

30
Let.

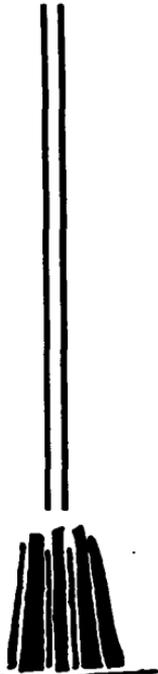


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"A R A G O N"

DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACION
INTERIOR PARA LOS HOSPITALES DEL
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO
SOCIAL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
RAUL MAURICIO DIAZ CASTORENA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO.

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

RAÚL MAURICIO DIAZ CASTORENA
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 22 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ JUAN RAMÓN MEJÍA ROLDAN pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA LOS HOSPITALES DEL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, México, 9 de abril de 1996
EL DIRECTOR


MÉNTI CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Asesor de Tesis.

CCMCAIR/11a.



AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por todo lo que me ha
dado en la vida

A Mi Padre (†)

El poco tiempo que conviví con él
fue suficiente para aprender mucho
de la vida.

A Mi Madre

Gracias por todas las enseñanzas
y consejos que me has dado.

A Mis Hermanos y Hermanas

Por toda la paciencia y el apoyo
que me brindaron durante mis
estudios.

A Mis Amigos

Que de alguna manera
todos contribuyeron para que
concluyera con el presente trabajo.

Al Ing. Juan Mendez Moreno (†)

Por la motivación, consejos
y ayuda que me proporciona.

GRACIAS

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
---------------------	----------

CAPITULO 1

CONCEPTOS BASICOS SOBRE ILUMINACION

1.1 FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DE LA LUMINOTECNIA	3
1.1.1 El Ojo Humano	3
1.1.2 Formación de las Imágenes en el Ojo	5
1.1.3 Características Visuales del Ojo	6
1.1.4 Factores que Intervienen en la Percepción Visual	10
1.2 RADIACION	12
1.3 LA LUZ	14
1.3.1 Control de la Luz	16
1.4 EL COLOR	20
1.4.1 El Color de los Cuerpos Opacos	21
1.4.2 Cualidades del Color	21
1.4.3 Temperatura de Color	22
1.4.4 Rendimiento de Color	23
1.5 MAGNITUDES Y UNIDADES LUMINOSAS	23
1.5.1 Flujo Luminoso	23
1.5.2 Intensidad Luminosa	24
1.5.3 Iluminancia	25
1.5.4 Luminancia	26
1.5.5 Rendimiento Luminoso	27
1.5.6 Cantidad de Luz	29

CAPITULO 2

FUENTES LUMINOSAS

2.1 LAMPARAS INCANDESCENTES	31
2.1.1 Teoría de Funcionamiento	31
2.1.2 Elemento Productor de luz	31
2.1.3 Bulbos	33
2.1.4 Atmósfera Gaseosa	34
2.1.5 Conexión Eléctrica	34
2.1.6 Características de Funcionamiento	35

2.2	LAMPARAS FLUORESCENTES	38
2.2.1	Teoría de Funcionamiento	38
2.2.2	Elementos Productores de Luz	39
2.2.3	Bulbos	42
2.2.4	Conexión Eléctrica	43
2.2.5	Características de Funcionamiento	43
2.2.6	Tipos de Lámparas Fluorescentes	47
2.2.7	Circuitos de las Lámparas Fluorescentes	50
2.3	LUMINARIAS	58
2.3.1	Clasificación General	58
2.3.2	Otras Clasificaciones	60
2.3.3	Eficiencia de las Luminarias	61
2.4	CURVAS FOTOMETRICAS	62

CAPITULO 3

DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACION INTERIOR PARA HOSPITALES

3.1	CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	64
3.1.1	Rendimiento o Eficacia Visual	64
3.1.2	Comodidad y Agradabilidad Visuales	65
3.1.3	Consideraciones Psicológicas	65
3.1.4	Consideraciones de Iluminación	67
3.1.5	Consideraciones Físicas	71
3.1.6	Consideraciones Térmicas	73
3.1.7	Consideraciones Económicas	76
3.1.8	Iluminación Para Seguridad	77
3.1.9	Iluminación de Emergencia	79
3.1.10	Depreciación de la Eficiencia Luminosa	80
3.1.11	Mantenimiento	81
3.2	CONSIDERACIONES EN LAS SALAS DEL HOSPITAL	82
3.2.1	Iluminación de Trabajo	82
3.2.2	Salas de Encamados	83
3.2.3	Salas de Examen Médico	85
3.2.4	Alumbrado de Quirófanos	85
3.2.5	Salas de Cirugías Especiales	87
3.2.6	Sala de Recuperación Post-Anestesia	88
3.2.7	Salas de Parto	88
3.2.8	Sala de Cuidados Intensivos	88
3.2.9	Sala de Rayos X	89
3.2.10	Estación de Enfermeras	89

3.2.11	Sección de Niños	90
3.2.12	Servicios de Salud Mental	90
3.2.13	Laboratorios	91
3.2.14	Consultorio de Urgencias	91
3.2.15	Sala de Autopsia y Necrocomio	92
3.2.16	Farmacia	92
3.2.17	Pasillos	92
3.2.18	Otras Salas	92
3.3	DISEÑO DEL ALUMBRADO	93
3.3.1	Niveles de Iluminación	93
3.3.2	Elección del Tipo de Lámpara y del Equipo	93
3.3.3	Métodos de Alumbrado	95
3.3.4	Altura de Suspensión de los Aparatos de Alumbrado	96
3.3.5	Distribución de los Aparatos de Alumbrado	97
3.3.6	Espaciamiento entre Luminarios	97
3.3.7	Cálculo del Flujo Luminoso Total	98
3.3.8	Control del Alumbrado	98

CAPITULO 4

METODOS PARA EL CALCULO DE ILUMINACION DE INTERIORES

4.1	METODO DE CAVIDAD ZONAL	100
4.1.1	Descripción	100
4.1.2	Teoría del Método de Cavidad Zonal	102
4.1.3	Cálculo de Iluminación	102
4.1.4	Ecuaciones de Trabajo	105
4.1.5	Determinación del Coeficiente de Utilización (CU)	106
4.1.6	Arreglo de Luminarios	109
4.1.7	Tablas para el Cálculo	110
4.2	METODO PUNTO POR PUNTO	118
4.2.1	Descripción	118
4.2.2	Teoría	118
4.2.3	Fórmulas Básicas	120
4.2.4	Método Simplificado	122
4.2.5	Componente de Iluminación Reflejada	125
4.3	EJEMPLOS	126
4.3.1	Quirófano	126
4.3.2	Consultorio Medicina General	132
4.3.3	Sala de Espera	136

CAPITULO 5

AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO

5.1	ADMINISTRACION EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA	141
5.1.1	Diagnóstico al Sistema de Iluminación	142
5.1.2	Identificación de las Opciones para el Buen Uso de la Iluminación	142
5.1.3	Desarrollo de un Plan para el Buen Uso de la Iluminación	142
5.1.4	Implementación del Plan de Acción	143
5.1.5	Monitoreo de los Resultados Obtenidos	143
5.2	RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA	144
5.2.1	Niveles	144
5.2.2	Lámparas	144
5.2.3	Balastos	144
5.2.4	Luminarios	145
5.2.5	Control de Encendido y Apagado	145
5.2.6	Acabados del Local	146
5.3	EFICIENCIA ENERGETICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO	146
5.3.1	Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado	146
5.3.2	Método de Cálculo	147
5.3.3	Ejemplo	150

CONCLUSIONES

ANEXO A	A-1
NIVELES DE ILUMINACION RECOMENDADOS EN EL IMSS	A-2
TABLA DE REFLEXIONES APROXIMADAS	A-8

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 5

AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO

5.1	ADMINISTRACION EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA	141
5.1.1	Diagnóstico al Sistema de Iluminación	142
5.1.2	Identificación de las Opciones para el Buen Uso de la Iluminación	142
5.1.3	Desarrollo de un Plan para el Buen Uso de la Iluminación	142
5.1.4	Implementación del Plan de Acción	143
5.1.5	Monitoreo de los Resultados Obtenidos	143
5.2	RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA	144
5.2.1	Niveles	144
5.2.2	Lámparas	144
5.2.3	Balastos	144
5.2.4	Luminarios	145
5.2.5	Control de Encendido y Apagado	145
5.2.6	Acabados del Local	146
5.3	EFICIENCIA ENERGETICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO	146
5.3.1	Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado	146
5.3.2	Método de Cálculo	147
5.3.3	Ejemplo	150

CONCLUSIONES

ANEXO A	A-1
NIVELES DE ILUMINACION RECOMENDADOS EN EL IMSS	A-2
TABLA DE REFLEXIONES APROXIMADAS	A-8

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Luz e iluminación son dos conceptos muy distintos que frecuentemente se confunden y son mal empleados. La luz puede definirse como la causa y la iluminación como el efecto de la luz en las superficies en las cuales incide. Desde el punto de vista físico, la luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas, capaz de afectar o estimular la visión. La radiación visible, es decir, la que actúa sobre el ojo, está comprendida, aproximadamente, entre las longitudes de onda de 380 a 780 nm (Nanómetros). Estos límites pueden variar de acuerdo a cada individuo.

Dado que el propósito de diseñar e instalar un sistema de alumbrado es el de proporcionar luz para la realización de las tareas visuales con un máximo de velocidad, exactitud, facilidad y comodidad, y con un mínimo de esfuerzo y fatiga, el presente trabajo tiene como objetivo el analizar todas las necesidades de iluminación que se requieren en los diferentes cuartos o locales, con los que cuentan los hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), ya sean consultorios, laboratorios, salas de encamados, quirófanos, etc.

Antes de iniciar el diseño de una instalación de alumbrado para un nuevo edificio, debe existir ya una estrecha colaboración entre el arquitecto, el ingeniero de iluminación y, si es necesario, el ingeniero de aire acondicionado en una etapa anticipada del proyecto. Se requieren dibujos que muestren el plano y corte de cada local, incluyendo los detalles estructurales de techos y paredes. Si existe un sistema de aire acondicionado, el emplazamiento de los conductos y la disposición de las luminarias deben ser consideradas en conjunto.

Para efectuar los cálculos detallados del tipo y número de luminarias se requiere información previa sobre las reflectancias de paredes, techos y pisos. Asimismo, los cálculos de relaciones de luminancia en interiores necesitan el conocimiento de la decoración interior propuesta y del mobiliario.

Los requisitos para el alumbrado de los hospitales del IMSS, así como de los hospitales en general, varían en las diferentes zonas de los mismos y dependen, además, de la amplia gama de condiciones visuales necesarias para los diferentes usuarios: pacientes, personal técnico y médicos. En algunos casos prevalecen las necesidades de tipo médico, en otros un alumbrado cómodo para los pacientes es de mayor importancia.

La cantidad y calidad del alumbrado en el interior del hospital, donde se efectúan tareas que exigen esfuerzos visuales, debe basarse en los requisitos de:

- Rendimiento o Eficacia Visual,
- Comodidad y Agradabilidad Visuales, y
- Eficacia en Energía y Costo.

En términos de iluminación, el color es importante, tanto el producido por las fuentes de luz como el de los alrededores, debido a los siguientes factores:

- Como factor que garantice las mejores condiciones para el tratamiento y examen cuando, por ejemplo, la diagnosis del paciente depende del color o de una modificación del color que muestra su piel;
- Como factor psicológico que reduce la apariencia institucional del hospital y crea una atmósfera más acogedora que contribuirá a la recuperación del paciente.

Otros aspectos importantes en cuanto a las consideraciones en el diseño de una instalación de alumbrado para hospitales son:

- Se debe colocar un alumbrado libre de interferencias eléctricas, en las zonas donde se deba instalar un equipo electrónico sensible a este tipo de radiaciones.
- Se debe instalar un alumbrado de emergencia en todas las zonas de tráfico intenso y en aquellas donde la vida y seguridad de las personas pueden correr peligro por falta de iluminación.

El ahorro de energía es un área que se ha ido desarrollando gradualmente y en la que no es posible lograr resultados impactantes en poco tiempo. Sin embargo, se han detectado líneas de acción donde hay oportunidades de mejorar y obtener grandes ahorros de energía.

Una de estas líneas de acción son las instalaciones de alumbrado, en donde se pueden lograr ahorros significativos en consumo de energía, y por ende, en costo para este tipo de instalaciones y sin reducir prestaciones si se plantea la instalación bajo un "Diseño Energéticamente Eficaz". Muchas de las instalaciones de alumbrado existentes están muy lejos de ser eficaces en los aspectos energéticos y de costo. Consecuentemente, hay oportunidades para convertir tales instalaciones y utilizar equipos más eficientes, manteniendo -y mejorando en ocasiones- el alumbrado con un menor consumo de energía y un menor costo.

Claramente, el objetivo es proveer alumbrado a los hospitales del Seguro Social, dentro de las normas de calidad y cantidad determinadas por la misma institución, con el mínimo consumo de energía. Para complementar este requisito fundamental es imprescindible evaluar los equipos, la tecnología y los servicios disponibles, igual para instalaciones existentes o en vías de ejecución.

1

CONCEPTOS BASICOS SOBRE ILUMINACION

1.1 FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DE LA LUMINOTECNIA

Para un estudio fructífero de la Ingeniería de Iluminación, necesitamos, por una parte, conocer los diferentes manantiales luminosos y por otra, saber cuál es el provecho que podemos obtener de ellos para lo cual se hace necesario conocer, aunque sea de forma elemental, la constitución del ojo humano y sus especiales características.

1.1.1 El Ojo Humano

Es el órgano fisiológico mediante el cual se realizan las sensaciones de luz y de color. Es un órgano viviente extraordinariamente adaptable, y opera en un campo de niveles de iluminación variables entre límites que guardan entre sí una relación de más de un millón a uno. Además, los continuos cambios necesarios para una buena visión en condiciones continuamente variables se efectúan automáticamente, sin esfuerzo consciente. Debido a este hecho, es muy fácil abusar del ojo. Por ejemplo, si se utilizan los ojos con una luz insuficiente o de baja calidad, se produce, como mínimo, una fatiga innecesaria, pudiendo dar lugar a la inflamación de los mismos y a dolores de cabeza.

En la figura 1.1 se ha representado un corte longitudinal esquemático del ojo humano; consta de las siguientes partes que se muestran según las indicaciones de la figura:

Párpado. Pliegue de piel que protege al ojo y que, en condiciones de luz muy brillante, ayuda a regular la cantidad de luz que llega a él.

