulbo tubular de cuarzo.

Aplicaciones:

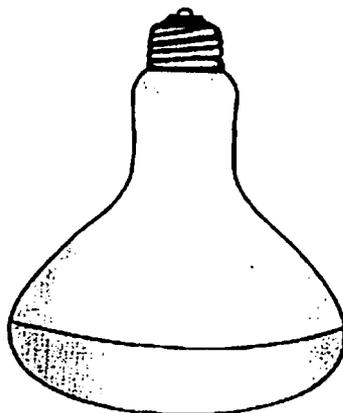
- **Terapéuticas:** Reumatismo, dolores musculares, lumbago, resfriados, contusiones, entumecimiento, luxaciones y masajes.
- **Industriales:** Hornos industriales, secado de tintas de impresiones gráficas y textiles;, secado de películas y negativos.
- **Pecuarías:** Cría de aves, lechones, becerros y en tiendas de mascotas.

Casquillos:

Los casquillos tienen por objeto conectar y fijar la lámpara con el "socket", su forma y tamaño están en función del uso y potencia de la lámpara. Así,



250 W



**250 W
375 W**

R127/R40

en lámparas incandescentes de alumbrado general mayores de 300 watts se utilizan los casquillos de tipo mogul de rosca. Los focos de menor potencia usan casquillos de rosca media, en tanto que los utilizados en señalización, fanales luminosos y decoración emplean casquillos de rosca de candelabro o intermedia. Cuando se requiere una posición determinada del filamento respecto de una lente o reflector, como en fanales de autos,

proyectores o Instrumentos de óptica, se utilizan casquillos de bayoneta o biclavillos.

Filamentos:

Los filamentos han evolucionado en gran medida desde que Tomás Alva Edison inició sus primeros experimentos en 1879. Este genial físico probablemente utilizó como filamentos conductores metálicos rectos de gran resistencia para lograr la incandescencia. Posteriormente, en 1905 introdujo el hilo de seda recubierto con polvo de carbono, el cual proporcionaba gran resistencia y elevado punto de fusión (3 700°C) y por consiguiente, una lenta oxidación dentro de la ampolla de cristal al vacío. Tiempo después se reemplazó el filamento de carbono por el de tungsteno, metal de alta resistividad (5.5 ohms-cm), elevado punto de fusión y otras características mecánicas ventajosas.

Al introducir un gas inerte dentro del bulbo, la presión del gas ejercida sobre el filamento retardada considerablemente la evaporación del tungsteno, lo que hizo posible el diseño de lámparas de mayor temperatura de filamento y por lo tanto de mayor potencia (ya que $P = I^2R$). Posteriormente, se descubre que arrollando al filamento se obtenía mayor temperatura y mayor resistencia mecánica. En 1968 se inventa el filamento arrollado en doble

espiral, lo que aumenta la eficiencia de las lámparas incandescentes a 15 lúmenes/watt. Hoy en día se acepta que el desarrollo de las lámparas incandescentes ha llegado a su máximo. (Ver figuras 7.3 a y 7.3 b)

Para determinar las dimensiones del filamentos se utilizan las siguientes fórmulas:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$P = VI = I^2 R$$

$$R = p \frac{L}{A}$$

En donde:

- V Es la tensión en volts.
- I La intensidad de la corriente en amperes.
- P La potencia en watts.
- R La resistencia en ohms.
- p La resistencia del material.
- L La longitud del filamento en cm.
- A La sección transversal del filamento en cm^2

Lámparas fluorescentes.

Por su gran eficiencia y larga vida, el alumbrado fluorescente ha llegado a ser de uso normal en la iluminación de grandes áreas a bajas temperaturas de montaje. Se utiliza en escuelas, edificios públicos y oficinas.

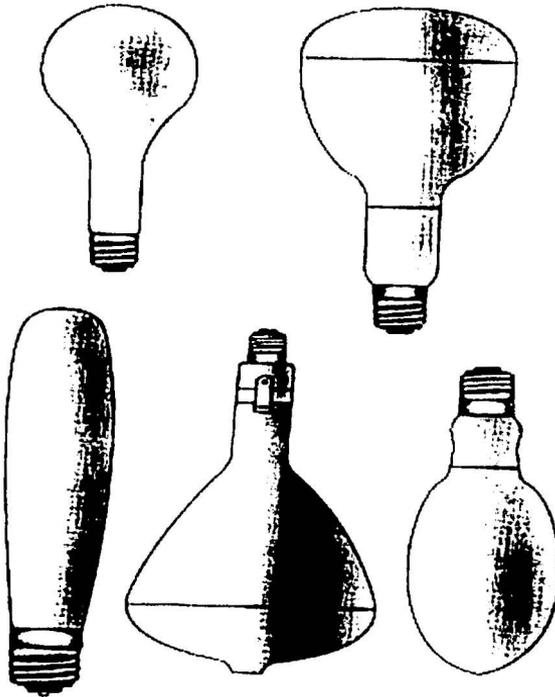


Fig 7.3 a. Tipos de bulbos.

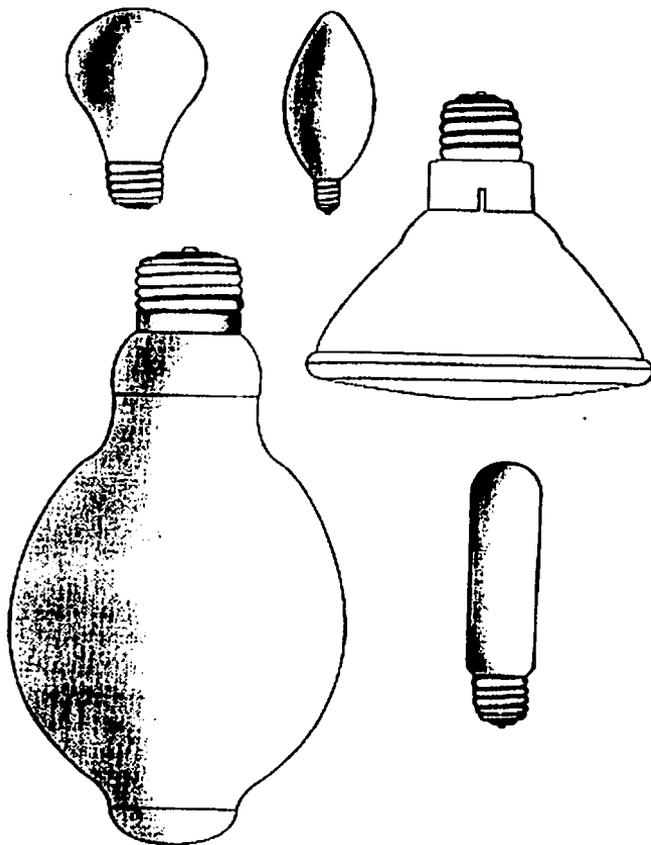


Fig 7.3 b. Tipos de bulbos.

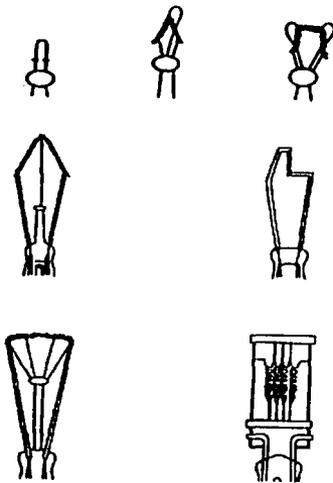


Fig 7.4 Tipos de filamentos

Las lámparas fluorescentes son del tipo de fuente de la luz de descarga eléctrica, en éstas la luz se produce por la fluorescencia del fósforo excitado por la energía de los rayos ultravioleta, energía que proviene del choque de las descarga de electrones con los átomos de mercurio vaporizado.

Las lámparas de es tipo están formadas por un tubo de vidrio con el electrodo de tungsteno en cada extremo, además llevan en su interior una pequeña gotita de mercurio y un gas inerte a baja presión, o una mezcla de gases para el encendido. Las paredes interiores del tubo están con una capa de fósforo de polvo.

Funcionamiento:

Cuando se aplica una diferencia de potencial apropiada a los bornes de los electrodos, tiene lugar una descarga de electrones que atraviesa la mezcla de resistencia negativa” argón-mercurio, que choca con los átomos de mercurio. Estos choques emiten sólo una pequeña cantidad de radiaciones visibles, no obstante, hay una gran emisión de radiaciones visibles ultravioleta de 2 530 Å de longitud de onda. Estos invisibles y nocivos rayos, son convertidos en luz visible e inofensiva al pasar a través de los polvos de fósforo fluorescentes colocados en la pared interna del tubo.

En una lámpara fluorescente aproximadamente el 90% de la luz se produce por la fluorescencia y el resto por las radiaciones del arco de mercurio.

Ventajas y desventajas.

Las desventajas de este tipo de lámparas son:

- Su gran tamaño de relación con su potencia (una lámpara de 1.22 m consume 40 watts).
- La necesidad de un reactor o balastra que le proporcione una corriente y voltaje adecuado y una reducción del flujo a bajas temperaturas ambiente.

Sus ventajas son:

- o Alta eficiencia luminosa (más de 67 lúmenes/watt).
- o Realce de los colores azules, violeta, verdes y opacamiento del rojo y anaranjado, lo cual puede ser también una desventaja.
- o Gran duración (12 000 horas en comparación con las 750-1 000 horas de las lámparas Incandescentes).