Córnea. Es una membrana transparente, situada en la parte anterior del ojo y que lo protege junto con los órganos adyacentes (párpados, pestañas y cejas). Se prolonga hacia la parte interior del ojo por medio de otra membrana llamada *esclerótica* que cierra el globo ocular.

Iris. Se encuentra detrás de la córnea. Gradúa automáticamente la abertura de entrada de luz en el ojo; tiene una perforación circular por la que penetra la luz hacia el interior del ojo, y que se llama *pupila*.

Pupila. Abertura en el centro del iris por la que entra la luz en el ojo. El tamaño de la abertura se controla por la acción de músculos involuntarios.

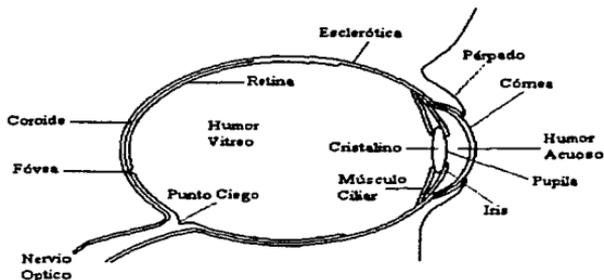


Fig. 1.1 Corte Seccional del Ojo

Cristalino. Se encuentra inmediatamente detrás del iris. Es una membrana también transparente, cuyo cometido es enfocar los rayos luminosos sobre la *retina*.

Músculo Ciliar. Músculo en forma de anillo que ajusta la tensión aplicada al cristalino, cambiando así su curvatura y enfocando objetos cercanos o lejanos.

Coroide. La coroide es como un forro interno del ojo y consiste de una capa de vasos capilares, que sirven para nutrir y alimentar el globo del ojo. Está destinada a contener la parte más sensible a la luz, o sea la retina.

Retina. Superficie sensible a la luz, situada en la parte posterior del globo ocular. Contiene una delicada película de fibras nerviosas que parten del *nervio óptico* y que terminan en pequeñísimas estructuras con forma de *conos* y *bastoncillos*. Sobre la retina se forman las imágenes luminosas que quedan impresionadas de forma semejante a las imágenes de una película fotográfica.

Conos. Receptores de la retina que hacen posible la discriminación de los detalles finos y la percepción del color. Son insensibles a los niveles bajos de iluminación; se encuentran principalmente cerca del centro de la retina, con mayor concentración en la *fóvea*, zona de 0.3 mm de diámetro aproximadamente, que sólo está compuesta de conos. Es en la fóvea donde el ojo enfoca, involuntariamente, la imagen de un objeto que deba ser examinado minuciosamente.

Bastones. Receptores de la retina, sensibles a los niveles bajos de iluminación. No responden al color y existen solamente fuera de la región foveana, aumentando su número a medida que aumenta su distancia a la fóvea. La parte más superficial de la retina, compuesta principalmente de bastoncillos, no ofrece una visión precisa, pero es muy sensible al movimiento y a las oscilaciones luminosas.

Púrpura Retiniana. Es un líquido purpúreo que se encuentra en los bastones, sensible a la luz, y que se decolora rápidamente cuando es expuesto a ella. Su regeneración es un factor importante en la adaptación a la oscuridad.

Punto Ciego. Es el punto de la retina por donde entra en el ojo el nervio óptico, el cual conduce las sensaciones de luz al cerebro. En este punto no hay bastones ni conos y por consiguiente un estímulo de luz no provoca sensación alguna.

El espacio comprendido entre la córnea y el iris recibe el nombre de *cámara anterior* y está lleno de un líquido transparente, denominado *humor acuoso*.

El espacio comprendido entre el cristalino y la retina recibe el nombre de *cámara posterior* y está ocupado por un líquido de aspecto gelatinoso, al que se llama *humor vítreo*.

1.1.2 Formación de las Imágenes en el Ojo

Cuando los objetos que nos rodean son luminosos por sí mismos o se hallan iluminados, parten de ellos rayos luminosos que atravesando la córnea, llegan al interior del ojo.

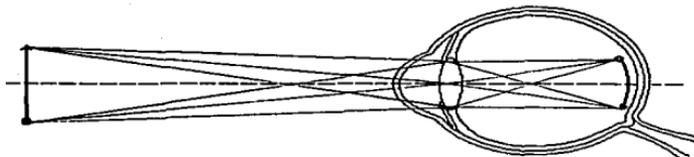


Fig. 1.2 Formación de las Imágenes en el Ojo

Sigamos un rayo de luz en su trayectoria por el interior del ojo. Cuando una radiación electromagnética de longitud de onda comprendida entre 380 y 780 nm¹ pasa a través de la córnea, el rayo se dobla o refracta. De la córnea pasa cruzando la pupila, la cantidad de luz que pasa por ella se controla automáticamente por medio de la contracción o expansión de la abertura de la pupila. La luz pasa a través de ella y cruza el cristalino que enfoca y refracta los rayos a través del humor vítreo sobre la superficie de la retina. Esta refracción se realiza tal como se indica en la figura 1.2, de manera que todos los rayos luminosos que proceden de un punto del espacio, se encuentran nuevamente en un punto de la retina; pero la imagen formada es mucho más pequeña, y además invertida. Aquí es donde los bastones y conos entran en acción, y el proceso se convierte en uno de naturaleza electroquímica. Se generan así ciertas pulsaciones que se transmiten desde los conos y bastones hasta el nervio óptico, que las lleva hasta el cerebro donde se interpretan como luz o bien donde causan la sensación de visión.

1.1.3 Características Visuales del Ojo

Acomodación. El ojo se acomoda automáticamente a las diversas distancias en que se encuentran los objetos, de forma que éstos siempre se reciben en la retina bien enfocados; se consigue esto por la acción involuntaria y automática de los músculos ciliares sobre el cristalino de tal manera que este órgano se hace más o menos convexo, según la distancia en que estén los objetos que se desea percibir.

¹nm = nanómetros (1×10^{-9} m)

La acomodación incluye también cambios en el diámetro de la pupila. Cuando el ojo se enfoca sobre objetos distantes la pupila es relativamente grande. Cuando la atención se fija sobre un objeto visual cercano la pupila se contrae algo, logrando así una apreciación más penetrante, pero admitiendo menos luz en el ojo.

Adaptación. Es el proceso por el cual el ojo es capaz de funcionar en un amplio margen de niveles de iluminación: implica un cambio en la abertura de la pupila, junto con cambios fotoquímicos en la retina. Cuando el ojo se encuentra sometido a una luz muy intensa, la pupila se contrae, reduciendo el paso de los rayos luminosos. Por el contrario, en la oscuridad, la pupila se dilata con objeto de captar la mayor cantidad posible de energía luminosa. De esta manera se regula automáticamente la intensidad de las sensaciones luminosas sobre la retina consiguiéndose que las imágenes se formen siempre con toda nitidez.

No hay que confundir la acomodación con la adaptación. Por la acomodación, el ojo humano regula automáticamente la curvatura del cristalino para tener imágenes nitidas en la retina, cualesquiera que sea la distancia. Por la adaptación, el ojo humano regula automáticamente la abertura del iris (es decir, la pupila) para tener imágenes nitidas en la retina, cualesquiera que sea la cantidad de luz percibida.

La adaptación del ojo desde la *visión fotópica*² a la *visión escotópica*³ es lenta; normalmente, en una media hora. La adaptación en sentido contrario se realiza mucho más rápidamente.

Agudeza Visual. Es la facultad de distinguir los detalles de los objetos. La agudeza visual expresada como la inversa del ángulo visual en minutos, es una medida de los más pequeños detalles que pueden percibirse. Dado que la agudeza visual aumenta marcadamente al hacerlo la iluminación, la luz se considera algunas veces como un "amplificador" que hace visibles pequeños detalles que no podrían verse con menos luz.

Curva de Eficiencia al Espectro Luminoso. Indica gráficamente la habilidad relativa del ojo para valorizar la energía radiante en las diferentes longitudes de onda del espectro visible. A esta curva se le llama también de *Sensibilidad del Ojo*, figura 1.3.

El ojo no es igualmente sensible a la energía de todas las longitudes de onda o colores. La máxima sensibilidad está en el amarillo verdoso, con una longitud de onda aproximada de 555 nm, mientras que, comparativamente, la sensibilidad en los extremos azul y rojo del espectro es muy baja. La curva de sensibilidad se debe tener siempre en cuenta al evaluar la energía visual en función de la sensación.

² Visión Fotópica = Visión Diurna.

³ Visión Escotópica = Visión Nocturna.

Efecto de Purkinje. La curva de sensibilidad normal (fotópica) del ojo, se basa en el efecto combinado de la visión con los bastones y los conos. Sin embargo, a niveles muy bajos de iluminación, donde la *luminancia*⁴ es del orden de 0.03 a 0.003 cd/m² (Nits), ya no pueden funcionar los conos por lo que los bastones toman a su cargo el proceso completo de visión. Al entrar en acción únicamente los bastones (visión escotópica) se vuelve efectiva una nueva curva de sensibilidad cuya forma es la misma que la normal, pero que se encuentra desplazada aproximadamente 50 nm hacia el extremo azul del espectro. Esta traslación, que es conocida como *Efecto Purkinje*, desplaza la sensibilidad máxima del ojo de los 555 a los 505 nm (fig. 1.3).

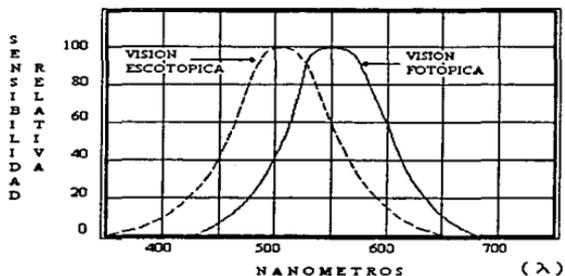


Fig. 1.3 Curvas de sensibilidad espectral relativa entre la visión diurna y la nocturna, que muestra el efecto de Purkinje en la longitud de onda de máxima sensibilidad.

Visión Central. Los conos de la fovea producen una imagen muy definida, alcanzándose aquí la máxima resolución de que es capaz el ojo.

Visión Periférica. La periferia de la retina, compuesta principalmente de bastones, no produce una visión nítida, sino que los objetos aparecen como siluetas borrosas. Esta zona, no obstante, es muy sensible al movimiento y parpadeo.

⁴ La luminancia depende de la intensidad de luz que incide sobre un objeto y de la proporción de ésta que se refleja en dirección del ojo.

Visión Escotópica. Cuando el ojo está adaptado a niveles de luminancia inferiores a 0.25 cd/m^2 , la visión se denomina escotópica. En este caso los bastones son los elementos activos principales y la detección periférica es, por tanto, aquí superior a la foveal. En este tipo de visión no hay sensación de color.

Visión Fotópica. Si el ojo está adaptado a niveles de luminancia superiores a 3 cd/m^2 , la visión se llama fotópica. En este caso los conos son los elementos activos principales, siendo posible una visión de colores normal.

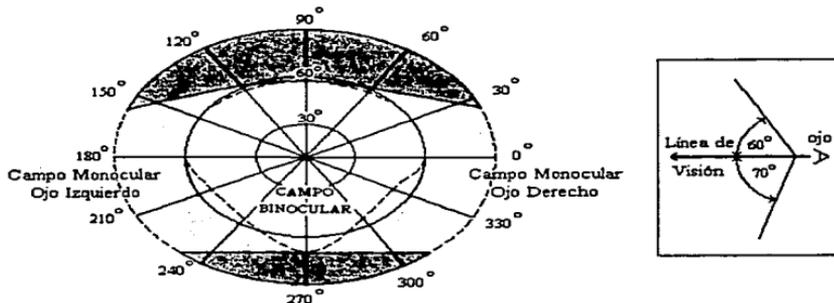


Fig. 1.4 Campo normal de visión de un par de ojos humanos

Campo Visual. El campo visual normal se extiende aproximadamente 180 grados en el plano horizontal y 130 grados en el vertical, 60 grados sobre la horizontal y 70 por debajo. La fôvea subtiende un ángulo de cerca de 2 grados y ésto constituye el campo central. Los límites de este campo que se consideran más efectivos están normalmente comprendidos entre el límite exterior del campo central hasta un círculo aproximadamente a 30 grados del eje óptico, figura 1.4.

1.1.4 Factores que Intervienen en la Percepción Visual

Las investigaciones han demostrado que la visión depende, en general, de cuatro variables asociadas al objeto visual: tamaño, luminancia, contraste de luminancia entre el objeto y sus alrededores, y el tiempo disponible para verlo.

Tamaño. El tamaño del objeto es el factor que generalmente tiene más importancia en el proceso visual. Es una función de las dimensiones del detalle mínimo y la distancia del ojo a la tarea. Cuanto más grande es un objeto en relación con el ángulo visual (o ángulo subtendido por el objeto desde el ojo) más rápidamente puede ser visto.

Luminancia (Brillo Fotométrico). Uno de los factores primordiales para la visibilidad es la luminancia. La de un objeto depende de la intensidad de luz que incide sobre él y de la proporción de ésta que se refleja en dirección del ojo. Cuanto más oscuro es un objeto o una labor visual, más grande es la iluminación necesaria para conseguir un buen brillo para tener una buena visibilidad.

El brillo es la sensación producida en el ojo humano, a causa de las diferencias de luminancia de los objetos iluminados o luminosos. El brillo -como la luminancia, su causa- es directamente proporcional a la intensidad luminosa de un manantial e inversamente proporcional a la superficie de la fuente luminosa emisora (brillo directo) o la superficie que refleja la luz incidente (brillo reflejado).

El concepto de *deslumbramiento* está íntimamente ligado con el brillo; pero el deslumbramiento no depende del brillo intrínsecamente considerado, sino de las diferencias de brillo. Se presenta este fenómeno cuando en el campo de la visión hay objetos iluminados o manantiales luminosos con grandes diferencias de brillo.