Tipos:

Las lámparas fluorescentes pueden ser clasificadas en dos grupos:

- a) Lámparas que se utilizan arrancador para su encendido, llamadas también lámparas precalentadas o de encendido con interruptor.
- b) Lámparas sin dispositivo de encendido. En este tipo de lámparas, la balastro o reactor es el único equipo auxiliar utilizado para proporcionar la tensión y la corriente adecuada para encender la lámpara. Se subdividen a su vez en los siguientes tipos:

- Lámparas "Slim Line".
- Lámparas de encendido instantáneo.

- Lámparas de encendido rápido
- Lámparas de precalentamiento de encendido rápido.
- Lámparas de alta emisión.
- Lámparas "Power Groove".
- Lámparas "Circ Line" (circulares).

El espectro radiante de las lámparas fluorescentes pueden ser modificados al cambiar la mezcla de fósforo usados en la capa interior del tubo. Hay varios tipos de lámparas fluorescentes de color blanco en el mercado:

- Blanco frío.
- Blanco cálido.
- Blanco.
- Blanco frío de lujo.
- Blanco cálido de lujo.
- Luz de día.

Temperatura de color:

Al seleccionar el color de una lámpara fluorescente "TL" para cierta aplicación, se deben considerar las tres características siguientes: temperatura de color, flujo luminoso y rendimiento de color.

La elección de la temperatura de color más conveniente se basa en dos aspectos: primero, las lámparas van a utilizarse en combinación con luz solar o no y segundo, que clase de "ambiente" se desea crear en el espacio a iluminar.

La presencia simultánea de luz solar es un factor crítico en los lugares donde la luz artificial se utiliza como suplemento de ella. Si, por ejemplo, se emplea una lámpara incandescente —que no armoniza con la luz del día— aparece una desagradable y falsa sensación de luz. Esto debe evitarse armonizando la luz artificial con la luz solar.

"Ambiente" es un factor subjetivo íntimamente relacionado con la creación de condiciones confortables de vida y trabajo. Un apropiado color de luz fluorescente puede resaltar el mobiliario de una habitación y acentuar el ambiente deseado, ya sea de confortable, acogedor, profesional, impersonal o atrayente.

Philips ha desarrollado una gama de 9 colores para lámparas fluorescentes "TL", con requerimientos específicos para diversas aplicaciones. A continuación se presentan las características, eficiencia, rendimiento de color, temperatura de color y aplicaciones de las lámparas.

Color 29/Blanco cálido.

- Temperatura de color: 3000 'K.
- Índice de rendimiento de color 52.
- Rendimiento luminoso: 77 lm/W

Debido a su elevado flujo luminoso, el color 29 es particularmente adecuado para instalaciones de alumbramiento exterior. Su relativamente bajo índice de rendimiento de color no es una desventaja en este caso ya que en muy pocas ocasiones se requiere un rendimiento de color considerable en alumbrado exterior. Su color cálido tiene una gran acogida en los países del norte, del mismo modo que en los países cálidos es más apropiado el color.

Color 32 Blanco cálido de lujo.

- Temperatura de color 3000 'K.
- Índice de rendimiento de color: 87.
- Rendimiento luminoso: 49 lm/W.

Sus principales características son su color cálido, sus propiedades de buen rendimiento de color y su relativamente elevado flujo luminoso. Son muy indicadas para lugares donde se desee crear una atmósfera cálida y

acogedora, combinada con un elevado nivel de iluminancia y un buen rendimiento de color.

Color 27/Confort de lujo.

- Temperatura de color: 2700 'K.
- Índice de rendimiento do color: 95.
- Rendimiento luminoso: 44 lm/W.

Este color de luz muy cálido tiene, prácticamente, la misma tonalidad y rendimiento de color de las lámparas incandescentes. Es la lámpara por excelencia para interiores donde se desee crear una atmósfera íntima, cálida y acogedora. El color 27 está esta ganando terreno en aquellos sectores que eran dominio exclusivo de las lámparas incandescentes. Su aparición ha eliminado la falsa creencia que las lámparas fluorescentes eran exclusivamente una fuente de luz industrial.

Color 33/Blanco de lujo.

- Temperatura de color: 4200 'K.
- Índice de rendimiento de color: 66.
- Rendimiento luminoso: 80 lm/W.

Debido a su muy alto rendimiento luminoso y relativamente bajo índice de rendimiento de color este color está especialmente indicado para uso en fábricas, almacenes, etc., donde no sea preciso un elevado rendimiento de color y donde la luz deba armonizar con la solar. Sin embargo, la importancia de un buen rendimiento de color se ha visto incrementada en algunos sectores de la industria; en tales casos pueden utilizarse lámparas con un índice más elevado de rendimiento de color (color 34/55), consiguiendo un buen efecto.

Color 34/Blanco de lujo.

- Temperatura de color: 3800 'K.
- Índice de rendimiento de color 87.
- Rendimiento luminoso: 51 lm/W.

Como estas lámparas tiene buenas propiedades de rendimiento de color y elevado flujo luminoso y su luz armoniza con la luz del sol, se debe instalar en lugares donde se necesita no sólo un alto nivel de luminancia y buen rendimiento de color, sino también una atmósfera fresca y clara.

Especialmente el color de los materiales naturales, como madera, textiles y piel humana, se reproducen en una forma muy natural bajo la luz de estas lámparas.

Color 37/Blanco especial de lujo.

- Temperatura de color 4100 'K.
- Índice de rendimiento de color 93.
- Rendimiento luminoso: 43 lm/W.

Un color de luz que produce un rendimiento de color perfecto, un factor importante es el de la ausencia casi total de radiación ultravioleta de modo que el "factor nocivo" (que puede por ejemplo causar decoloración de pigmentos) se reduce para ser prácticamente nulo. Por ello el color 37 es ideal para Museos, investigaciones y exámenes médicos.

Color 54/Luz de día, fría.

- Temperatura de color 6 500 'K.
- Índice de rendimiento de color 77.
- Rendimiento luminoso: 65 lm/W

Sus características más importantes son: una impresión de luz del día frío, conjuntamente con un elevado flujo luminoso y un índice relativamente bajo de rendimiento de color. Puede, por lo tanto, igual que el color 33, usarse en gran número de fábricas, almacenes, etc., donde el rendimiento de color es

de poca importancia, pero donde la luz debe armonizar con la luz del día y crear una Impresión de luz solar fría, especialmente en lugares cálidos.

En aquellos sectores de la industria donde se considera de importancia un buen rendimiento de color se recomiendan lámparas con un índice elevado de rendimiento de color (color 55).

Color 55/Luz de día.

- Temperatura de color 6 500 'K.
- Índice de rendimiento de color 92.
- Rendimiento luminoso: 51 lm/W.

Tiene un gran parecido a la luz solar. Debido a excelentes propiedades de color y relativamente elevado flujo luminoso pueden realizar una excelente función en instalaciones donde se requieren estas cualidades, junto con una atmósfera fría de luz solar.

El color 55 se puede utilizar con buenos resultados, para comprobación e igualación de colores, como sustituto de la luz solar pero sin sufrir la desventaja de las constantes variaciones de la luz solar.

Color 57 Luz de día especial.

- Temperatura de color 7400 'K.
- Índice de rendimiento de color: 92.
- Rendimiento luminoso: 44 lm/W.

Esta lámpara es una fuente de luz de referencia normalizada internacionalmente, creada para necesidades de comparación de colores. El cálculo de alta presión de la composición de polvo fluorescente se ha realizado con la ayuda de computadores electrónicos.

Debido a su relativamente bajo rendimiento luminoso y a la necesidad para análisis de colores muy críticos, se dispone de niveles de iluminancia, como mínimo de 1 000 lux (para comparar manchas de colores suaves), hasta 2000 lux (para comprobar colores oscuros), esta lámpara es, normalmente, instalada en capas especiales, habitaciones o como alumbrado directo detrás de pantallas de sobremesa para comparaciones de colores.

Lámparas de vapor de mercurio.

En este tipo de lámparas la luz se genera directamente por el arco eléctrico que se forma en los electrodos. Tienen una emisión de luz característica

azul verde, aunque se a logrado que emitan radiaciones de los demás colores en forma limitada, por medio de polvos fluorescentes en la superficie interior del bulbo exterior de vidrio.

Por su gran luminosidad, que puede ser concentrada y su gran eficiencia (más de 80 lúmenes por watt) el alumbrado mercurial se puede usar para iluminar grandes áreas alturas de montaje. Por eso son recomendables en gimnasios, naves industriales y alumbrado público (avenidas, calles parques, estacionamientos, etc.).

Funcionamiento

La aplicación de una diferencia de potencial eléctrico entre electrodos colocados en el interior de un bulbo de cuarzo, permite la ionización de la mezcla de argón-vapor de mercurio que se encuentra también dentro de él. Los electrones que forman el chorro de corriente o arco de descarga se aceleran a enormes velocidades; al chocar con los átomos del gas o del vapor, alternan momentáneamente la estructura atómica de éstos, generándose la luz por la energía desprendida cuando los átomos alterados vuelven a su estado normal. Debido a la ionización del gas, las lámparas de descarga eléctrica tienen una resistencia de característica negativa, por lo cual requiere de un transformador de alta reactancia para limitar la corriente.

El arco inicial salta a través del argón ionizado; posteriormente el calor generado comienza a vaporizar el mercurio, que aumenta gradualmente la conductividad de la mezcla.

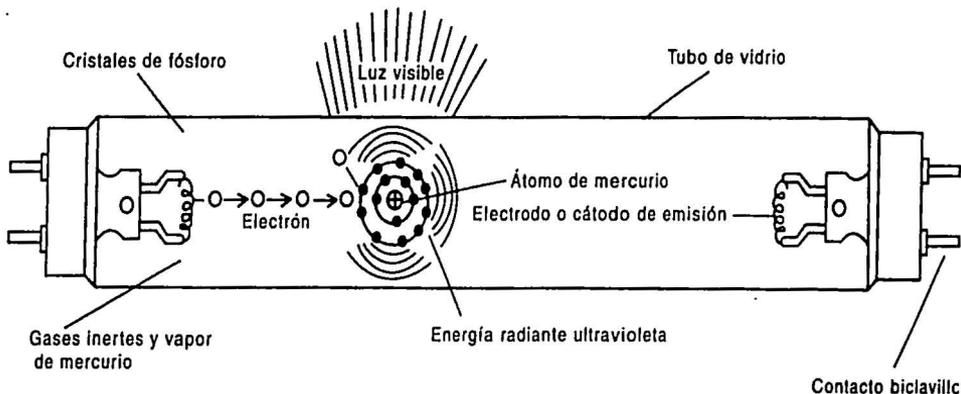


Fig. 7.5 Esquema de la lámpara fluorescente.

Generalmente todas las lámparas de vapor de mercurio se construyen de dos bulbos: uno interior de cuarzo en el cual se produce el arco y otro exterior de cristal que protege el bulbo de cuarzo contra cambios de temperatura y actúa como filtro para eliminar algunas longitudes de onda de la radiación del arco. El espacio entre los dos bulbos se llena con gas inerte. Además de los electrodos principales hay en las lámparas de vapor de Hg un electrodo de encendido. En él se establece primero un campo eléctrico, provocando una emisión termoiónica local que produce una descarga y la

ionización de gas entre dicho electrodo y electrodo principalmente adyacente. A continuación salta el arco entre los electrodos principales y el mercurio se vaporiza gradualmente aumentando la conductividad del medio. En el instante en el que brinca el arco, la corriente de la lámpara es alta y la tensión baja. Durante la fase de calentamiento la corriente decrece y el voltaje sube hasta el que el arco alcanza su estabilidad de relación con la presión de vapor.

Ventajas y desventajas.

Las desventajas de las lámparas de vapor de mercurio son:

- * Necesita un reactor o balastro.
- * Su largo tiempo de encendido, ya que después de aplicado el voltaje son necesarios varios minutos para obtener su máxima eficiencia luminosa.
- * Si se ha apagado, es necesario un enfriamiento de 3 a 5 minutos antes de tener nuevamente su total emisión, por ello sólo se utiliza en lugares donde las lámparas están en constante uso durante un tiempo determinado. Por ejemplo en fábricas o al amanecer en el alumbrado público.

Sus ventajas son:

- * **Larga vida y baja depreciación luminosa. Más de 16 000 horas de duración.**
- * **Flujo luminoso concentrado que facilita un control preciso de los rayos luminosos.**
- * **Alta eficiencia luminosa (más de 80 lúmenes por watt).**
- * **Flujo luminoso inalterable por los cambios de temperatura ambiente.**
- * **Construcción más fuerte que las lámparas incandescentes y fluorescentes, no le afectan las variaciones o el trabajo rudo.**

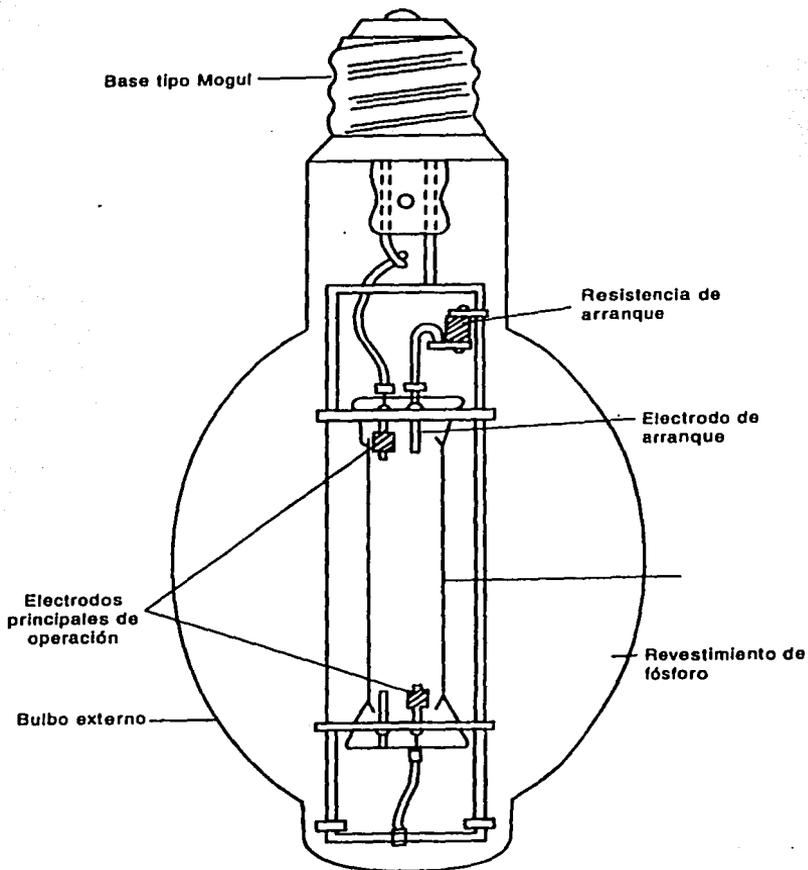


Fig. 7.5 Esquema de la lámpara de vapor de mercurio.

Lámparas de Haluros metálicos.

En las lámparas de haluros metálicos o metalarc la descarga eléctrica se realiza también dentro de un tubo de vidrio lleno de gas. Dicho tubo tiene la misma construcción y funciona igual que en las lámparas de vapor de mercurio. Además del mercurio, kriptón, argón y neón, las lámparas de haluros metálicos tiene en el interior del tubo de carga eléctrica sales de haluros metálicos. Dichas sales añadidas son normales sales de yodo combinadas con el sodio, escandio, talio, indio, cesio y producen los colores que le faltan a las lámparas de vapor de mercurio, como son el rojo, amarillo y el anaranjado.

El bulbo exterior envolvente no necesita la capa interior de fósforo para mejorar el espectro electromagnético visible de la lámpara, pues como se mencionó, los colores faltantes son añadidos por las sales de haluros metálicos. Sin embargo, el bulbo exterior sirve como filtro para impedir que salgan los rayos ultravioleta, que son dañinos a los seres vivos, también protege el tubo del arco, proporcionándole una temperatura constante de funcionamiento.

Lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) y baja presión (VSBP)

El alumbrado a base de lámparas de vapor de sodio es también del tipo de descarga de arco. La luz dorada de estas lámparas se produce por las descargas eléctrica, a través de una atmósfera de vapor de sodio.

Este tipo de lámparas son las de mayor eficiencia de todos los demás tipo, incluyendo las de vapor de mercurio. Son ideales para el alumbrado a grandes alturas de montaje y amplias áreas en donde no se requiera trabajo de detalle. Por lo tanto, son útiles en bodegas industriales, áreas generales, patios de maniobras, calles, avenidas, autopistas, parques recreativos y estadios. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado en seleccionar este tipo de alumbrado para áreas donde se requiera inspeccionar, por ejemplo, defectos en ampolletas de vidrio impide ver tales defectos. Lo anterior se comprobó en una factoría de envases para la industria médica en donde para inspeccionar los frascos y ampolletas se implementaron lugares adecuados, anexos a las máquinas de proceso y con alumbrado fluorescente localizado.

Al igual que las lámparas de mercurio, las de vapor de sodio son, de larga duración, 24 000 horas de vida promedio, y de los tipos: de alta y baja presión. Las de baja presión son aún más eficientes que las de alta presión, pero más costosas y tienen menor vida útil.

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) utilizan un tubo de material cerámico como la alumina policristalina. Tienen una eficiencia luminosa de 120 lúmenes por watt de luz blanca con un tono amarillo-anaranjado. Al igual que todas las demás lámparas de descarga requieren de un reactor o balastro especial.

Recientemente las lámparas de arco de vapor de sodio se han utilizado para alumbrado exterior a grandes alturas de montaje, como en campos deportivos, estadios e incluso en alumbrado público de calles y avenidas muy transitadas o de arquitectura especial, ya que la luz producida por estas lámparas es parecida a la luz de solar.

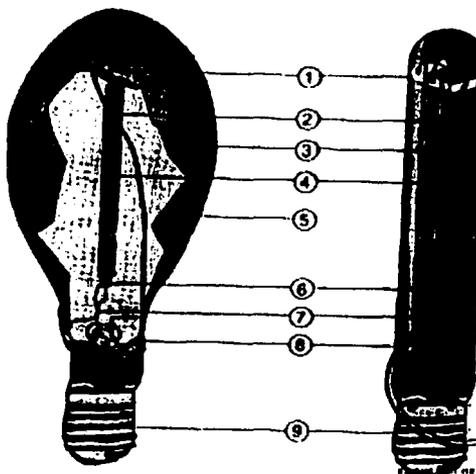
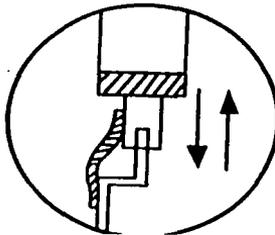


Fig. 7.6 Esquema de la lámpara de (VSAP)

Vista en corte de la lámpara.

1. Soporte flexible para mantener el alineamiento del tubo de descarga.
2. Alambre soporte—terminal arrollado para mejorar las características ópticas.
3. Bulbo exterior tubular u ovoidal de vidrio duro impermeable a las condiciones atmosféricas.
4. Tubo de descarga de óxido de aluminio traslúcido para optimizar el funcionamiento.
5. Capa interior de fósforo.
6. Unidad de expansión para eliminar esfuerzos por temperatura sobre las juntas y tubo de descarga.