El deslumbramiento se produce en los siguientes casos, que habrá que evitar cuando se proyecte una instalación de alumbrado:

1. Brillo excesivo de un manantial luminoso. Por ejemplo, la visión directa de una lámpara de incandescencia.
2. Situación inadecuada de manantiales luminosos de brillo intenso, es decir, próximas al órgano visual del observador o en el centro de su campo visual. Por ejemplo, véase en la figura 1.5 un aparato de alumbrado que produce deslumbramiento, y en la figura 1.6 otro aparato de alumbrado que no lo produce. Como norma para evitar el deslumbramiento por esta causa, podemos definir el *ángulo límite* como el ángulo formado por la dirección visual horizontal y la dirección de la visual al foco luminoso; para evitar el deslumbramiento, este ángulo límite, ha de ser superior a 30°, tal como se representa en la figura 1.7. Las lámparas de luminancia elevada, que hayan de quedar dentro de ángulos inferiores a 30°, deben protegerse mediante globos difusores, reflectores, etc.

3. Contrastes excesivos de luz y sombras en el campo visual.
4. Brillo reflejado por superficies metálicas o muy pulimentadas, es decir, el brillo producido por *reflexión especular*.

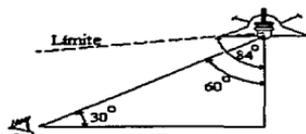


Fig. 1.5 Aparato de alumbrado que produce deslumbramiento.

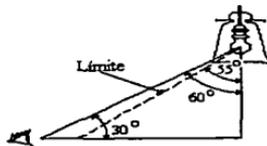


Fig. 1.6 Aparato de alumbrado que no produce deslumbramiento.

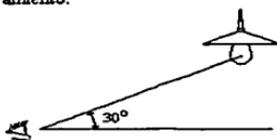


Fig. 1.7 Concepto de ángulo límite.

Contraste. El factor determinante en la discriminación de objetos es la diferencia de luminancia o de color entre el objeto observado y el medio circundante. Subjetivamente, el contraste es la valoración de la diferencia de aspecto de dos partes de un campo de visión observadas simultánea o sucesivamente. Objetivamente, el contraste -de modo específico contraste de luminancia- se define por las fórmulas:

$$L_c = \frac{L_2 - L_1}{L_1}$$

$$L_c = \frac{L_2 - L_1}{\frac{1}{2} (L_2 + L_1)}$$

donde L_1 y L_2 representan la luminancia del fondo y del objeto, respectivamente.

La visión se facilita tanto si se aumenta el contraste como la luminancia por encima del valor umbral definido por la sensibilidad al contraste del ojo. La sensibilidad al contraste se mide ajustando el nivel de luminancia de modo que el contraste observado sea apenas perceptible.

Cuantitativamente, la sensibilidad al contraste (CS) es igual al valor recíproco del umbral de contraste (C_t) o a la luminancia del fondo dividida por la luminancia umbral (L_t), esto es:

$$CS = \frac{1}{C_t} = \frac{L_1}{L_t} = \frac{L_1}{L_2 - L_1}$$

La sensibilidad al contraste medida en condiciones de laboratorio es meramente una función de la luminancia del fondo. En la práctica, sin embargo, está también influenciada por el contorno, la adaptación del ojo y otros factores secundarios tales como fuentes de luz que puedan producir deslumbramiento dentro del campo de visión.

Tiempo. El fenómeno de visión no es instantáneo; una cantidad mayor de luz significa una visión más rápida. El ojo puede ver detalles muy pequeños con niveles bajos de iluminación, si se da tiempo suficiente y se prescinde de la fatiga visual; pero para una visión rápida se requiere más luz.

La velocidad de percepción depende del nivel de luminancia. Se puede definir como el valor recíproco del intervalo de 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 el instante en que se percibe.

El factor tiempo es importante, en particular, cuando el objeto visual está en movimiento. Los niveles altos de iluminación hacen, de hecho, que los objetos en movimiento parezcan moverse más lentamente, lo que aumenta en gran medida su visibilidad.

1.2 RADIACION

Con el término general de *radiación* se designa a la transmisión de energía a través del espacio, sin soporte material, es decir, en el vacío. Esta transmisión a distancia se realiza por medio de ondas electromagnéticas o partículas, es decir, perturbaciones periódicas en el espacio recorrido por la radiación.

Existen diferentes tipos de radiación, tales como: *radiación calorífica*, *radiación eléctrica*, *radiación luminosa*, etc. En todos estos casos hay ondas que transmiten energía a distancia, sin embargo los efectos son muy diferentes. Ha de existir algo que diferencie las radiaciones, elementos que caractericen cada una de ellas. En Física se enseña que toda radiación, por complicada que sea su estructura, puede considerarse como la suma de un conjunto de radiaciones simples, cuyas expresiones matemáticas son senoídes y cosenoídes.

Así pues, veamos en la figura 1.8 los elementos que constituyen una radiación simple expresada por una senoíde; estos elementos son:

- a) *Longitud de Onda*. Que es la longitud que tiene la onda entre dos puntos que se encuentran en el mismo lugar relativo (o sea, como está marcado en la figura 1.8). La longitud de onda se representa siempre por la letra griega λ (Lambda).

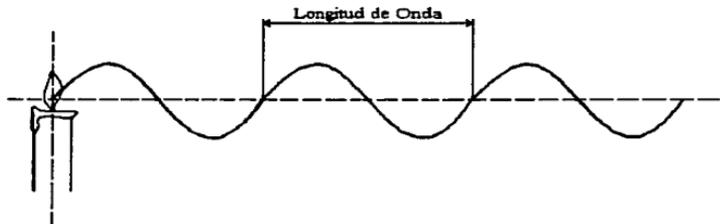


Fig. 1.8 Elementos que constituyen una radiación.

- b) *Periodo*. Es el tiempo que tarda la onda en ocupar dos posiciones idénticas; en la figura 1.8 sería el tiempo que se precisara para cubrir toda la longitud de onda. Se representa por la letra T .
- c) *Frecuencia*. Es el número de periodos por segundo; se representa por la letra f . La frecuencia y el periodo son magnitudes inversas, o sea que:

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

d) *Velocidad de Propagación.* Es la velocidad con que se propaga la onda a través del espacio. Se representa por v .

De acuerdo a la teoría electromagnética, la radiación puede considerarse como ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío, en línea recta con una velocidad muy cercana a los 300 000 km/s. Cuando atraviesan un medio natural, tal como aire o vidrio, su velocidad de propagación se reduce según un valor que depende del índice de refracción del medio considerado.

Para cualquier tipo de onda, la velocidad de propagación v es igual al producto de la longitud de onda λ y de la frecuencia f ,

$$v = \lambda f$$

La frecuencia no cambia con la naturaleza del medio a través del cual se propaga la radiación, pero cualquier cambio de velocidad irá acompañado de una modificación proporcional de la longitud de onda: la relación v/λ se conserva, pues, constante.

1.3 LA LUZ

La luz puede definirse como una radiación capaz de producir directamente una sensación visual; es una forma de energía radiante que se evalúa en cuanto a su capacidad para producir la sensación de la visión.

En el amplio espectro de ondas electromagnéticas que se extiende desde los rayos gamma emitidos por los cuerpos radiactivos hasta las ondas kilométricas radiadas por ciertas estaciones de radiodifusión, existe una estrechísima banda de ondas que se distingue de las que le siguen y preceden en dicho espectro por tener la propiedad de excitar los órganos de la vista. Este tipo de ondas están comprendidas en el espectro de radiación visible y también son conocidas como ondas luminosas (fig. 1.9). El espectro visible puede dividirse, de modo aproximado, en una serie de intervalos de longitud de onda, según la impresión de color que producen en el ojo humano:

380 - 436 nm	Violeta	566 - 589 nm	Amarillo
436 - 495 nm	Azul	589 - 627 nm	Naranja
495 - 566 nm	Verde	627 - 780 nm	Rojo

Tabla 1.1

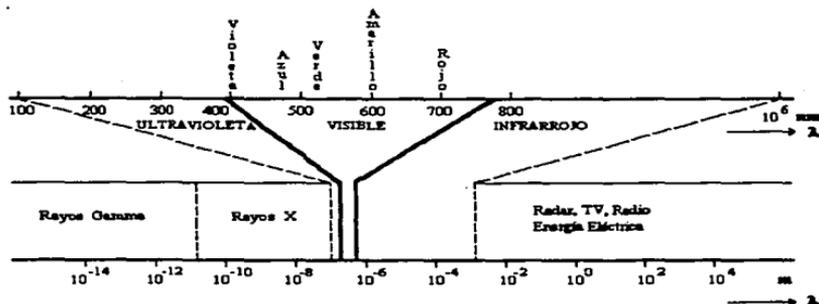


Fig. 1.9 El espectro electromagnético.

Cada una de las radiaciones conocidas del espectro electromagnético (ondas hertzianas, rayos X, rayos ultravioleta, radiaciones luminosas, etc.) se diferencia de las demás porque tiene una longitud de onda, y una velocidad de propagación propias y distintas a las demás radiaciones. Veamos ahora cuáles son las características de la luz (radiación luminosa).

Las características físicas fundamentales que la distinguen de las demás radiaciones son las siguientes:

- Longitud de Onda.** La luz está compuesta de una mezcla de radiaciones simples, cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 380 y 400 nm (que corresponden al color violeta) y entre 760 y 780 nm (que corresponden al color rojo). Los límites citados corresponden a los límites de sensibilidad de un ojo humano normal; fuera de estos límites, el ojo humano es ciego, no percibe ninguna clase de radiaciones.
- Velocidad de Propagación.** La velocidad o celeridad con que los rayos de luz se propagan en el vacío, simbolizada por la letra c , es, según los convenios internacionales, de 299 792.5 km/seg, con un error en más o en menos de 0.4 km/seg. Prácticamente, salvo en cálculos de extraordinaria precisión, se admite que c es igual a 300 000 km/seg.

La luz se propaga en el vacío, es decir, en un ambiente que no contenga ninguna sustancia, líquida o gaseosa. Por esta razón, nos llega la luz del Sol, que se propaga a través del espacio, atravesando el vacío que existe entre los planetas. Además, y esto es muy importante, la luz se propaga en línea recta y en las tres dimensiones del espacio (ancho, largo, alto), de tal manera que un manantial luminoso cualquiera puede considerarse como el centro del que irradian las ondas luminosas, en todas las direcciones del espacio.

1.3.1 Control de la Luz

Una vez obtenida la luz, mediante el manantial luminoso correspondiente, se presenta el problema de su control ya que, debido a su gran luminancia, la mayoría de manantiales luminosos existentes en la actualidad no realizan por sí mismos una distribución del flujo luminoso que permita su aplicación directa, sino que se hace necesaria la utilización de dispositivos que modifiquen o controlen la luz emitida por dichos manantiales luminosos.

La modificación de las características luminosas de un manantial luminoso, con vistas a una aplicación eficiente de luz emitida, puede realizarse aprovechando uno o varios de los fenómenos físicos que se citan:

- | | | |
|----------------|-----------------|--------------|
| a) Reflexión. | c) Absorción. | e) Difusión. |
| b) Refracción. | d) Transmisión. | |

Reflexión.

Reflexión es el retorno de la radiación que incide en una superficie sin que se produzcan cambios de frecuencia en ninguno de los componentes monocromáticos que la integran. Cuando se refleja la luz que incide en una superficie una porción de aquella se pierde por *absorción*. La razón entre el flujo reflejado y el incidente se llama reflectancia de la superficie (Factor de Reflexión). La reflexión de la luz depende, esencialmente, de las siguientes circunstancias:

- Condiciones moleculares de la superficie reflectante.
- Angulo de incidencia de los rayos luminosos.
- Color de los rayos incidentes.

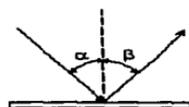
Cualquier superficie que no sea perfectamente negra reflejará luz. La cantidad que refleje y la manera en que se refleje queda determinada por las propiedades reflectivas de la superficie. La reflexión de cualquier superficie puede ser clasificada en *especular*, *difusa* y *mixta*.

Reflexión Especular. Es la que tiene lugar en una superficie pulimentada o extremadamente lisa. La reflexión especular está regida por dos leyes fundamentales:

1. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en un mismo plano.
2. El ángulo de incidencia, α , es igual al ángulo de reflexión, β , (figura 1.10-a).

La reflexión especular proporciona una luminancia máxima en la dirección del rayo reflejado y nula en las demás direcciones del espacio. Las superficies capaces de reflejar especularmente se emplean en luminotecnia como espejos, incorporándose en algunos tipos de *luminarias*. Entre los materiales utilizados para este fin se encuentran: aluminio anodizado, láminas de cromo, oro, plata y vidrios o plásticos aluminizados o plateados.

Reflexión Difusa. Si una superficie es rugosa o está compuesta de partículas minúsculas reflectantes (por ejemplo, una superficie cristalina), la reflexión es difusa. Las partículas actúan como reflector especular, pero como la superficie de cada una de ellas está orientada según planos diferentes, aparece luz reflejada con diferentes ángulos (figura 1.10-b).



a) Reflexión Especular



b) Reflexión Difusa

c) Reflexión Compuesta
(principalmente difusa)d) Reflexión Compuesta
(principalmente especular)

Fig. 1.10 Diferentes tipos de reflexión

La reflexión difusa proporciona una luminancia constante en cualquiera de las direcciones del espacio, aunque de menor valor que en el caso de reflexión dirigida. Además, con este tipo de reflexión se evita el efecto de deslumbramiento.

El papel blanco mate, los techos de yeso o escayola y la nieve son ejemplos de superficies que producen una área totalmente difusa. La pintura blanca mate se emplea en reflectores donde se requiere un ángulo de distribución de luz muy amplio.

Reflexión Mixta. Muchos materiales actúan como reflectores compuestos, es decir, su reflexión no es especular ni difusa, sino una combinación de ambas. Por ejemplo, un reflector difuso con una delgada capa de barniz transparente actuará como reflector casi difuso con ángulos pequeños de incidencia y como reflector más bien especular con ángulos grandes (fig. 1.10-c y d)

Refracción.

Cuando un rayo de luz sale de un medio y entra en otro cambia su dirección. Este cambio se debe a una variación en la velocidad de la luz. La velocidad disminuye si el nuevo medio es más denso que el anterior y aumenta cuando lo es menos. Este cambio de velocidad va siempre acompañado de una desviación del rayo luminoso que se conoce como refracción (fig. 1.11).

Dos leyes fundamentales, las leyes de la refracción, gobiernan el fenómeno:

1. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano.
2. La razón de los índices de refracción de ambos medios es igual a la razón de los senos de los ángulos de incidencia y de refracción.

La segunda ley de la refracción es conocida como ley de Snell y se expresa por

$$\text{sen } \alpha_1 / \text{sen } \alpha_2 = n_2 / n_1$$

siendo:

n_1 = índice de refracción del primer medio respecto al aire.