7. Soporte terminal alambre.
8. Anillos getter para mantener el alto vacío asegurando así su máxima eficiencia durante su prolongada vida.
9. Base atornillable E—40 mecánicamente colocada.

La luz producida por las lámparas de vapor de sodio de baja presión es monocromática, de color amarilla. Debido a esto el rendimiento potencial en color de la lámpara no existe y los colores con este tipo de luz aparece a los ojos como diferentes tonos de gris y café excepto para los objetos amarillos.

El tubo de descarga de una lámpara de vapor de sodio de baja presión es de vidrio; contiene sodio que se evapora a 98°C (con una presión bajísima) y una mezcla de gases inertes (neón y argón a una presión de unos cientos de Nm^2 para conseguir una tensión de encendido baja. El tubo de descarga está situado en el interior de una ampolleta de vidrio al vacío cubierta en su interior con óxido de indio. Este revestimiento actúa como reflector infrarrojo y mantiene así la pared de tubo de descarga a la temperatura correcta de funcionamiento (270°C).

La lámpara de sodio de baja presión se caracteriza por su radiación luminosa casi monocromática, alta eficiencia luminosa (que puede alcanzar 200 lúmenes/watt) y larga vida (20 000 hrs.); se utiliza cuando no es importante la reproducción correcta de colores, pero si la percepción de contraste, por ejemplo, en autopistas, puestos y zonas de clasificación de ferrocarriles; se fabrica en potencias de 35 hasta 180 watts.

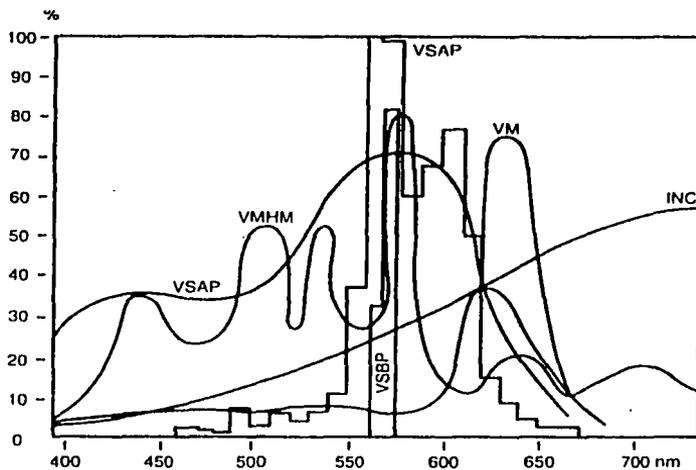


Fig. 7.7 Esquema de las calidades cromáticas de las fuentes de luz.

CAPITULO 8

Control de la luz (Fotometría).

Es evidente que si una oficina está iluminada con lámparas fluorescentes desnudas y una fábrica con lámparas de vapor de mercurio también desnudas, la iluminación es desagradable, incomoda y distinta de lo establecido. El control es la técnica para remodelar la distribución de la luz de la propia fuente y reproducir una iluminación más útil sobre las superficies de trabajo y reducir el deslumbramiento directo y reflejado hacia los ojos.

Es importante contestar a esta pregunta: ¿El control de iluminación puede construirse dentro de la fuente de luz? Si, pero sólo parcialmente y económicamente no es práctico, porque su reposición resulta costosa. Los elementos de control de luz están mejor incorporados en la parte permanente del luminario o del sistema que, por mantenimiento periódico, puede recuperar sus propiedades originales.

Parte de la luz emitida por la fuente va hacia arriba y puede ser dirigida hacia abajo por acción de la reflexión. Hay dos métodos básicos para reflejar la luz: espectacular y difuso.

Cuando un rayo de luz choca contra una superficie, como un espejo, una parte de la luz rebota como una pelota arrojada contra una pared. Si la superficie es plana, la dirección de la reflexión se muestra en la Fig. 8.1. Especialmente, el ángulo de incidencia (I) es igual al ángulo de reflexión (R).

La intensidad del rayo reflejado depende del factor de reflexión de la superficie. El color del rayo reflejado también puede ser diferente del color del rayo incidente si la superficie tiene propiedades selectivas de color. Por ejemplo, un reflector amarillo impartirá un tinte amarillento a un rayo de color blanco.

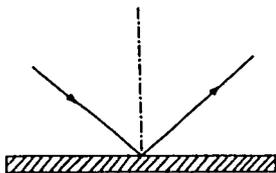


Fig. 8.1 Intensidad de rayo reflejado

Resumiendo, las superficies de tipo espectacular alteran la intensidad y el color del rayo incidente, dependiendo de su eficiencia de reflexión y su color.

En la práctica, un reflector plano tiene muy pocos usos; se emplean superficies curvas de distintas formas para crear resultados específicos.

La fig. 8.2 muestra las propiedades reflectantes de diferentes formas geométricas.

Los efectos descritos hasta ahora están basados en los reflectores de tipo espectacular. Si esta superficie se esmerila con un abrasivo o si esta compuesta por pequeñas fibras (como un papel secante), o si tiene un acabado mate, sus propiedades reflectantes se alteran.

En lugar de un rayo reflejado bien definido, como se muestra en la fig. 8.1 la reflexión es como se muestra en la fig.8.2.

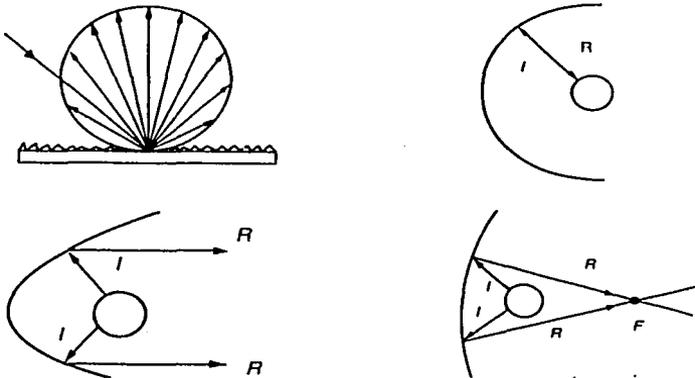


Fig 8.2 Tipos de reflexión.

De hecho la reflexión espectacular y la reflexión difusa representan límites teóricos; en la práctica todas las superficies reflectoras presentan un cierto grado de estos dos tipos.

Es bien sabido que el reflector más eficiente no es ninguno de los tipos mencionados, sino un medio óptico: prisma reflector.

En la reflexión prismática un rayo entra por un cara del prisma y sale por otra cara, o por otra parte de la misma cara y en dirección opuesta, con una insignificante pérdida de intensidad. Ver Fig. 8.3.

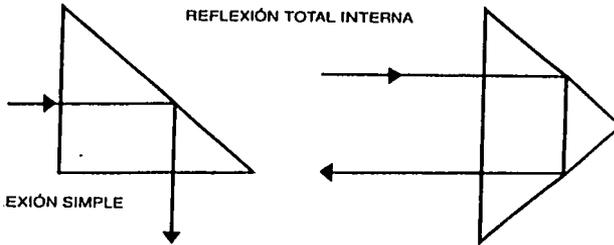


Fig. 8.3 Acción de la reflexión primática.

Esto es por que reflexión se produce en el interior del propio prisma de cristal o plástico transparente. De hecho, el polvo y la suciedad sobre las caras posteriores del prisma no tienen efecto sobre las caras posteriores del prisma no tienen efecto sobre las propiedades de reflexión porque la acción es interna.

Un reflector bien diseñado, dirige los rayos luminosos de la fuente hacia abajo, en una forma útil. Para un mejor control de la luz es necesario manejar los rayos luminosos que no son interceptados por el reflector. La Fig. 8.4 muestra que en esta zona pasa casi la mitad de la luz emitida.

El control de esta luz hacia abajo se consigue mediante una pantalla reflectora colocada debajo de la lámpara y del reflector. Esta pantalla o lente también volverá a redirigir los rayos provenientes del reflector. Sus principales propósitos son:

- a) Completar la acción del reflector.
- b) Impedir la visión directa de la propia fuente de luz.

- c) Distribuir o igualar la brillantes sobre la superficie de la pantalla.
- d) Crear cualquiera de una gran variedad de distribuciones fotométricas para satisfacer requerimientos de visión.