α_1 = ángulo de incidencia.

n_2 = índice de refracción del segundo medio respecto al aire.

α_2 = ángulo de refracción.

El índice de refracción es la relación entre la velocidad de la luz a través del aire y su velocidad a través del medio o sustancia correspondiente.

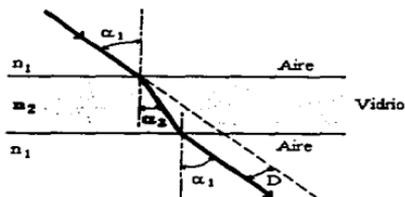


Fig. 1.11 Refracción en los límites de separación entre dos medios.

En la figura 1.11 supongamos, para fijar ideas, que los dos medios son, respectivamente, aire y vidrio. Podemos observar que si hacemos pasar un rayo luminoso del aire al vidrio y de éste nuevamente al aire, el rayo luminoso al pasar por segunda vez al aire seguirá también la ley fundamental de la refracción y su dirección será paralela a la del rayo incidente antes de pasar a través del vidrio.

Absorción.

En el fenómeno de reflexión de la luz, no todo el flujo luminoso que incide sobre los cuerpos, se refleja; una parte de este *flujo luminoso* queda absorbido en mayor o menor proporción según los materiales componentes de cada cuerpo.

La consecuencia más interesante del fenómeno de absorción es el color de los cuerpos. Si el cuerpo es de color blanco, quiere decir que al incidir sobre él la luz blanca, la refleja enteramente, sin haber absorción; por el contrario, los cuerpos negros absorben por completo la luz blanca, sin haber reflexión, y si es de color gris parte de la luz blanca es reflejada y parte es absorbida. Un cuerpo es, por ejemplo, de color rojo a causa de que absorbe todos los colores que componen la luz blanca, excepto el rojo, que refleja.

Transmisión.

Cuando los rayos de luz pasan a través de materiales transparentes o traslúcidos, se dice que son transmitidos. El grado de *difusión* de los rayos depende del tipo y densidad del material. Este fenómeno es característico de ciertos tipos de vidrio, cristal, agua y otros líquidos. Cuando pasa la luz a través del material se pierde una pequeña porción de ella por absorción. La razón entre el flujo transmitido y el flujo incidente se llama *transmitancia* (factor de transmisión) del material.

Transmisión Dirigida. La transmisión de la luz es dirigida (figura 1.12) si el rayo luminoso sufre solamente la variación debida a la refracción normal. Se consigue esta clase de transmisión utilizando cristales transparentes y se produce intenso deslumbramiento debido a la gran luminancia de los rayos luminosos incidentes.

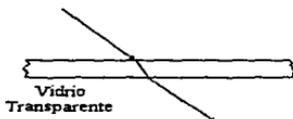


Fig. 1.12 Transmisión Dirigida.

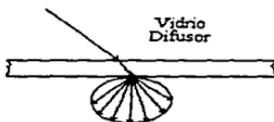


Fig. 1.13 Transmisión Difusa.

Transmisión Difusa. La transmisión de la luz es difusa (figura 1.13) cuando el rayo luminoso incidente queda disperso al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo que se trate. Se puede conseguir una transmisión difusa utilizando cristales opalinos, mateados, etc., es decir, cuerpos traslúcidos. En este caso, la luminancia es constante en todas las direcciones del espacio y el deslumbramiento es mucho menor que en el caso anterior.

Difusión.

Debido a la rugosidad de la superficie que refleja -o en su caso que transmite- el flujo luminoso, éste se esparce en todas las direcciones del espacio. A este fenómeno se le da el nombre de *difusión*. Podríamos añadir que una superficie perfectamente difusora tiene la misma luminancia en cualquiera de las direcciones del espacio.

1.4 EL COLOR

El color es un fenómeno físico que es mensurable, o sea que puede ser medido con relación a una unidad. Es también, una sensación, es decir, la respuesta a un estímulo luminoso que se capta por medio de un órgano sensorial (el ojo humano) y que, seguidamente, se percibe por el cerebro.

El color no es una cualidad intrínseca de la materia por sí misma. Su color varía según el de la luz que la baña y como ésta hiera nuestra retina reflejada por la superficie de los cuerpos, se desprende que el color es determinado por las propiedades reflectoras o difusoras de dicha superficie. El color de la luz se determina por su longitud de onda (ver Tabla 1.1).

1.4.1 El Color de los Cuerpos Opacos

En los cuerpos opacos, no luminosos pero si iluminados, la percepción del color se realiza mediante el fenómeno llamado *reflexión selectiva*, es decir, que los objetos iluminados con luz blanca reflejan solamente las radiaciones luminosas cuya longitud de onda corresponde a un color determinado (o a una mezcla de colores) absorbiendo todos los demás; por ejemplo, un objeto iluminado con luz blanca nos aparece como verde porque absorbe todas las radiaciones luminosas excepto aquéllas cuya longitud de onda corresponde al verde, las cuales refleja.

Resulta muy fácil comprender que los casos limites, serán por una parte el color blanco, en que todas las radiaciones se reflejan y ninguna se absorbe, y el color negro que absorbe todas las radiaciones recibidas y no refleja ninguna; en un cuerpo gris, se refleja una parte de la radiación total y se absorbe la parte restante.

Si para iluminar los cuerpos opacos, en lugar de luz blanca, empleamos una luz monocromática, el color de estos cuerpos se nos aparecerá deformado. Por esta razón, las lámparas monocromáticas o aquéllas cuyos espectros luminosos son discontinuos no deben utilizarse para alumbrado de interiores porque falsean la percepción del color.

1.4.2 Cualidades del Color

Las características cualitativas que distinguen los diversos colores, unos de otros, son:

1. *Tono.* La sensación subjetiva de tono, corresponde al concepto físico de longitud de onda.
2. *Intensidad.* La intensidad del color representa la fuerza o el vigor con que nuestros ojos perciben un determinado color.
3. *Saturación.* La saturación de un color depende de la cantidad de blanco que contiene. Se dice que un color es saturado, cuando no contiene blanco. Añadiendo blanco, se conseguirán matices de un mismo color, que se irá debilitando gradualmente a medida que aumentamos la cantidad de blanco, sin perder por ello su calidad en cuanto a color.

En luminotecnia, como en decoración, existen *tonos fríos*, y *tonos calientes* de color; los primeros dan una sensación de frescor, los segundos proporcionan un ambiente cálido y acogedor. Ordenando los seis tonos del espectro de colores, desde los tonos fríos a los calientes, obtendremos la siguiente gama:

<i>Tonos Fríos</i>	{	Violeta
		Azul
<i>Tonos Neutros</i>	{	Verde
<i>Tonos Calientes</i>	{	Amarillo
		Anaranjado
		Rojo

El Ingeniero en Iluminación, en colaboración con el decorador, habrá de tener en cuenta estos conceptos, eligiendo para cada caso, los colores de paredes y los manantiales luminosos más apropiados. En un país cálido, las habitaciones iluminadas con luz de tono frío, darán sensación de frescura y bienestar, pero en países fríos lo natural será decorar e iluminar las habitaciones con tonos calientes. En muchas ocasiones, para restablecer la armonía cromática es oportuno recurrir al contraste, dando algún tono caliente en un ambiente de tonos fríos, y viceversa.

Por estas razones, es de mayor interés conocer las características del espectro luminoso de los diferentes tipos de lámparas que existen, para poder obtener el mayor provecho posible de éstas.

1.4.3 Temperatura de Color

La temperatura de color es un término que se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con el color de un cuerpo negro, que es el teóricamente "radiante perfecto". Como cualquier cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color al aumentar su temperatura, poniéndose primero rojo oscuro y después rojo claro, naranja, amarillo y, finalmente blanco, blanco azulado y azul. Este concepto se define como:

" Temperatura de color de un manantial luminoso es la temperatura absoluta a la que un cuerpo negro emitiría un flujo luminoso (o radiación luminosa) que provocara la misma impresión de color en nuestro órgano visual que el manantial luminoso considerado. "

Se ha de tener en cuenta que la temperatura de color no es una medida de la temperatura real, ya que define solamente el color, y que se puede aplicar únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro. Por ejemplo, la luz de una lámpara de filamento de tungsteno de 100 w se acerca mucho al blanco, y el cuerpo negro ha de tener, aproximadamente, ese mismo color a una temperatura cercana a los 2,785 °Kelvin. Así pues, la lámpara tiene una temperatura de color de 2,785 °K.

1.4.4 Rendimiento en Color

Para poder comparar las características cromáticas de diferentes fuentes luminosas, la CIE (International Commission on Illumination) introdujo el concepto de *Índice de Rendimiento en Color* o *Índice de Reproducción Cromática* (IRC) y se define como la *capacidad que tiene una fuente luminosa de reproducir los distintos colores del objeto iluminado*. El índice máximo ($R_a = 100$), correspondiente a la luz "blanca" natural que posee un espectro continuo y completo, resulta si la distribución espectral de la fuente a ensayar y de la lámpara patrón son idénticas. Se ha convenido que la fuente de referencia como luz natural normalizada este constituida por un cuerpo negro a 5,000 °K.

1.5 MAGNITUDES Y UNIDADES LUMINOSAS

En Iluminación intervienen dos elementos básicos a considerar: la fuente productora de luz y el objeto a iluminar. Las unidades y magnitudes fundamentales empleadas para valorar y comparar las cualidades y los efectos de las fuentes de luz son las siguientes:

- Flujo Luminoso (Potencia Luminosa).
- Intensidad Luminosa.
- Iluminancia.
- Luminancia.
- Rendimiento Luminoso (Eficacia).
- Cantidad de Luz (Energía Luminosa).

1.5.1 Flujo Luminoso

A la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa se le llama *Flujo Luminoso* o *Potencia Luminosa*. El flujo luminoso se representa por la letra griega Φ y su unidad es el *Lumen* (lm). Un lumen es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido de 1 estereorradián por un manantial luminoso cuya *intensidad luminosa* es igual a una *candela* (véase figura 1.14).

Tipo de Lámpara	Flujo Luminoso lm
Vela de cera	10
Incandescente Standard de 100 W	1 380
Fluorescente L 40 W/20 (Blanco Frío)	3 200
Mercurio a alta presión HQL 400 W	23 000
Halogenuros metálicos HQI 400 W	28 000
Sodio a alta presión NAV-T 400 W	48 000
Sodio a baja presión NA 180 W	33 000
Magnesio AG 3B	450 000

Tabla 1.2 Flujo Luminoso de Lámparas Comunes.

El flujo luminoso de un manantial de luz no se distribuye por igual en todas las direcciones del espacio, sino que depende del dispositivo empleado para la iluminación. En la Tabla 1.2 se muestran algunas de las lámparas más usadas y su flujo luminoso característico.

1.5.2 Intensidad Luminosa

La *Intensidad Luminosa* de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes.

La intensidad luminosa se representa por la letra *I* y su unidad es la *Candela* (*cd*). Su fórmula es:

$$I = \Phi / \omega$$

La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de 1 lumen en un ángulo sólido de 1 estereorradian :

$$cd = lm / sr$$

La candela es la cantidad física básica internacional en todas las medidas de luz; las demás unidades se derivan de ella.

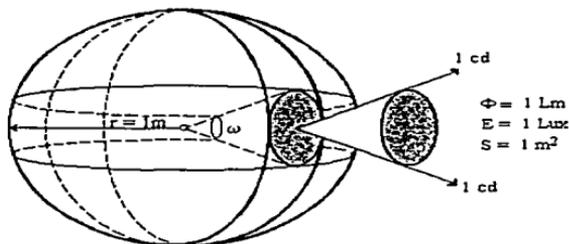


Fig. 1.14 Ángulo Sólido y Relación entre Flujo Luminoso, Intensidad Luminosa e Iluminancia.

1.5.3 Iluminancia

La *Iluminancia* o *Iluminación* de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión. Se representa por la letra *E* y su unidad es el *Lux* en el Sistema Internacional de Unidades. Su ecuación es:

$$E = \Phi / A$$

De esta ecuación se deduce que cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será la iluminancia, y que, para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será tanto mayor en la medida en que disminuye la superficie.

El lux se define como la iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe uniformemente repartido un flujo luminoso de un lumen.

$$\text{Lux} = 1\text{ lm} / 1\text{ m}^2$$

La Tabla 1.3 muestra distintos valores aproximados de iluminancias.

Medio día de verano al aire libre, con cielo despejado	100 000 lux
Medio día de verano al aire libre, con cielo cubierto	20 000 lux
Lugar de trabajo bien iluminado en un recinto interior	1 000 lux
Buen alumbrado público	20 - 40 lux
Noche de luna llena	0.25 lux
Noche de luna nueva (luz de estrellas)	0.01 lux

Tabla 1.3

1.5.4 Luminancia

La *Luminancia* de una superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente (superficie vista por el observador situado en la misma dirección). Se representa por la letra *L* y su unidad es el *Nit* (*nt*) o candela por metro cuadrado (cd / m^2); tiene un submúltiplo que es el *Stilb* (*sb*) que es candela por centímetro cuadrado (cd / cm^2), empleado para fuentes con elevadas luminancias.

La ecuación que expresa la luminancia es:

$$L = I / (S \cos \alpha)$$

donde: ($S \cos \alpha$) es la superficie aparente.

La luminancia es máxima cuando el ojo se encuentra en la perpendicular a la superficie luminosa, ya que entonces el ángulo α es igual a cero y el coseno de α igual a uno, correspondiendo la superficie aparente a la real.

La luminancia puede ser directa o indirecta correspondiendo la primera a los manantiales luminosos y la segunda a los objetos iluminados (figuras 1.15 y 1.16).

La luminancia es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad, pues la luz no se hace visible hasta que es reflejada por los cuerpos. La mayor o menor claridad con que vemos los objetos iluminados, depende de su luminancia. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias. Se puede decir, por lo tanto, que el ojo ve diferencias de luminancias y no de iluminación. En la Tabla 1.4 se dan algunos valores de luminancias.

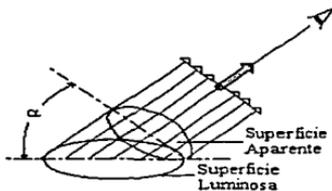


Fig. 1.15 Luminancia directa de una superficie luminosa.