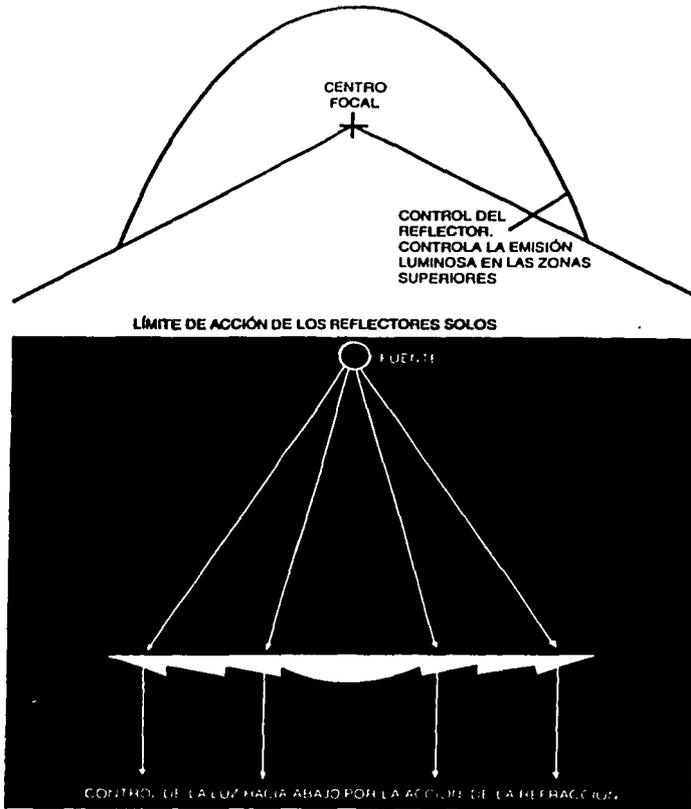
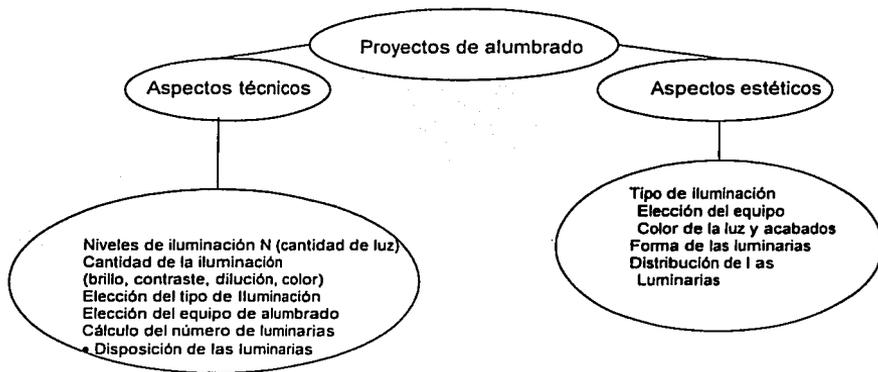


Fig. 8.4

CAPITULO 9

PROYECTO DE ILUMINACIÓN.

Al diseñar una instalación de alumbrado de interiores se contemplan varios aspectos, los cuales se dividen en dos grupos: técnicos y estéticos. Los problemas estéticos solamente conciernen al arquitecto, decorador o constructor; sin embargo, el luminotécnico debe proporcionar toda la información teórica sobre el comportamiento luminoso de su proyecto y equipo, sobre todo en lo que se refiere a calidad de luz, color y respuesta de colores, forma de las luminarias, características del alumbrado (directo, semidirecto difuso, etc.). Las cuestiones técnicas como los niveles de iluminación adecuados, cálculo de números de luminarias, disposición de ellas, dimensiones del local, coeficientes de utilización, de depreciación, de mantenimiento, proyecto de las instalaciones eléctricas, canalizaciones, etc., son del dominio del luminotécnico. En ambos casos se debe colaborar estrechamente para lograr los óptimos resultados al menor costo.



Niveles de iluminación (cantidad de luz).

Existe un nivel de iluminación para cada tarea visual específica. Desde tiempos primitivos se han buscado buenos niveles luminosos; con ellos se realizaron los espléndidos murales de las grandes civilizaciones de antigüedad. Otros trabajos como el dibujo de códices, seguramente se realizaban a la sombra, en el exterior o en el interior de edificios con grandes ventanales para aprovechar niveles mayores de 10 lux.

Niveles de iluminación recomendados.

El concepto de iluminación o iluminancia (E) expresado en la unidad lux es una medida de la cantidad de luz que incide en el plano de trabajo.

Pruebas realizadas han demostrado que el nivel de iluminación determina la cantidad de la visión: cuando mayor es nivel de iluminación se puede ver más fácilmente y claramente. Nuestros ojos están constituidos de manera que la visión es óptima con los niveles de iluminancia proporcionados por la luz de día —no necesariamente bajo la luz directa del sol.— que van desde unos miles a 100 000 luxes. Técnica y económicamente resulta imposible, o muy difícil, obtener valores de alumbrado de 10000 a 20 000 luxes que nos permitan ver en las condiciones más favorables y con un mínimo de esfuerzo. En la práctica, tenemos que aceptar los niveles de iluminación "adecuados" técnica y económicamente, mucho más bajos que los mencionados, aprovechando gran capacidad de acomodamiento y adaptación de la vista.

En cada proyecto, el encargado de la instalación de alumbrado debe elegir el término medio correcto entre las mejores condiciones visuales y un sistema de alumbrado que sea factibles desde los puntos de vista técnico y económico.

En determinación de los niveles de iluminación óptimos para una tarea visual específica se toman en cuenta los sig. factores:

- a) La duración del trabajo con luz artificial.
- b) Si el trabajo es nocturno o diurno.
- c) Exigencias de calidad impuestas al producto que se trabaja, tamaño y contraste con los objetos.
- d) La edad de los usuarios de la instalación de alumbrado.

En los niveles de iluminación recomendados por algunos fabricantes de equipos de alumbrado y asociaciones de ingenieros, están implícitos los primeros tres factores; sin embargo, el cuarto factor —la edad de los usuarios— afecta el nivel de iluminación seleccionado en cierto porcentaje de acuerdo con el criterio que se adopte al considerar el promedio de edad de los usuarios del sistema de alumbrado utilizado. Extensas investigaciones han demostrado que a medida que el hombre envejece es necesario una mayor iluminación para desarrollar una tarea visual con la misma eficiencia que cuando se es joven:

- 10 años: niveles recomendado.
- 20 años: aumentar un 30% el nivel recomendado.
- 30 años: aumentar un 40% el nivel recomendado.

- 40 años: aumentar un 50% el nivel recomendado.
- 50 años: aumentar un 80% el nivel recomendado.
- 60 años: aumentar un 170% el nivel recomendado.

Actualmente, se ha fijado una tabla de niveles de iluminación adecuados para cada tarea visual. Esta tabla se calculó según la teoría del Dr. H. A. Blackwell, fue publicada por el I. E. S. Lighting Handbook en 1959 y se determinó con un rendimiento visual del 99 % y las mismas 5 asimilaciones/segundo (el ojo puede tener Incluso 37 asimilaciones/segundo, como el cinematógrafo).

La Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación S. M. I. I. calculó nuevos niveles de iluminación apropiados para México y sus condiciones económicas, basados en un rendimiento visual del 95% y las mismas 5 asimilaciones / segundo (al igual que el sonido responde a la sonoridad, la sensibilidad del ojo responde en forma logarítmica a la iluminación), con lo que la iluminación se baja a niveles aplicables en forma económica sin que por ello se produzca un cansancio visual o bajo rendimiento.

Para el desarrollo del siguiente proyecto se tomo como referencia únicamente la tabla de OFICINAS. (Vease Tabla 9.1).

Calidad de la iluminación.

Éste es uno de los aspectos que se deben de considerar en colaboración de los arquitectos y decoradores. La iluminación de un local debe armonizar con la

decoración de techos y paredes y con la actividad que se va a desempeñar. La calidad de la iluminación depende de varios factores:

OFICINAS	Luxes I.E.S.	Luxes S.M.I.I
Proyectos y diseño.	2000	1100
Contabilidad, auditoria, máquinas de contabilidad	1500	900
Trabajos ordinarios de oficina, selección de correspondencia, archivo activo o continuo	1000	600
Archivo intermitente o discontinuado	700	400
Sala de conferencias, entrevistas, salas de receso, archivos de poco uso o sean las áreas en las cuales no exige la fijación de la vista en forma prolongada	300	200

Tabla 9.1 Calidad de iluminación

a) Deslumbramiento. Cuando la vista que tiene que desarrollar una labor en un lugar específico con una visión determinada, el iris deja de pasar sólo la cantidad de luz necesaria. Si intempestiva inadvertida se dirige la vista dentro del ángulo de emisión a luminarias con brillos intensos, se reproduce una sensación desagradable de deslumbramiento, lo cual si es persistente puede ocasionar fatigas innecesarias.. Para corregir este efecto se debe tener en cuenta el empleo de difusores adecuados, disminuir los efectos de "caverna" o penumbra (existen luminarias que producen una componente de luz lateral dirigida hacia el techo para disminuir este efecto), colocar estas luminarias fuera del ángulo de visión del ojo y pintar techos y paredes con colores claros. Otra causa de deslumbramiento es a consecuencia del reflejo de los rayos luminosos en muebles, o reflejos en la tinta y lápiz de algunos pianos o tipo de papel muy brillante. En estos casos se deben seleccionar muebles en acabados mate y dirigir por medios difusores la luz hacia otros ángulos, con la finalidad de eliminar esos molestos reflejos e incluso suprimir sombras incandescentes.

b) **Contraste.** Como se indico, el ojo trabaja por contraste de la luz y sombra, lo negro y lo blanco, lo grande y pequeño, lo recto y lo curvo. Es preciso que exista un equilibrio entre luz y sombra, es decir, entre claridad y oscuridad para proporcionar la visión en detalle con los conos de la fóvea y la sensación de seguridad que da la visión con bastones alrededor de los objetos, sin embargo, no es conveniente un brillo de fondo igual al del objeto de trabajo, pues no da al ojo posibilidades de discriminación. Un contraste de brillo de 3 a 1 se considera bueno aunque relaciones de 10 a 1 son deseables en cualquier lugar de campo visual. La relación de brillo y sombra 30—40 a 1 se considera como un máximo admisible. Evidentemente estas condiciones se logran conjugando varios factores como son los acabados claros y mate de techos, paredes, suelos y muebles, además del tipo de luminarias empleadas.

c) **Difusión.** Se llama luz difusa a la que procede de varias direcciones, ya sea por la gran cantidad de fuentes luminosas dispersas en el techo o por el empleo de vidrios y pantallas difusoras. La difusión se mide en términos de ausencia de sombra. Una iluminación difusa es recomendable en donde se requiere realizar trabajos de precisión y buena visión, por ejemplo, en oficinas, escuelas, tiendas de maquinaria, supermercados, etc. Sin embargo, hay aplicaciones en las que es conveniente cierto tipo de iluminación dirigida donde lo que importa es realzar los detalles, por ejemplo, en escaparates, museos de arte, arqueología y artesanías incluso es recomendable imitar la incidencia de los rayos solares sobre los objetos para lograr el ambiente en que éstos fueron realizados y captar mejor las intenciones del artista.