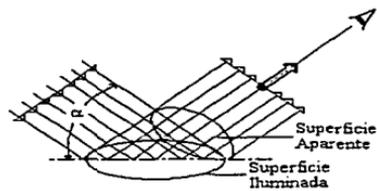


Fig. 1.16 Luminancia indirecta de una superficie iluminada.

1.5.5 Rendimiento Luminoso

El *Rendimiento Luminoso* o *Eficacia Luminosa* de una fuente de luz, indica el flujo luminoso que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención.

El rendimiento luminoso o eficacia se representa por la letra griega *Eta* (η) y su unidad es lumen por watt (lm/w):

$$\eta = \Phi / W$$

Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas toda la potencia eléctrica consumida en luz de una longitud de onda de 555 nm, esta lámpara tendría el mayor rendimiento posible, cuyo valor sería de 683 lm/w , pero como sólo una pequeña parte es transformada en luz, los rendimientos luminosos obtenidos hasta ahora para las distintas lámparas quedan muy abajo de este valor, presentando diferencias notables entre las mismas, como puede apreciarse en la Tabla 1.5.

Sol	150 000	STILB
Cielo despejado	0.3 - 0.5	"
Luna	0.25	"
Llama de una vela de cera	0.70	"
Lámpara incandescente clara	100 - 200	"
Lámpara incandescente mate	5 - 50	"
Lámpara incandescente opal	1 - 5	"
Lámpara fluorescente L40W/20	0.75	"
Lámpara de mercurio a alta presión 400 W	11	"
Lámpara de aditivos metálicos 400 W	700	"
Lámpara de sodio a alta presión 400 W	500	"
Lámpara de sodio a baja presión 180 W	10	"
Papel blanco con iluminación de 1 000 lux	250	NIT
Calzada de una calle bien iluminada	2	"

Tabla 1.4 Luminancias típicas de diferentes manantiales luminosos.

Tipo de Lámpara	Potencia Nominal W	Rendimiento Luminoso lm/W
Incandescente standard 40 W / 220 V	40	11
Fluorescente L40 W/20 (Blanco Frio)	40	80
Mercurio a alta presión HQL 400 W	400	58
Halogenuros metálicos HQI 400 W	360	78
Sodio a alta presión NAV-T 400 W	400	120
Sodio a baja presión NA 180 W	180	183

Tabla 1.5 Eficacias promedio de distintas lámparas.

1.5.6 Cantidad de Luz

De forma análoga a la energía eléctrica que se determina por la potencia eléctrica por unidad de tiempo, la *Cantidad de Luz* o *Energía Luminosa* se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso por unidad de tiempo.

La cantidad de luz se representa por la letra Q y su unidad es el lumen-hora (lm-hr). Su fórmula es:

$$Q = \Phi \cdot t$$

Tiene interés conocer a efectos de cálculos económicos la cantidad de luz que emite una lámpara durante su vida. Por ejemplo, una lámpara incandescente de 40 watts que emite un flujo luminoso de 440 lúmenes, durante su vida promedio de 1,000 horas emitirá una cantidad de luz de 440,000 lm-hr. De este valor habrá que descontar la pérdida de flujo que se produce en el transcurso de su vida, ya que este valor no es constante.

2

FUENTES LUMINOSAS

Llamaremos, en general, *Manantial Luminoso* al dispositivo, aparato u órgano natural o artificial que emite radiaciones visibles para el ojo humano.

Las fuentes de luz (lámparas) que se utilizan para la iluminación artificial en los interiores de los Hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), pueden ser divididas en dos categorías:

- Fuentes Incandescentes, y
- Fuentes de Descarga Gaseosa en Baja Presión (Fluorescentes).

Estas son las fuentes de luz artificial más comúnmente empleadas en el diseño de sistemas de Iluminación para interiores. Cada fuente de luz será descrita en términos de sus componentes primarios:

1. Elemento Productor de Luz.
2. Bulbo o Bombilla.
3. Conexión Eléctrica.

2.1 LAMPARAS INCANDESCENTES

2.1.1 Teoría de Funcionamiento

La *Lámpara de Incandescencia* es un elemento radiador cuyo cuerpo luminoso se compone de un filamento de alambre que va colocado en un montaje adecuado y encerrado en un bulbo de vidrio relleno de gas o al vacío, figura 2.1. Al conectar la lámpara a un circuito eléctrico, la corriente que pasa por el alambre del filamento tiene que superar su resistencia y la energía consumida calienta el filamento al punto de incandescencia, emitiendo a esta temperatura radiaciones comprendidas dentro del espectro visible.

2.1.2 Elemento Productor de Luz

En una lámpara de incandescencia el filamento es el elemento productor de la luz. En las lámparas modernas, el *Tungsteno* es usado como material para el filamento. Este tiene un alto punto de fusión (3,410 °C) y un ritmo lento de evaporación, lo que permite alcanzar temperaturas de funcionamiento más altas que con otros materiales y, consecuentemente, mayores eficacias. Además, ninguna otra sustancia es tan eficiente en convertir energía eléctrica en luz en la base de vida y costo.

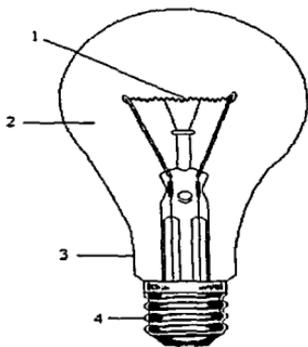


Fig. 2.1 Partes principales de una lámpara incandescente:

1. Filamento
2. Gas de Relleno
3. Bulbo
4. Casquillo

Las lámparas incandescentes emiten únicamente un porcentaje pequeño de la energía total proveniente del filamento en la región visible. La mayor porción de la energía es infrarroja, con una cantidad muy pequeña producida en la región ultravioleta.

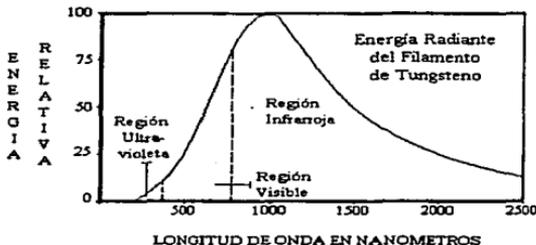


Fig. 2.2

Distribución de energía espectral para una lámpara de 1000 watts con temperatura de color aproximada a 3000 °K.

En la figura 2.2 se muestra la distribución de la energía espectral producida por una lámpara con filamento de tungsteno trabajando a 3,000 °K. Conforme aumenta la temperatura del filamento de tungsteno, la radiación en la región visible aumenta más rápidamente que en la región infrarroja, subiendo así la eficacia luminosa.

Los filamentos arrollados en forma de espiral son los más eficientes. El arrollamiento del filamento en doble espiral, además de incrementar la eficacia de la lámpara, reduce al mismo tiempo el tamaño del filamento para una determinada longitud, y es empleado en muchos tipos de lámparas incandescentes de uso general. Asimismo, el filamento, al estar arrollado, presenta una superficie efectiva menor al gas que rellena la ampolla, por lo que las pérdidas de calor por conducción y convección quedan reducidas a un mínimo.

Las designaciones más comunes de letras para filamentos son:

- " S " para filamentos rectos,
- " C " para filamentos en forma de espiral,
- " CC " para filamentos doblemente arrollados en espiral, y
- " R " para filamentos planos o en forma de cinta.

2.1.3 Bulbos

El filamento de las lámparas incandescentes está situado dentro de un *Bulbo* o *Ampolla* cerrada. La ampolla impide que el filamento esté en contacto con el aire, cuyo oxígeno provocaría que se quemara inmediatamente.

En la figura 2.3 se indican las formas de los bulbos que más se emplean en las lámparas incandescentes. Dichas formas se denominan mediante letras cuyos significados se indican en la figura.

Aparte de la designación con letras, los bulbos también tienen una designación numérica, la cual representa el diámetro del bulbo en octavos de pulgada. Por ejemplo, una designación A-19 indica un diámetro de $19/8"$ ó $2\ 3/8"$ de pulgada. El tamaño y la forma del bulbo vienen determinados por la aplicación en que va a utilizarse la lámpara.

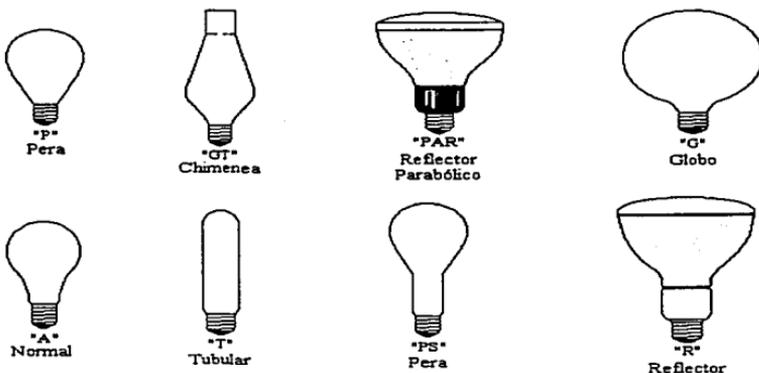


Fig. 2.3 Formas de bulbos de lámparas incandescentes.

Los acabados de las superficies del bulbo pueden ser claro, esmerilado u opalino, de color o superficies interiores plateadas. Las ampollas de vidrio blanco traslúcido que se usan para difuminar la luz producida por el filamento pueden obtenerse tratando la superficie interior de la ampolla con un ácido, lo que produce rugosidad en el cristal; sin embargo, se obtiene una mayor difusión de la luz revistiendo el interior de la ampolla con una fina capa de silicato blanco.

2.1.4 Atmósfera Gaseosa

El filamento de tungsteno en vacío sólo se utiliza algunas veces y para potencias hasta 40 Watts; a partir de estos límites, todas las lámparas actuales de incandescencia están rellenas de una atmósfera gaseosa, de características químicas neutras y constituida por una mezcla, especialmente estudiada, de *nitrógeno* y *argón*. La evaporación del filamento queda reducida si se llena la ampolla con esta mezcla de gases inertes, lo que permite además aumentar la temperatura a la que trabaja el filamento. Cuanto mayor sea la presión del gas, tanto menor será la evaporación del filamento y tanto mayores serán la eficacia luminosa y la vida de la lámpara.

El filamento de tungsteno en atmósfera de *kriptón*, por el elevado costo de este gas, se reserva a lámparas decorativas o cuando se precisan muy buenas características de funcionamiento.

2.1.5 Conexión Eléctrica

La base correspondiente a una lámpara incandescente desempeña dos funciones muy importantes. En primer lugar, sujeta firmemente la lámpara en el portalámparas y, en segundo lugar, conduce la electricidad desde el circuito hasta los hilos de conexión de la lámpara.

Los hilos de conexión para la llegada de la energía eléctrica constan de tres partes:

- a) Desde el filamento hasta el cuerpo de vidrio que actúa de soporte, por medio de dos alambres de níquel.
- b) En el extremo del soporte de vidrio, por medio de dos hilos de una aleación especial de hierro y níquel recubiertos de cobre, que tienen el mismo coeficiente de dilatación que el vidrio, con lo que se consigue que no se pierda el vacío en el interior de la ampolla, con el transcurso del tiempo.
- c) Desde el extremo del soporte de vidrio hasta la base o casquillo, por medio de dos hilos de cobre.

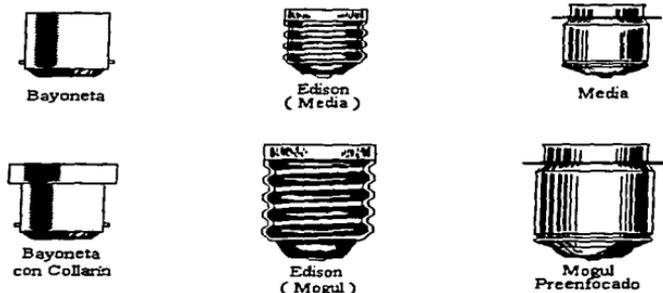


Fig. 2.4 Bases para lámparas incandescentes.

Para aplicaciones de alumbrado general se dispone de casquillos a *rosca* y a *bayoneta*, que se identifican en los catálogos por las letras E (por Edison) y B (por Bayoneta) seguidas de la cifra indicativa del diámetro del casquillo en milímetros. Los modelos más empleados de casquillos del tipo bayoneta y del tipo roscado están indicados en la figura 2-4. La mayoría de las lámparas de alumbrado general (300 watts o menos) llevan casquillos de rosca media. Los de más altas potencias (por encima de 300 watts) tienen casquillos de rosca mogul. Los metales más utilizados en los casquillos son el latón, el aluminio y el níquel.

2.1.6 Características de Funcionamiento

Efectos de la Variación del Voltaje de Línea.

Como regla general, las lámparas deben alimentarse a su tensión nominal. En la figura 2.5 se muestra la forma en que las variaciones, por encima o por debajo de los voltajes nominales, afectan las características de una lámpara. Se notará asimismo, que los lúmenes y la duración de la misma cambian enormemente con sólo una ligera variación en el voltaje, mientras que la potencia no sufre gran modificación. Todo aumento que ocurre en el voltaje hace que circule mayor corriente por el alambre del filamento, aumentando su temperatura y como resultado, brilla con más intensidad y produce una cantidad mayor de lúmenes. Además aumenta la potencia consumida debido a que los volts y los amperes son superiores y la resistencia del filamento aumenta porque su temperatura de trabajo es mayor.

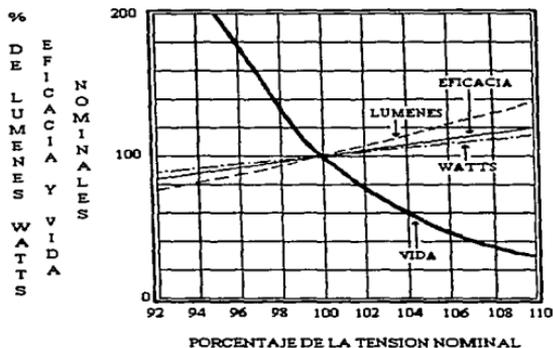


Fig. 2.5 Características de las lámparas incandescentes en función del voltaje.

La duración de la lámpara se acorta motivada por la evaporación más rápida del filamento de tungsteno a medida que su temperatura sube. La baja de voltaje afecta en forma inversa a todas las características de la lámpara. Existe una gran diferencia en las variaciones del porcentaje de las distintas características. Por ejemplo, si se enciende una lámpara de 120 a 125 volts, significa aproximadamente:

1. 16% más de luz (lúmenes).
2. 7% más de potencia eléctrica (watts).
3. 42% menos de duración (horas).