Elección del tipo de iluminación.

Los tipos de iluminación que más se recomienda por su eficiencia y economía y de hecho son los que más se utilizan, son el directo y el semidirecto. El alumbrado directo es muy usual en industrias donde se requiere una iluminación uniforme e intensa en las áreas de trabajo. El alumbrado semidirecto se emplea en escuelas, oficinas, etc. Dirige del 60% al 90% de la luz emitida por las luminarias hacia el plano de trabajo y del 10% al 40% hacia el techo y las paredes para eliminar los efectos de caverna y penumbra.

La iluminación semidirecta se emplea específicamente donde se requiere reducir al mínimo la sensación de brillo y deslumbramiento, para proporcionar un clima más íntimo y acogedor, como en vestíbulos y pasillos de hoteles, pasillos de acceso y salas de espera en general.

Elección del equipo de alumbrado.

Una vez hecha la elección del tipo de iluminación que se va emplear, se procede a seleccionar el equipo de alumbrado, considerando que su curva de distribución fotométrica proporcione una distribución de luz adecuada a las necesidades del proyecto arquitectónico, a la economía que resulta de un análisis comparativo entre un equipo y otro a la eficiencia de la iluminación, altura de montaje y tipo de trabajo que se va a desarrollar.

CAPITULO 10

Métodos para calculo del proyecto

Teoloyucan es un municipio del Estado de México que se encuentra ubicado al norte del estado y esta delimitado por los municipios de Tepozotlan, Coyotepec, Huehuetoca, Zumpango, y Cuautitlan izcalli.

Se llega a Teoloyucan por la autopista Mexico-Queretaro en la salida de Tepozotlan y Teoloyucan.

Santa Cruz es un barrio de Teoloyucan ubicado en la parte oriente del municipio; cuenta con mas de 10,000 habitantes, en su mayoría población juvenil que esta en edad de practicar algún deporte y como es tradicional el Fútbol es el deporte favorito de los jóvenes.

Como Sta Cruz es un barrio semi-urbano sus instalaciones deportivas están al aire libre sin ninguna infraestructura especial por tal motivo la practica y juegos de fútbol son en el día y se realizan principalmente los domingos durante todo el día. Pero entre semana son utilizadas por las noches sin ningún alumbrado especial mas que improvisadas lámparas incandescentes que iluminan parcialmente la cancha.

Motivo que me hizo pensar en un sistema de iluminación para aliviar esta situación, y así, facilitar la practica de este deporte entre los jóvenes, alejándolos de las drogas o malvivencias.

Razones por las que pensé en un sistema de iluminación para una cancha de fútbol del barrio en que nací.

Métodos para el calculo de iluminación.

Existen 2 métodos para estimar el numero de lúmenes en el área a iluminar, método de Lumen y método de punto por punto.

10.1 Método de Lumen.

Este método es el que mas comúnmente se usa para estimar el numero de Lúmenes de lámpara que se necesitan para iluminar un área en particular. A partir de esta información se puede estimar el numero de reflectores que se necesitarán. Por el momento todo lo que se sabe es el nivel de iluminación que se proporcionará al área. Aunque esta información es necesaria no indica como estará distribuida la luz sobre el área.

Para averiguar el grado de uniformidad, se debe utilizar uno de los métodos que existen para verificar los valores punto a punto.

10.2 Método Punto a punto.

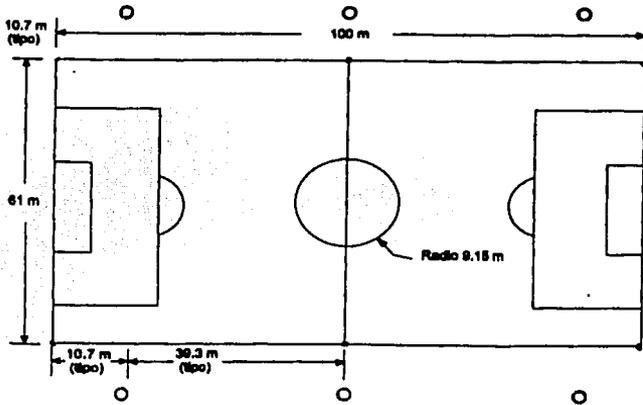
Es posible identificar los niveles de iluminación por medio de varios métodos de punto a punto. Se divide el área en cuadrados uniformes, los niveles de iluminación se pueden medir en el centro de centro de cualquiera de estos cuadros, para asegurar que esta alcanzando el nivel de iluminación promedio y que la uniformidad es satisfactoria. Los puntos mas convenientes para verificar son los puntos centrales y laterales especialmente si se han especificado los niveles mínimos de iluminación.

La parte más difícil de los cálculos punto por punto es determinar las distancias y ángulos que forman el haz con los puntos seleccionados debido a que estos no pueden medirse directamente en una proyección horizontal del área iluminada.

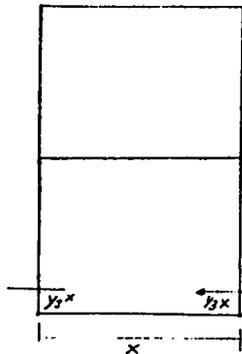
Se utiliza una gráfica que nos permite determinar los niveles en cada uno de dichos puntos.

A continuación se muestra un esquema de la cancha a iluminar.

**FUTBOL SOCCER
300 LUXES**

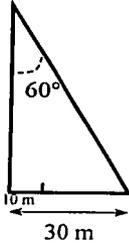


O (UBICACION DE LUMINARIOS)



Apunte de proyectores para determinar la altura de montaje

Calculando la altura de los postes.



$$\text{Tang } 60 = \frac{30 \text{ m}}{H}$$

$$H = \frac{30 \text{ m}}{\text{Tang } 60} = 17 \approx 19 \text{ mts.}$$

Para determinar el coeficiente de NEMA

$$FF = \frac{L}{\sqrt{h^2 + s^2}}$$

Para la cancha de futbol

$$FF = \frac{100}{\sqrt{19^2 + 10^2}} = 2.77$$

Al tener menos ángulo de iluminación será mayor confort.

$$AAF = 0.8$$

$$C.U. = C.U. \text{ preliminar} \times AAF$$

$$\text{No. Lum} = \frac{E \times \text{Área}}{\text{Lumen} \times C.U.P. \times LLF}$$

Donde AAF = Factor de ajuste

LLF = Factor mantenimiento

C.U.P. = C.U. Preliminar.

FF = Factor de campo.

FF esta en función de la altura y el setback

De la curva NEMA $\frac{H}{3} \times \frac{V}{3}$
 Donde H = horizontal
 V = Vertical

$$FF = 4.66$$

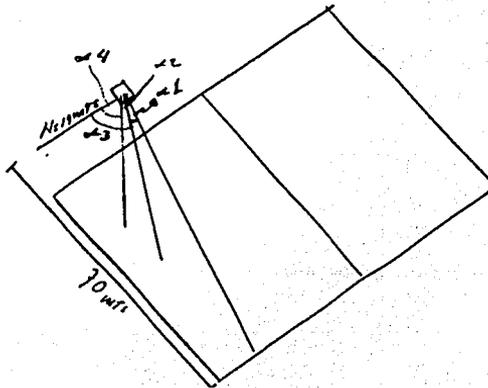
$$AAF = 0.85$$

$$S = 25$$

$$h = \frac{45}{\text{Tang } 60} = 25.9 \approx 26$$

$$FF = \frac{100}{\sqrt{25^2 + 26^2}} = 2.97$$

Para NEMA 5 = AAF = 0.7
 NEMA 3 = AAF = 0.75



$$\angle_1 \text{ Arriba del apunte} = 17.2$$

$$\angle_2 \text{ Abajo del apunte} = 29.9$$

$$\angle_4 = \text{ang tang } \frac{10}{19} = 27.7^\circ$$

debajo del apunte

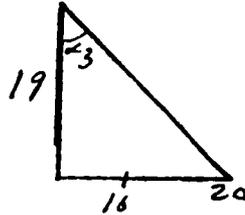
$$\angle_2 = \angle_3 - \angle_4$$

$$\angle_3 = \text{ang tang } \frac{30}{19} = 57.6^\circ$$

$$\angle_2 = \angle_3 - \angle_4$$

$$\angle_2 = 57.6^\circ - 27.7^\circ$$

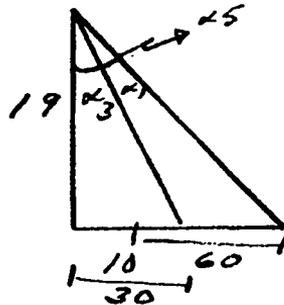
$$\angle_2 = 29.9^\circ$$



$$\angle_5 = \text{ang tang } \frac{70}{19} = 74.8^\circ$$

$$\angle_1 = \angle_5 - \angle_3$$

$$\angle_1 = 74.8^\circ - 57.6^\circ = 17.2$$



$$C.U.P_{\text{arriba}} = 0.25$$

$$C.U.P_{\text{abajo}} = 0.57$$

Entonces el número de luminarios es:

$$N. Lum = \frac{300 \times 100 \times 60}{110\,000 \times 0.59 \times 0.8 \times 0.75}$$

$$N. Lum = 46.22 \quad 48 \text{ luminarios}$$

Luminario Holaphane cat.