Por otra parte, si se enciende una lámpara de 120 volts a 115 volts, significa aproximadamente:

1. 15% menos de luz (lúmenes).
2. 7% menos de potencia eléctrica (watts).
3. 72% más de duración (horas).

La vida de una lámpara y el flujo de luz emitida están determinados por la temperatura del filamento. Cuanto más elevada es la temperatura para una lámpara dada, mayor es su eficacia (lúmenes emitidos por cada watt consumido) y más corta su vida. De aquí que flujo luminoso emitido y vida son interdependientes.

Depreciación de las Lámparas.

El rendimiento luminoso de una lámpara de incandescencia, disminuye a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento de dicha lámpara. Esta disminución del rendimiento es debida, sobre todo, a la lenta pero continua disgregación del filamento de tungsteno que origina un depósito negro sobre las paredes internas de las ampollas; además, a medida que la lámpara envejece, la disgregación del filamento hace que éste vaya teniendo cada vez menor sección, con lo que va aumentando paulatinamente su resistencia eléctrica; este aumento de resistencia tiene como consecuencia una disminución de la intensidad de la corriente que atraviesa el filamento y, por lo tanto, un descenso de la temperatura del mismo que, a su vez, provoca una disminución del flujo luminoso.

Por lo tanto, llamaremos *vida útil* o *duración útil* de una lámpara al tiempo transcurrido para que su flujo luminoso haya descendido a un 80% de su flujo luminoso inicial.

En la gráfica de la figura 2.6 se muestra la forma en que se deprecia lentamente una lámpara incandescente instalada en un circuito múltiple durante la duración de la misma y cómo va consumiendo lentamente menor cantidad de watts, produciendo así menos lúmenes con una eficacia menor a medida que las horas de uso aumentan.

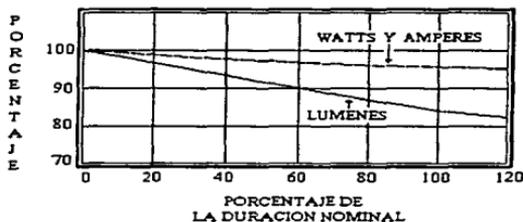


Fig. 2.6 Cambios en las características de una lámpara durante su periodo de duración.

Distribución de Energía

La distribución de energía de una lámpara incandescente se muestra en la figura 2.7.

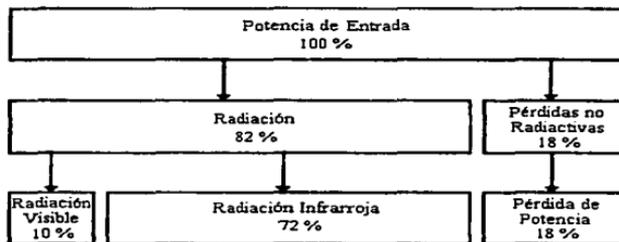


Fig. 2.7 Distribución de Energía de una Lámpara Incandescente.

2.2 LAMPARAS FLUORESCENTES

2.2.1 Teoría de Funcionamiento

La Lámpara Fluorescente es una fuente de descarga eléctrica que hace uso de la energía ultravioleta generada a una alta eficiencia por un vapor de mercurio en un gas inerte (argón, kriptón o neón) a baja presión para activar un revestimiento de material fluorescente (fósforo) depositado sobre la superficie interna de un tubo de vidrio. El fósforo simplemente actúa como transformador para convertir la luz ultravioleta invisible en luz visible.

Ayudándonos de la figura 2.8, veamos como se produce la luz en una lámpara fluorescente. Al aplicar una tensión adecuada entre los electrodos de la lámpara, se produce una descarga eléctrica entre ellos; los electrones procedentes de los cátodos invaden el espacio interelectródico, chocando con los átomos de mercurio, que existen en dicho espacio. A consecuencia de estos choques una parte de los átomos se ioniza, aumentando así la corriente de descarga; pero la mayor parte de los átomos de mercurio se excitan. La baja presión que existe en el interior del tubo, es la causa de que en la excitación de los átomos de mercurio se emitan, casi exclusivamente, radiaciones ultravioletas cuya longitud de onda es de 253.7 nm.

Estas radiaciones excitan a su vez las materias fluorescentes depositadas en las paredes del tubo que, según la ley de Stokes¹, emitirán radiaciones de mayor longitud de onda que las radiaciones ultravioletas incidentes; o, dicho de otra forma, emitirán radiaciones visibles. Sin embargo, la descarga en el interior de la lámpara no es absolutamente invisible pues aun con bajas presiones, el mercurio emite cierta cantidad de radiaciones visibles.

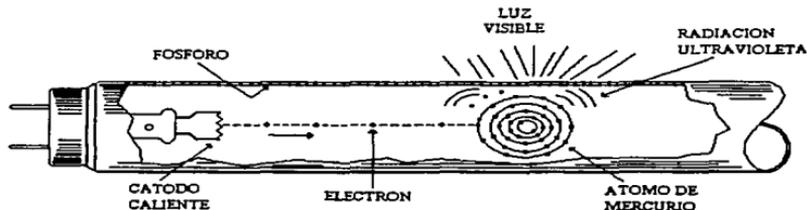


Fig. 2.8 Forma en que se produce la luz en una lámpara fluorescente.

En la figura 2.9 se ilustran los componentes básicos de una lámpara típica fluorescente de *cátodo caliente*. Si bien existen muchos tamaños y diversas formas de lámparas fluorescentes, los tipos que más se usan tienen un bulbo tubular con un electrodo y una base en cada extremo. Adicional al mercurio, el bulbo contiene una pequeña cantidad de gas argón o de una mezcla de gases inertes y lleva un revestimiento de fósforo.

2.2.2 Elementos Productores de Luz

La lámpara fluorescente requiere de tres elementos o componentes para producir luz visible:

- 1) Electrodos,
- 2) Gas, y
- 3) Fósforo.

¹ Las radiaciones emitidas por un cuerpo fotoluminiscente son de mayor longitud de onda que las radiaciones de excitación.

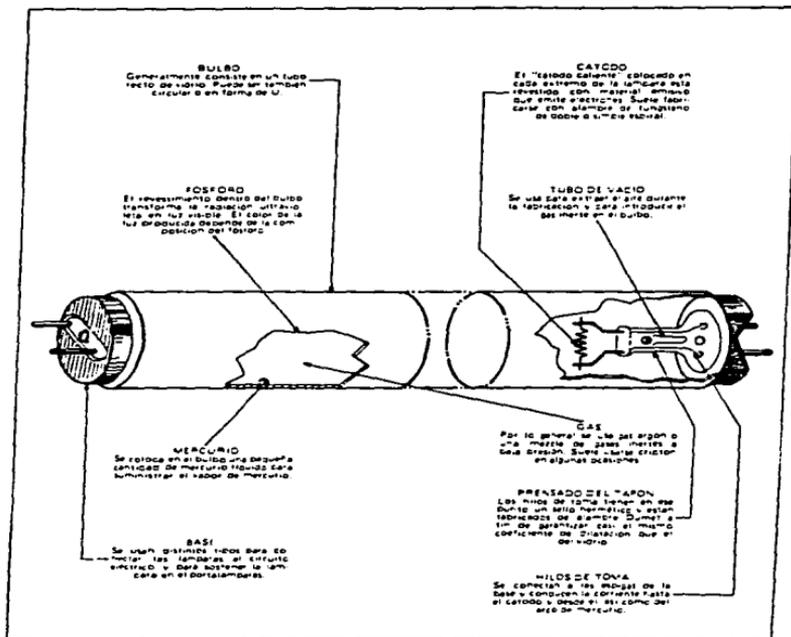


Fig. 2.9 Elementos básicos de una lámpara fluorescente típica de cátodo caliente.

Electrodos (Cátodos).

El electrodo que va en cada uno de los extremos de las lámparas fluorescentes consiste generalmente en un alambre de tungsteno de doble o de triple enrollamiento espiral con revestimiento. Dicho revestimiento, por ser de un material emisor (bario, estroncio, óxido de calcio), emite electrones cuando se calienta a una temperatura de operación alrededor de 950 °C. A esa temperatura, los electrones se desprenden libremente con sólo una pequeña pérdida de potencia en cada uno de los cátodos. Este proceso se denomina "emisión termoiónica", ya que el calor es más responsable por la emisión de electrones que el voltaje. A un electrodo de ese tipo se le llama "cátodo caliente" (suele denominarse también "cátodo incandescente"). Este tipo de cátodos reduce el voltaje de arranque necesario para establecer el arco.

Gases.

Una pequeña cantidad de gotas de mercurio se coloca en el interior del tubo fluorescente. Durante la operación de la lámpara, el mercurio se vaporiza a una presión muy baja. A ésta baja presión, la corriente fluyendo a través del vapor provoca que el vapor radie energía, principalmente a una sola longitud de onda en la región ultravioleta (253.7 nm) del espectro. La presión del mercurio es regulada durante la operación, por la temperatura de la pared del bulbo.

La lámpara también contiene una pequeña cantidad de un gas raro altamente purificado. Los más comunes son el argón y el argón-neón, pero algunas veces también se utiliza el kriptón. El gas se ioniza rápidamente cuando se aplica un voltaje suficiente a la lámpara. El gas ionizado decrece rápidamente su resistecnia, permitiendo que la corriente fluya y el mercurio se vaporize.

Fósforo.

Este es el recubrimiento químico en la pared interior del bulbo. Cuando el fósforo es excitado por radiación ultravioleta a 253.7 nanómetros, éste produce luz visible por fosforescencia, es decir, la luz visible de una lámpara fluorescente es producida por la acción de la energía ultravioleta en el recubrimiento de fósforo dentro del bulbo.

Mediante la combinación en proporciones variantes de distintos fósforos, es posible producir una amplia variedad de colores. Los colores disponibles en la actualidad incluyen varias tonalidades de blanco (Blanco Normal, Luz de Día, Blanco Cálido, Blanco Cálido de Lujo, Blanco Frio, Blanco Frio de Lujo), así como de azul, verde, dorado, rosa y rojo.

En la tabla 2.1 se presenta una lista de los fósforos típicos utilizados en las lámparas fluorescentes y el color producido por los mismos.

Fósforo	Color de Fluorescencia
Silicato de Zinc	Verde
Tungstenato de Calcio	Azul
Borato de Cadmio	Rosa
Halofosfato de Calcio	Blancos de diferentes temperaturas de color
Tungstenato de Magnesio	Blanco Amilado

Tabla 2.1

2.2.3 Bulbos

El bulbo es el envoltorio de vidrio que contiene los gases y proporciona una superficie a la cual puede aplicarse el fósforo.

La forma y tamaño del bulbo de una lámpara fluorescente (figura 2.10) se expresa mediante una clave que consiste en la letra "T" (designando la forma tubular del bulbo), la cual va seguida de un número que expresa el diámetro del bulbo en octavos de pulgada. El diámetro puede variar desde T-5 (5/8") a T-17 (2-1/8").

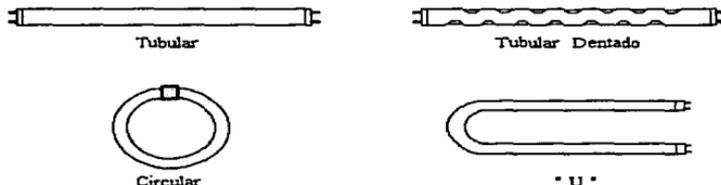


Fig. 2.10 Formas de Tubos Fluorescentes.

2.2.4 Conexión Eléctrica

La base proporciona la conexión eléctrica entre la lámpara y el soquet, y sirve como soporte y alineamiento de la lámpara. Hay tres tipos de bases asociadas a las lámparas fluorescentes (figura 2.11):

1. Doble Alfiler (miniatura, media, mogul): Se usa en todas las de precalentamiento y en la mayoría de las lámparas de arranque rápido.
2. Doble Contacto Embutido: Se usa en las lámparas de alta emisión y *Power Groove*. Su propósito es proteger a los usuarios del alto voltaje en los contactos.
3. Contacto Sencillo: Usado en lámparas de arranque instantáneo.



Fig. 2.11 Bases para lámparas fluorescentes.

2.2.5 Características de Funcionamiento

Vida de la Lámpara.

En comparación con la lámpara incandescente, la lámpara fluorescente tiene una larga vida promedio, pero la forma de la curva de caducidad es muy parecida. Debido a las ligeras variaciones en la construcción de las lámparas y de los materiales empleados, sería imposible lograr que la lámpara funcionara por el tiempo exacto para el cual fue diseñada. Por tal razón, las horas de vida normales de las lámparas se toman en base al promedio de duración de un grupo considerable de lámparas funcionando en condiciones controladas de laboratorio.

Las horas de vida promedio se calculan en base al punto en el cual aproximadamente el 50 % de las lámparas quedan fuera de operación y el 50 % restante sigue operando.

En virtud de que las cifras publicadas sobre la vida promedio nominal de las lámparas se basan generalmente en un ciclo de encendido de tres horas, los cálculos tienen que reflejar los efectos tanto de los periodos de encendido como de arranque. Por lo tanto, cualquier cambio en las horas de encendido por ciclo se reflejarán en las horas de vida en servicio. Los ciclos de encendido más cortos (arranques más frecuentes) reducen las horas de vida, mientras los ciclos de encendido mayores (arranques menos frecuentes) las aumentan.

A pesar de la complejidad de los factores que influyen en la duración de funcionamiento de las lámparas fluorescentes, podemos decir que éstas tienen una duración media de 10,000 a 12,000 horas, suponiendo un tiempo de funcionamiento de tres horas cada vez que se procede a encender la lámpara; si el tiempo de funcionamiento es de 6 horas, la duración de las lámparas se aumenta en un 25 % y si el tiempo de funcionamiento es de 12 horas por cada operación de encendido, el aumento de la duración es de un 50 %.

El fin normal de la vida de una lámpara fluorescente se alcanza cuando en uno de los electrodos queda una cantidad tan pequeña de material emisor de electrones que es insuficiente para la iniciación del arco. Una parte del material emisor se consume de forma continua mientras funciona la lámpara, y otra cantidad se arranca por el impacto del arco cada vez que la lámpara se enciende.

Depreciación de la Lámpara.

El flujo luminoso de una lámpara fluorescente decrece lentamente durante el curso de la vida de la lámpara. Este decrecimiento no es uniforme, como puede apreciarse en la figura 2.12, sino que es menor cuantas más horas de funcionamiento tenga la lámpara.