No 897 Vectorflood.

Lámpara de 1000 w aditivos metálicos.

Altura de montaje 19 mts.

Cantidad de postes 6.

Cantidad por poste 8.

Total de luminarios 48.

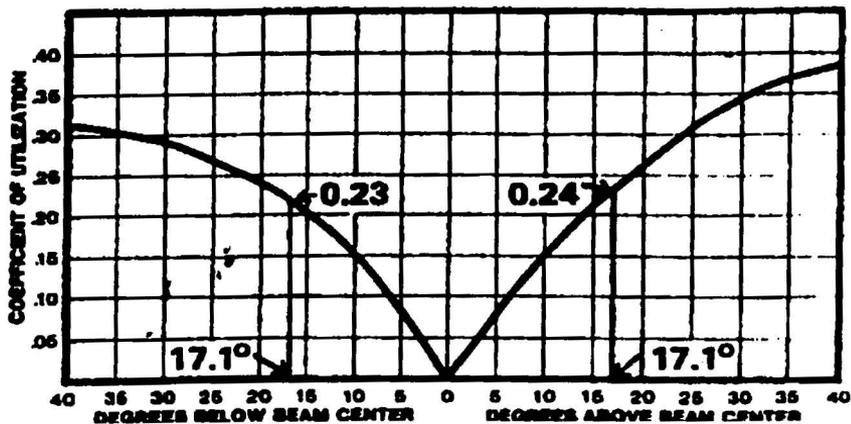


Tabla 10.1 Coeficiente de utilización.

Ver anexo 1, donde se muestran los cálculos obtenidos del programa de computo de los niveles de iluminación del método punto por punto de la cancha.

Conclusiones

Como hemos visto a lo largo de la investigación nos damos cuenta que hay varios factores que intervienen para desarrollar un proyecto de iluminación.

A través de la elaboración de este trabajo se concreto el objetivo de conocer el proceso visual y las relaciones fundamentales.

Se pudo comprender finalmente la naturaleza y propagación de la luz, además de su interrelación con el medio.

Se pudieron conocer adecuadamente su terminología de iluminación y su importancia que tienen dentro de sus aspectos técnicos como son:

Niveles de iluminación (Cantidad de luz)

Cantidad de iluminación (Brillo, contraste, difusión, color)

Elección del tipo de iluminación.

Elección del equipo de alumbrado

Calculo del numero de luminarias

Debiéndose considerar los aspectos estéticos, también como:

Tipo de iluminación.

Elección del equipo

Color de la luz y acabados.

Este trabajo les dará los conceptos fundamentales que se necesiten para comenzar hacer diseños de iluminación.

La industria de la iluminación esta en constante proceso evolutivo y cada año aparecen nuevas e interesantes tecnologías.

Se aplico adecuadamente las formulas y los datos de los catálogos y manuales de los fabricantes, pero no basto con eso ya que se necesita criterio e ingenio del diseñador para dar una adecuada iluminación a la cancha de fútbol, comprobándose el gran beneficio que se tiene al iluminarla para la practica de este deporte en el barrio de Santa Cruz. Teoloyucan.

Bibliografía:

- **Iluminación interna**
Re Victorio
Editorial Alfa omega.
- **Manual de alumbrado**
Westinhouse 3ª ed.
Editorial Dossat, S.A. 1987
- **Principios de iluminación y niveles de iluminación en México. (información técnica)**
- **Ingeniería aplicada al control de la Luz (catalogo condensado 1997)**
Holophane
- **Manual de instalación de alumbrado y fotometría.**
Chapa C.J.
Editorial Limusa, S.A. y Noriega Editores.
- **Manual de alumbrado Philips**
Editorial paraninfo
- **Manual de luminotecnia Osram.**
Editorial COSAT, S.A.
- **Manual de luminotecnia**
B.D. Aloy Flo
Editorial Labor, S.A
- **Catalogo para iluminación para la industria, S.A.**

Anexo 1

```

1. *****
2. * * * * *
3. * * * * *
4. * * * * *
5. * * * * *
6. * * * * *
7. * * * * *
8. * * * * *
9. * * * * *
0. * * * * *

```

PreCALA FLOODLIGHTING ESTIMATOR
March 1, 2001

HOLOPHANE Company, Inc.
214 Oakwood Avenue Newark OH 43055

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SALA DE DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
CUAUTITLAN
MEXICO, MEXICO

LUMINAIRE INFORMATION

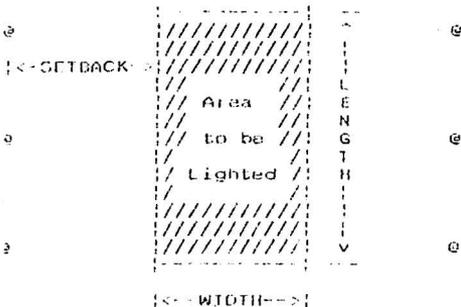
Comment:

```

File ID..... M:37203
Luminaire Catalog Number... 923 (24.8 - 59.6 GRADOS)
Lamp Catalog Number..... 400 W CFL 8 MH
Total Test Lumens..... 34000
Total Lumens Used..... 11000
Light Loss Factor..... 0.32
Input Watts..... 4600

```

LAYOUT INFORMATION



```

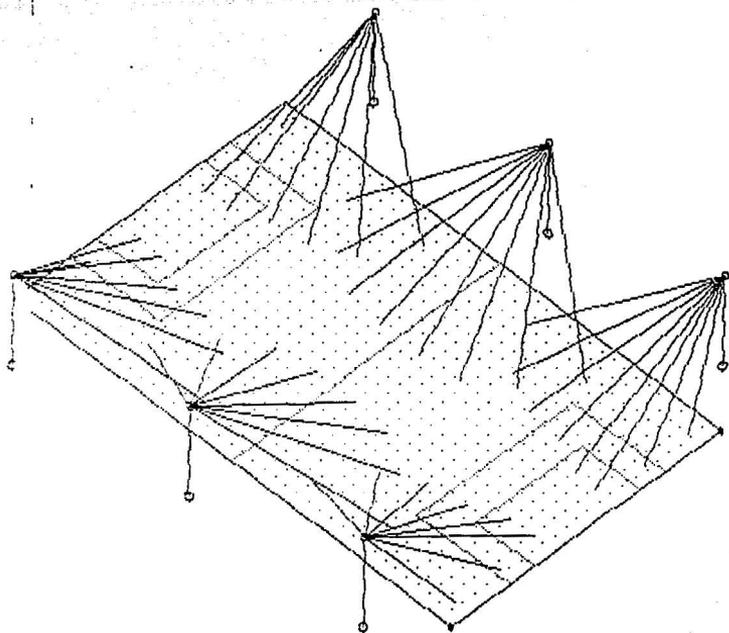
Layout Type..... 2-TWO SIDED
Mounting Height... 19.00
Length..... 100.00
Width..... 60.00
Area..... 6000
Setback..... 10.00

```

Notes: Setback is negative if floodlight is over the area to be illuminated.
ONE SIDED layouts are assumed to be aimed 2/3 way across area.
TWO SIDED layouts are assumed to be aimed 1/3 way across area.

STATISTICS

AREA	NO. OF LUMINAIRES	AVERAGE	C.U.	SPILL FACTOR	TCF
	48.00	379.65	0.622	0.815	0.986



ILLUMINEERING (R) ANALYSIS by CALA 7.3-----

March 1, 2001 SN.1624 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

HINGE LINE ELEVATION 0 METERS

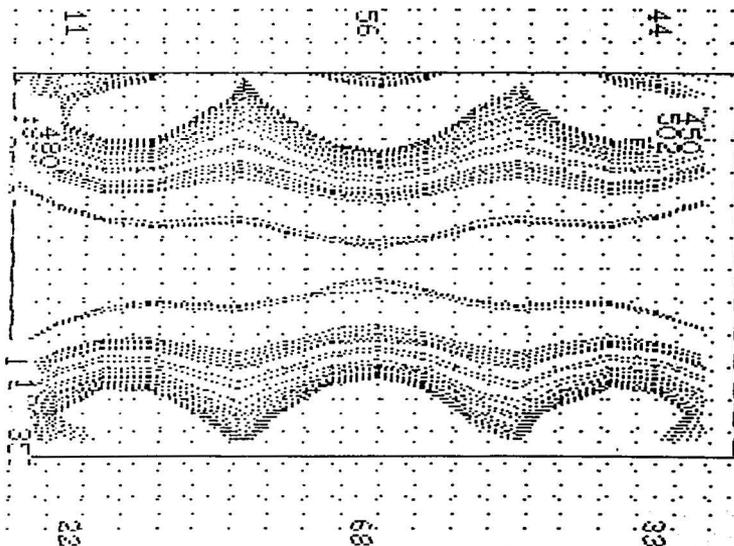
ROTATION ABOUT HINGE LINE 0 DEGREES

NOTE: The HINGE LINE is at the bottom of your analysis which is rotated 90d.

RESULTS ARE IN LUX

RATIO OF PRINTOUT LEFT TO RIGHT 200

RATIO OF PRINTOUT TOP TO BOTTOM 200



LUMINEERING (R) ANALYSIS by CALA 7.3-----

March 1, 2001 SN.1644 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

HINGE LINE ELEVATION 0 METERS

ROTATION ABOUT HINGE LINE 0 DEGREES

NOTE: The HINGE LINE is at the bottom of your analysis.