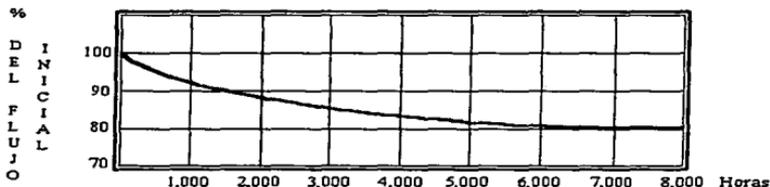


Fig. 2.12 Variación del flujo luminoso de una lámpara fluorescente en función del tiempo.

Como el porcentaje de decrecimiento es relativamente más elevado al principio (del orden de 5 % en las 100 primeras horas), se considera como flujo luminoso inicial, el flujo a las 100 horas de funcionamiento.

La variación del flujo luminoso está ligada al paulatino agrisamiento del depósito de sustancia fluorescente, debido a la acción del mercurio y a una alteración de esta sustancia fluorescente causada por la radiación ultravioleta de la descarga.

Efectos de la Tensión.

La tensión de alimentación de una lámpara fluorescente debe mantenerse dentro de los márgenes de funcionamiento normal del *balastro*. Una tensión baja, lo mismo que una alta, reduce la eficacia y acorta la vida de la lámpara.

La baja tensión puede crear dificultades en el encendido. El encendido lento o retrasado da como resultado una pérdida más rápida del material emisor y, por tanto, un acortamiento de la vida de la lámpara.

Si por efecto de las fluctuaciones en la tensión de alimentación, ésta se hace mayor que la nominal de la lámpara, hay peligro de calentamiento excesivo en el aparato de alimentación, que puede llegar a sobrecalentar también la lámpara, incluso hasta su destrucción.

La influencia de las fluctuaciones de la tensión de alimentación sobre la tensión de encendido es decisiva, ya que, como se sabe, el encendido no se produce más que en el caso en que la tensión aplicada a la lámpara sea suficiente. Los usuales aparatos de alimentación o balastos están previstos para asegurar el encendido en las condiciones normales de funcionamiento del 7 % al 10 %; algunos aparatos pueden asegurar una variación mayor.

Efecto Estroboscópico.

En todas las fuentes de luz que funcionan con corriente alterna, es característica una variación de la emisión luminosa con la variación cíclica de la corriente. El filamento de una lámpara incandescente retiene bastante calor, por lo que no se percibe la disminución de emisión luminosa al pasar por el punto cero la intensidad de corriente. En las fluorescentes, el arco se extingue completamente dos veces durante cada ciclo y la permanencia de la luz depende de las cualidades fosforescentes del revestimiento. Esta característica de los fósforos varía de un modo considerable de unos a otros.

Las rápidas fluctuaciones de las fuentes luminosas pueden originar el *efecto estroboscópico*, es decir, la tendencia a ver los objetos que se mueven en instantáneas repetidas en posiciones sucesivas.

El efecto estroboscópico queda atenuado hasta hacerse insensible, alimentando las diferentes lámparas de una instalación entre las diferentes fases de la red de distribución o por medio de *balastros del tipo adelanto-retraso* que reducen dicho efecto, debido a que las dos lámparas funcionan defasadas entre sí y alcanzan por ello su máxima emisión luminosa en instantes diferentes.

Efectos de la Temperatura.

La temperatura es un factor importante en el funcionamiento de las lámparas fluorescentes. La temperatura de la pared del bulbo tiene una importancia fundamental en la cantidad de radiación ultravioleta generada por el arco; de ahí que la emisión luminosa se vea significativamente afectada por la temperatura y el movimiento del aire que circunda la lámpara.

En la figura 2.13 se indican los valores del flujo luminoso producido en función de la temperatura en la pared más fría de la lámpara suponiendo una intensidad constante. Nótese que el valor máximo del flujo luminoso emitido corresponde a una temperatura de 30 °C a 40 °C; a menores temperaturas, una parte del mercurio se condensa y disminuye, por lo tanto, la producción de radiaciones ultravioletas. A mayores temperaturas la presión del vapor de mercurio aumenta y parte de las radiaciones de 253.7 nm cambian a mayores longitudes de onda, reduciendo así el rendimiento.

Por lo tanto, se ha de procurar que la temperatura de la pared más fría de la lámpara esté comprendida entre 30 °C y 40 °C, lo que supone una gran superficie de irradiación; ésta es una de las razones por las que la lámpara fluorescente ha de tener grandes dimensiones.

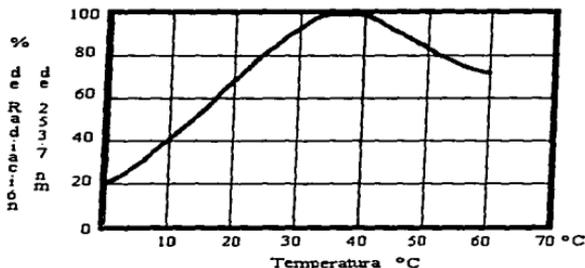


Fig. 2.13 Influencia de la temperatura de la pared de una lámpara fluorescente sobre la producción de radiación ultravioleta de 253.7 nm.

Distribución de Energía.

Del total de energía de entrada a una lámpara fluorescente, aproximadamente el 22 % se convierte en luz visible. La distribución de la energía total absorbida por una lámpara fluorescente se muestra en la figura 2.14.

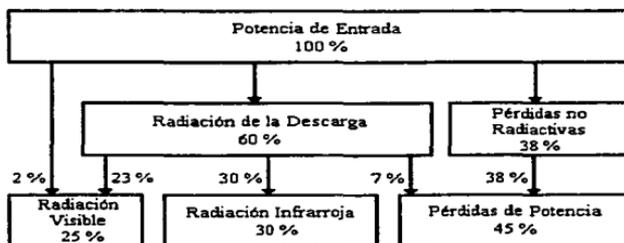


Fig. 2.14 Balance Energético de una Lámpara Fluorescente

2.2.6 Tipos de Lámparas Fluorescentes

Por la forma de encendido y por el tipo de los cátodos empleados, las lámparas fluorescentes pueden clasificarse en:

- Lámparas Fluorescentes de Arranque por Pre calentamiento de los Electrodo.*
- Lámparas Fluorescentes de Encendido Instantáneo (Lámparas Slimline).*
- Lámparas Fluorescentes de Encendido Rápido.*
- Lámparas Fluorescentes Compactas.*

Lámparas del Tipo Pre calentamiento.

Las primeras lámparas fluorescentes que fueron desarrolladas son del tipo pre calentamiento y funcionan con arrancadores separados. El arrancador suministra durante varios segundos un flujo de corriente a través de los cátodos para precalentarlos y entonces automáticamente interrumpe la corriente en los electrodos, causando que el voltaje aplicado entre ellos establezca el arco. Este período es el tiempo que transcurre desde el encendido de la lámpara hasta que ésta emite luz. Los cátodos se precalientan para emitir electrones que ayuden a producir el arco a un voltaje más bajo.

Todas las lámparas de pre calentamiento tienen bases con doble espiga. La abreviatura para ordenar las lámparas identifica el tipo mediante la potencia, el diámetro del bulbo (en octavos de pulgada) y el color. Por ejemplo, la lámpara F20T12/CWX es de 20 watts, 1-1/2" de diámetro del tipo blanco frio de lujo.

Lámparas de Encendido Instantáneo.

Las lámparas de encendido instantáneo, también conocidas como lámparas Slimline, hicieron su aparición con el propósito principal de eliminar el arranque lento que se venía experimentando con las lámparas del tipo pre calentamiento. Las lámparas Slimline trabajan sin necesidad de arrancadores ya que el *balastro* suministra un voltaje lo suficientemente alto como para producir el arco en forma instantánea, simplificando así el sistema de alumbrado y el mantenimiento correctivo. El arco calienta rápidamente el filamento de los electrodos, lo cual hace que se emitan electrones para sostenerse. Dado que los cátodos de las lámparas Slimline no necesitan calentamiento previo, se requieren bases con una sola espiga a cada extremo de la lámpara.

Las ventajas más importantes de las lámparas de encendido instantáneo sobre las lámparas fluorescentes normales son:

- a) No necesitan cebador para el encendido.
- b) El encendido es prácticamente instantáneo.
- c) Se precisan menos conductores para el cableado, ya que basta con llevar un conductor a cada electrodo.

El inconveniente más acusado de estas lámparas es que su duración es menor, debido a los arranques en frio a tensión elevada.

Las lámparas de arranque instantáneo se identifican mediante la nomenclatura F48T12/D/IS que corresponde a una lámpara fluorescente Slimline, de 48" de longitud, 39 watts, de 1-1/2" de diámetro, luz de día y con base de doble espiga.

Lámparas de Encendido Rápido.

Las lámparas de encendido rápido arrancan con suavidad y rapidez sin necesidad de arracadores. En este tipo de lámparas los electrodos también se precalientan para iniciar el arco, siendo precisos dos contactos en cada extremo para el circuito de caldeo. En realidad, arrancan tan rápidamente como lo hacen las del tipo Slimline, y por lo tanto, en un periodo de tiempo mucho más corto que las lámparas de precalentamiento, usando balastos más eficientes y más pequeños que los balastos de arranque instantáneo. Dependen del calentamiento del cátodo, suministrado por los devanados de calentamiento en el balastro, para reducir el voltaje de arranque necesario por debajo del exigido por las lámparas Slimline del mismo tamaño.

La lámpara de encendido rápido es la más común y es adecuada para la mayoría de las aplicaciones. Debido a la popularidad de la lámpara de 40 watts con bulbo T-12, la abreviatura que se utiliza para ordenarla se simplifica omitiendo el tamaño del bulbo. Por ejemplo, la descripción F40N significa que se trata de una lámpara de 40 watts, de 1-1/2" de diámetro, tipo arranque rápido con acabado natural.

Las *lámparas de alta emisión y de arranque rápido* para uso en interiores, generalmente funcionan a 800 mA, con una carga de 14 watts por pie aproximadamente. A 800 mA, las lámparas suministran aproximadamente 45 % más de lúmenes que las del tipo Slimline de tamaño comparable. Para emplearlas a la intemperie, es decir, para el alumbrado de calles o reflectores, las lámparas de alta emisión casi siempre trabajan a 1,000 mA, para suministrar una alta emisión luminica a temperaturas más frías.

Las abreviaturas para ordenarlas indican la longitud de la lámpara, el diámetro del bulbo y el color, pero llevan el sufijo "HO" (que significa "high output", o sea alta emisión), por ejemplo: F60T12/DSGN/HO se usa para la de 60 pulgadas, 1-1/2" de diámetro, diseño blanco, de alta emisión.

Las *lámparas de muy alta emisión y arranque rápido* (VHO) trabajan a 1,500 mA y aproximadamente a 25 watts por pie de longitud del tubo, además producen el 250 % más de luz que las normales de análogo tamaño. Cuando la corriente de las lámparas fluorescentes excede del nivel de 1 Amper, los watts por pie de las lámparas se vuelven muy elevados como para crear un problema de calentamiento que requiere mucho ingenio en el diseño para su debido control. El calor resultante de 1,500 mA en un bulbo T-12, si se deja sin control, puede hacer que la temperatura del vapor de mercurio se incremente demasiado dando como resultado un aumento de presión la cual reduciría la eficacia de la lámpara. El funcionamiento absorbiendo potencias tan altas en bulbos T-12 es posible gracias a dos peculiaridades del diseño; la existencia de una cámara de enfriamiento a cada lado de la lámpara detrás del electrodo, con lo que se impide que la presión del vapor de mercurio suba demasiado para una producción eficaz de luz, y el uso de una mezcla de gases raros que confiere una larga vida a los electrodos y un buen mantenimiento de la emisión luminosa.

Todas las lámparas de muy alta emisión tienen bases embutidas, de doble contacto. Varían en potencia desde 110 hasta 215 watts y en longitud desde 48" hasta 96". Las abreviaturas son iguales a las de las lámparas de alta emisión, con excepción del sufijo VHO en lugar del HO.

Lámparas Fluorescentes Compactas.

Las lámparas fluorescentes compactas están diseñadas para ser usadas como un sustituto duradero y eficiente de las lámparas incandescentes. Por ejemplo, una lámpara fluorescente compacta de 13 watts (alrededor de 17 watts con el balastro) suministra aproximadamente la misma iluminación que una lámpara incandescente de 60 watts y con una vida nominal 10 veces mayor. Las características principales de estas lámparas son:

- Hasta 75% menos de consumo de energía comparado con lámparas incandescentes.
- Luz cálida y confortable, similar a la incandescente.
- Gran eficacia luminosa, de hasta 69 lúmenes por watt.
- Larga vida, dura hasta 10 veces más que las lámparas incandescentes.
- Excelente rendimiento de color.

2.2.7 Circuitos de las Lámparas Fluorescentes

Las lámparas fluorescentes en común con todas las de descarga, deben trabajar con la ayuda de un accesorio denominado *balastro* cuya función es limitar la corriente y a la vez suministrar el voltaje de arranque necesario. A medida que la corriente en el arco aumenta, la resistencia del mismo disminuye. Es debido a esto que se justifica la existencia de los balastos, que son dispositivos que sirven primordialmente para mantener la corriente eléctrica a través de la lámpara, en un rango de valores, que permiten a la lámpara operar satisfactoriamente y sobre todo protegerla de la destrucción.

Balastos.

El balastro " es un dispositivo que, por medio de inductancias, capacitancias, o resistencias, solas o en combinación, limita la corriente de las lámparas fluorescentes al valor requerido para su operación correcta y también, cuando es necesario, suministra la tensión y corriente de arranque, y en el caso de balastos para lámparas de arranque rápido, suministra la tensión para el calentamiento de los cátodos ". El balastro más práctico y más ampliamente utilizado es el que está compuesto por una inductancia (figura 2.15), éste es sin duda el más satisfactorio y el más económico, y en la actualidad casi todos los balastos están formados por inductancias, o combinaciones de éstas con capacitancias.

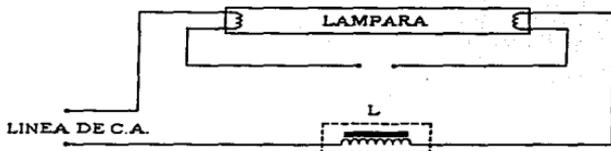


Fig. 2.15

El Autotransformador de Alta Reactancia de Dispersión.