RESULTS ARE IN LUX

ORIENTATION OF PRINTOUT LEFT TO RIGHT 200

ORIENTATION OF PRINTOUT TOP TO BOTTOM 200

--A--											--C--																		
80.	306.	318.	322.	306.	278.	248.	221.	198.	180.	166.	157.	155.	160.	171.	20.	352.	372.	374.	359.	325.	288.	254.	225.	204.	188.	176.	173.	180.	193.
34.	367.	405.	413.	394.	360.	319.	278.	246.	221.	200.	189.	187.	193.	209.	34.	367.	405.	413.	394.	360.	319.	278.	246.	221.	200.	189.	187.	193.	209.
721.	369.	422.	443.	425.	386.	344.	301.	263.	235.	213.	201.	200.	204.	221.	721.	369.	422.	443.	425.	386.	344.	301.	263.	235.	213.	201.	200.	204.	221.
314.	374.	434.	474.	459.	414.	365.	320.	278.	247.	223.	210.	209.	214.	230.	314.	374.	434.	474.	459.	414.	365.	320.	278.	247.	223.	210.	209.	214.	230.
283.	353.	426.	472.	476.	434.	381.	336.	292.	258.	234.	218.	214.	223.	241.	283.	353.	426.	472.	476.	434.	381.	336.	292.	258.	234.	218.	214.	223.	241.
254.	314.	391.	449.	459.	432.	385.	341.	303.	265.	242.	224.	221.	230.	250.	254.	314.	391.	449.	459.	432.	385.	341.	303.	265.	242.	224.	221.	230.	250.
252.	316.	374.	416.	426.	407.	374.	337.	304.	273.	247.	233.	230.	238.	258.	252.	316.	374.	416.	426.	407.	374.	337.	304.	273.	247.	233.	230.	238.	258.
80.	329.	384.	407.	404.	385.	357.	328.	298.	270.	250.	237.	233.	238.	258.	80.	329.	384.	407.	404.	385.	357.	328.	298.	270.	250.	237.	233.	238.	258.
98.	350.	381.	396.	391.	372.	347.	317.	290.	268.	250.	240.	238.	242.	255.	98.	350.	381.	396.	391.	372.	347.	317.	290.	268.	250.	240.	238.	242.	255.
14.	357.	378.	386.	379.	365.	339.	311.	285.	264.	247.	235.	232.	239.	253.	14.	357.	378.	386.	379.	365.	339.	311.	285.	264.	247.	235.	232.	239.	253.
21.	356.	373.	377.	370.	355.	336.	312.	286.	263.	243.	234.	230.	236.	249.	21.	356.	373.	377.	370.	355.	336.	312.	286.	263.	243.	234.	230.	236.	249.
314.	347.	370.	374.	365.	350.	333.	313.	287.	262.	241.	228.	226.	234.	249.	314.	347.	370.	374.	365.	350.	333.	313.	287.	262.	241.	228.	226.	234.	249.
293.	341.	365.	373.	370.	356.	334.	310.	284.	259.	240.	230.	228.	232.	246.	293.	341.	365.	373.	370.	356.	334.	310.	284.	259.	240.	230.	228.	232.	246.
274.	325.	357.	375.	376.	362.	333.	304.	279.	258.	242.	233.	232.	237.	246.	274.	325.	357.	375.	376.	362.	333.	304.	279.	258.	242.	233.	232.	237.	246.

171. 186. 206. 231. 259. 289. 313. 323. 318. 298.
 193. 211. 235. 266. 301. 339. 368. 376. 369. 341.
 209. 230. 257. 293. 335. 374. 404. 413. 388. 352.
 21. 245. 277. 316. 359. 402. 438. 435. 403. 353.
 30. 259. 294. 336. 385. 431. 477. 466. 414. 353.
 41. 271. 308. 351. 400. 455. 479. 457. 395. 323.
 50. 278. 317. 356. 402. 445. 459. 430. 363. 290.
 58. 284. 314. 351. 388. 419. 425. 402. 355. 292.
 258. 281. 309. 340. 368. 393. 408. 403. 365. 309.
 255. 275. 299. 329. 358. 380. 395. 392. 374. 335.
 253. 271. 296. 322. 350. 373. 383. 384. 372. 343.

---E---

54. 301. 346. 372. 378. 359. 333. 303. 279. 260. 247. 240. 238. 242. 252.
33. 282. 332. 363. 370. 360. 335. 311. 287. 268. 252. 242. 240. 246. 257.
225. 263. 307. 355. 372. 366. 343. 316. 289. 268. 252. 243. 241. 246. 256.
218. 249. 296. 342. 368. 365. 344. 319. 292. 271. 255. 245. 243. 248. 260.
216. 242. 292. 341. 367. 365. 346. 321. 297. 275. 258. 247. 247. 251. 264.
217. 241. 288. 339. 369. 366. 343. 318. 293. 272. 256. 247. 246. 249. 262.
21. 254. 304. 348. 370. 366. 344. 317. 291. 271. 254. 246. 242. 248. 259.
27. 267. 312. 355. 370. 365. 342. 315. 289. 267. 253. 243. 240. 248. 257.
38. 282. 338. 365. 372. 358. 334. 307. 283. 266. 252. 245. 240. 244. 258.
61. 310. 351. 373. 377. 360. 333. 303. 279. 259. 245. 237. 235. 240. 251.
79. 330. 361. 375. 376. 360. 334. 306. 281. 258. 240. 232. 228. 234. 246.
202. 344. 367. 373. 366. 354. 334. 312. 287. 259. 240. 231. 226. 233. 247.
321. 351. 370. 374. 367. 351. 334. 313. 286. 261. 242. 230. 227. 233. 249.
320. 356. 374. 379. 373. 359. 337. 311. 286. 262. 245. 233. 231. 237. 250.
309. 354. 381. 387. 386. 367. 343. 313. 287. 263. 249. 236. 235. 240. 253.
20. 344. 382. 401. 395. 377. 349. 321. 294. 269. 250. 238. 234. 242. 257.
59. 322. 383. 409. 410. 391. 364. 331. 301. 272. 249. 235. 233. 240. 257.
51. 309. 377. 424. 441. 419. 378. 340. 304. 272. 247. 232. 226. 235. 254.
58. 326. 404. 461. 469. 433. 386. 340. 298. 264. 238. 221. 215. 226. 247.
93. 360. 431. 480. 475. 428. 377. 331. 289. 254. 229. 216. 213. 220. 238.
216. 372. 424. 459. 444. 403. 354. 311. 272. 243. 220. 208. 205. 210. 226.

49. 270. 296. 321. 344. 361. 373. 377. 367. 345.
49. 272. 298. 321. 340. 356. 370. 373. 363. 337.
246. 269. 296. 320. 343. 362. 371. 373. 357. 323.
246. 266. 288. 316. 344. 368. 380. 370. 347. 307.
252. 267. 289. 314. 343. 367. 379. 365. 328. 286.
257. 274. 296. 320. 347. 366. 369. 352. 309. 261.
56. 275. 299. 326. 354. 369. 366. 339. 286. 246.
60. 278. 302. 329. 353. 369. 363. 328. 275. 237.
64. 283. 304. 330. 356. 369. 360. 323. 270. 229.
62. 281. 302. 329. 353. 370. 361. 321. 270. 228.
59. 278. 301. 328. 352. 371. 366. 332. 283. 237.
257. 275. 299. 326. 350. 370. 371. 338. 298. 253.
258. 271. 292. 318. 345. 365. 372. 359. 322. 268.
251. 267. 288. 313. 343. 368. 379. 371. 338. 290.
246. 267. 291. 316. 344. 368. 376. 371. 351. 313.
17. 270. 298. 320. 341. 359. 370. 373. 361. 328.
19. 270. 298. 322. 339. 357. 371. 376. 364. 340.
20. 272. 296. 320. 347. 365. 376. 378. 368. 345.
23. 271. 296. 324. 352. 375. 388. 387. 375. 340.
27. 277. 304. 331. 359. 386. 400. 396. 370. 326.
29. 283. 311. 344. 376. 401. 415. 404. 363. 300.

24. 371. 410. 429. 411. 378. 333. 292. 257. 230. 209. 198. 194. 200. 215.
29. 368. 398. 400. 383. 349. 310. 270. 240. 216. 195. 183. 181. 188. 203.
08. 337. 356. 358. 341. 309. 274. 241. 215. 194. 180. 169. 166. 172. 185.
63. 286. 297. 298. 285. 261. 234. 208. 187. 171. 158. 148. 147. 152. 162.

X= 0.0
Y= 0.0
Z= 0.0

--B--

--D--

54. 284. 316. 355. 393. 429. 439. 415. 354. 285.

47. 276. 315. 356. 403. 452. 471. 446. 378. 297.

38. 267. 304. 346. 394. 447. 481. 465. 407. 335.

26. 253. 286. 329. 374. 418. 460. 449. 404. 352.

215. 239. 270. 308. 350. 390. 423. 429. 396. 355.

203. 223. 250. 286. 325. 364. 392. 400. 387. 353.

185. 202. 224. 253. 286. 322. 347. 360. 349. 326.

162. 177. 194. 217. 245. 270. 293. 297. 294. 280. -----

X= 60.0
Y= 0.0
Z= 0.0

Description: HOLOPHANE HALCON
 M59PJ-400 MEXICO
 Lamp description: 400 W CLEAR MH
 Test lumens: 34000
 Lumens used: 110000
 Test report: 37203
 Photometry type: A
 Light loss factor: 0.75
 Explanation (LLF):
 Tilt correction: YES

TILT CORRECTION FACTORS AS APPLIED TO THIS LUMINAIRE
 DEGREES 0 15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180
 FACTOR 1.00 0.93 0.94 0.96 0.99 1.00 1.05 1.00 0.99 0.96 0.94 0.93 1.00

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

PERSPECTIVE SKETCH

NOTE: The HUNG LINE is marked with two large dots.