El circuito mostrado anteriormente, funciona en redes de alimentación cuyo voltaje es mayor que el voltaje mínimo de encendido de la lámpara, sin embargo cuando éste último es superior al de la línea, se necesitaría, además de la inductancia serie, un transformador o autotransformador que elevara la tensión hasta un valor suficiente para encender la lámpara. Esta combinación es completamente satisfactoria eléctricamente, aunque excesivamente costosa. Probablemente el avance técnico más significativo en el campo de la fabricación de balastos para lámparas fluorescentes y en general para lámparas de descarga eléctrica en gases, fue el desarrollo de los "balastos autotransformadores de alta reactancia de dispersión" que son los que se utilizan actualmente. Dicho de forma elemental, el balastro autotransformador de alta reactancia combina los elementos autotransformador y bobina de choque en un sólo núcleo, lo que disminuye el tamaño y costo, y aumenta la eficiencia del circuito. Este tipo de balastro se muestra esquemáticamente en la figura 2.16.

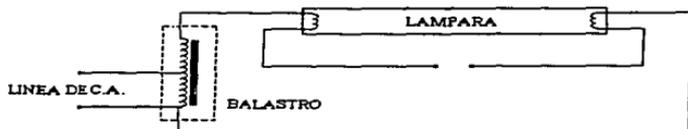


Fig. 2.16 Balastro Autotransformador de Alta Reactancia.

Todos los balastos producen un sonido inherente, descrito comúnmente como zumbido, el cual varía según el tipo de balastro que se use: desde un sonido imperceptible hasta un ruido perceptible. La mayoría de los fabricantes de balastos catalogan el sonido de éstos mediante las letras "A" hasta "F". Los de categoría "A" casi no tienen ningún zumbido y se usan en zonas silenciosas. El zumbido más fuerte lo producen los de clase "F", que se utilizan satisfactoriamente para el alumbrado de calles, fábricas, etc.

Los reactores de clase "P" están provistos de un protector térmico para cumplir con los requisitos establecidos por "Underwriters' Laboratories". Se trata de un dispositivo tipo reposición automática (termostático), cuya función es la de desconectar el balastro del circuito cuando la temperatura de la cubierta del mismo llega a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un lapso de tiempo bajo condiciones anormales. Ya enfriado el balastro, el protector de reposición se vuelve a cerrar y la lámpara se enciende de nuevo.

En resumen, para poder iniciar la descarga eléctrica en un tubo fluorescente, se necesitan dos condiciones:

1. Que exista entre sus extremos un voltaje igual o mayor que el mínimo necesario especificado por el fabricante de lámparas.
2. Que sus cátodos tengan al momento de arranque disponibles electrones libres.

Esta segunda condición se puede lograr de tres formas diferentes y da lugar a la división de las lámparas y de los balastos en tres tipos de circuitos de encendido:

- a) Circuitos de Encendido Precalentado.
- b) Circuitos de Encendido Instantáneo.
- c) Circuitos de Encendido Rápido.

Circuitos de Precalentamiento.

En la figura 2.17 se ilustra un circuito simple del tipo precalentamiento. El encendido de la lámpara se realiza de la siguiente manera:

Cuando se aplica la tensión de la red por medio del interruptor A, se cierra el interruptor de encendido B. Al cerrar éste interruptor, los filamentos de la lámpara quedan conectados en serie con el balastro, y el circuito es atravesado por una corriente I que calienta los filamentos hasta una temperatura lo suficientemente elevada para hacerlos emisivos, por lo tanto, comienza una descarga oscura en el interior de la lámpara. Ahora se abre bruscamente el interruptor B y se produce una sobretensión de autoinducción en la reactancia que, junto con la tensión de la red, aparece entre los electrodos de la lámpara; esta sobretensión, superior a la tensión de encendido, es suficiente para iniciar la descarga luminosa.

Una vez producida la descarga, los electrodos permanecen calientes debido al calor producido por el arco, y la descarga es autosostenida hasta que se interrumpe el circuito exterior, por medio del interruptor A.

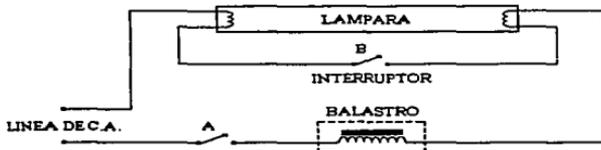


Fig. 2.17 Circuito Simple de Precalentamiento.

Generalmente el interruptor B es automático y se denomina arrancador o cebador. La función principal de un cebador es la de cerrar el circuito de encendido de una lámpara de precalentamiento mientras el cátodo se calienta y después la de abrir el circuito para hacer arrancar la lámpara. Si el arco no se forma, el arrancador continúa en su intento hasta hacer encender la lámpara. El *cebador térmico* es el más utilizado, consta de dos láminas bimetalicas que inicialmente están en contacto y de una pequeña espiral de caldeo situada muy próxima a las láminas. Algunas veces, en lugar de dos láminas metálicas, se monta una sola de ellas que hace contacto con un electrodo fijo de carbón. El conjunto se encierra en una ampolla de vidrio; cada bilamina tiene su conductor de salida, y, además, la espiral de caldeo tiene dos conductores más. Generalmente, se monta también un condensador para evitar las interferencias radioeléctricas.

En la figura 2.17, utilizando el cebador térmico y al cerrar el interruptor A, como las láminas bimetalicas del cebador están en contacto, hay paso de corriente por los electrodos de la lámpara, que se calientan y se vuelven emisivos; al mismo tiempo también hay paso de corriente por la espiral de caldeo del cebador, que calienta las láminas bimetalicas, las deforma y finalmente las obliga a separarse. En este momento, hay ruptura del circuito, con aparición de la sobretensión de autoinducción y el consiguiente encendido de la lámpara. Como la espiral de caldeo permanece en circuito, y, por lo tanto, caliente, la corriente que atraviesa es suficiente para mantener separadas las láminas bimetalicas del cebador mientras la lámpara esta en funcionamiento.

En la instalación de lámparas fluorescentes es muy común utilizar equipos de alumbrado provistos de dos lámparas; en estos casos, se montarán también dos aparatos de alimentación.

Los balastos para dos lámparas de precalentamiento son del tipo adelanto-atraso, en el que cada lámpara tiene una bobina de reactancia independiente, con un condensador conectado en serie a una de dichas bobinas, para producir una corriente adelantada en una de las lámparas. Tales reactancias tienen la ventaja de proporcionar un alto factor de potencia (entre 0.9 y 1) y reducir el efecto estroboscópico.

Este tipo de balastos requieren de un compensador inductivo (denominado también compensador de arranque) que suministra la corriente de precalentamiento adecuada a la lámpara adelantada. El compensador de arranque no es más que una reactancia cuya inductancia compensa el efecto de la capacidad del condensador. Como esta compensación solamente debe producirse en el momento del arranque, el compensador está conectado en serie con el cebador; de esta manera, cuando la lámpara se ha encendido el compensador queda fuera de circuito y ya no contrarresta la acción del condensador.

En la figura 2.18 se ha representado el esquema de conexiones de un circuito de lámparas dobles, con reactancias de arranque y compensador de arranque montado formando cuerpo con las reactancias de arranque. En la figura 2.19 se representa el esquema de conexiones de un circuito parecido al de la figura 2.18, pero con autotransformador de arranque, por suponer que la tensión de encendido de las lámparas es superior a la tensión de la línea.

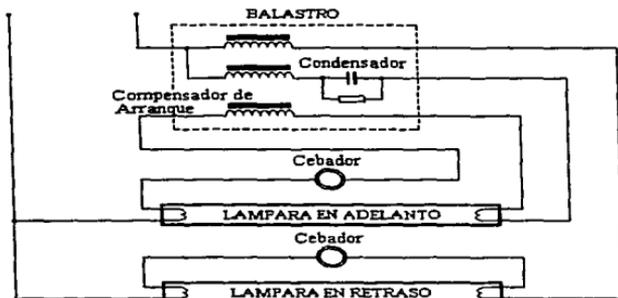


Fig. 2.18 Circuito de precalentamiento de dos lámparas fluorescentes con balastro de reactancia inductiva.

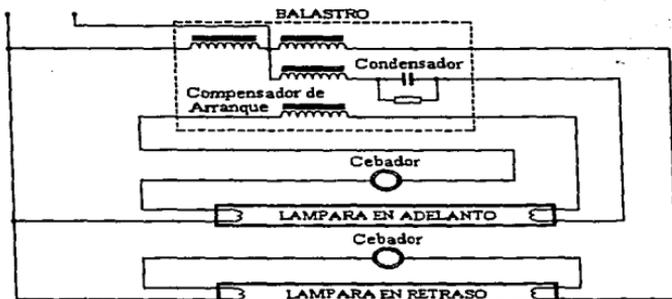


Fig. 2.19 Circuito de precalentamiento de dos lámparas fluorescentes con balastro de autotransformador.

Circuitos de Encendido Instantáneo.

Las lámparas de encendido instantáneo encienden directamente por la aplicación de una tensión suficientemente alta para que salte el arco sin ningún precalentamiento previo de los electrodos. Como no hay circuito de precalentamiento, las lámparas de encendido instantáneo necesitan solamente un contacto eléctrico en cada extremo.

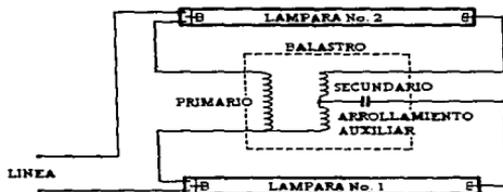


Fig. 2.20 Circuito secuencial para dos lámparas de encendido instantáneo.

Los balastos de encendido instantáneo de dos lámparas pueden ser del tipo *adelanto-retraso* o de *secuencia-serie*. Con los del tipo *secuencia-serie*, la primera lámpara enciende por la tensión suministrada por el arrollamiento auxiliar. La corriente que resulta pasa a través del condensador, modificando la relación de fase entre los arrollamientos auxiliares y secundario, de tal manera que se sumen las dos tensiones. La tensión resultante es suficiente para hacer encender la segunda lámpara (figura 2.20).

Con las lámparas de arranque instantáneo se usa un circuito de seguridad. Para evitar el peligro de un choque eléctrico, la espiga de la base actúa como si fuera un interruptor para desconectar el circuito del balastro al quitar la lámpara, como se muestra en la figura 2.21.

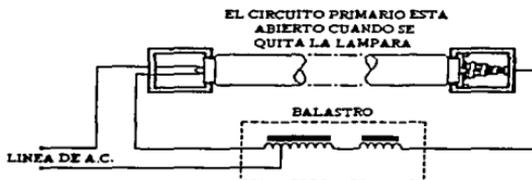


Fig. 2.21 Lámpara de encendido instantáneo, portalámparas y circuito.

Circuitos de Encendido Rápido.

Un circuito de encendido rápido difiere de uno de precalentamiento en que su tensión de calentamiento la suministra un devanado especial del balastro y no hay ningún interruptor para abrir el circuito cuando salte el arco. Una pequeña corriente de calentamiento fluye a través de los electrodos continuamente mientras la lámpara permanece encendida. Además, el encendido es más rápido que en las lámparas de precalentamiento, y se realiza en menos de un segundo en condiciones normales.

Los balastos dobles de encendido rápido son del tipo *secuencia-serie*, en el cual las lámparas arrancan sucesivamente y funcionan en serie cuando alcanzan el régimen (fig. 2.22).

Tan pronto como la corriente de calentamiento establece una ionización suficiente para que la tensión disponible de circuito abierto haga saltar el arco, se produce el encendido en tres etapas:

1. Se aplica la tensión total de circuito abierto a la primera lámpara, iniciándose el arco en ésta.
2. La corriente que circula por la primera lámpara está limitada por una impedancia en paralelo con la otra lámpara. La tensión en bornes de esta impedancia en paralelo inicia el arco en la segunda lámpara.
3. Las dos lámparas se alimentan en serie con corrientes cada vez mayores a medida que la impedancia de la lámpara decrece, hasta llegar al funcionamiento estable de cátodo caliente a la intensidad nominal.

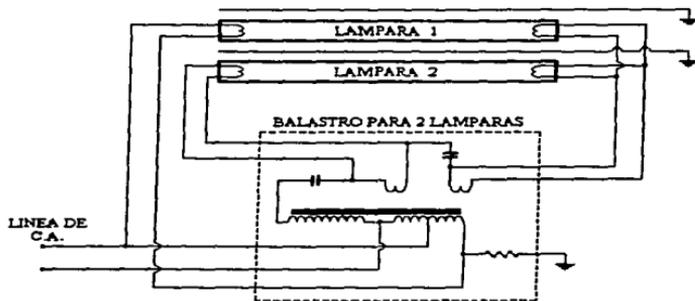


Fig. 2.22 Circuito típico de arranque rápido de un balastro de secuencia serie para dos lámparas fluorescentes.

Para garantizar el arranque seguro, es importante que las lámparas que trabajan con balastros de encendido rápido se monten a una distancia de una pulgada de un elemento metálico eléctricamente conectado a tierra a lo largo de la lámpara en el caso de alta emisión (HO) y muy alta emisión (VHO) y a media pulgada para las lámparas por debajo de 500 mA. En la mayoría de los casos, el reflector o el canal de alambreado sirve para este propósito.

2.3 LUMINARIAS

Una luminaria es una unidad completa de iluminación que incluye la lámpara, los receptáculos y el equipo para controlar la luz. Su propósito fundamental es el control de la luz y consiste en dirigir ésta en las direcciones precisas y reduciéndola en aquellas que puedan provocar deslumbramiento molesto, ayudándose de sus diferentes accesorios tales como reflectores (esmaltados o tipo espejo), rejillas, paneles prismáticos o cubiertas difusoras. Por lo tanto, una luminaria debe satisfacer los siguientes puntos:

1. Distribuir el flujo luminoso emitido por la o las lámparas para obtener resultados óptimos.
2. Controlar el flujo luminoso de tal forma que la brillantez sea mínima, y con esto obtener un máximo confort visual.
3. Tener propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas que la hagan adecuada para el propósito para el cual fue diseñada.
4. Que la o las lámparas, el sistema eléctrico y óptico queden protegidos contra la acción de los agentes externos que se encuentran en el medio ambiente que rodea a la luminaria y que puede afectar la eficiencia de la misma.
5. Resultar económica.

La selección del tipo más idóneo para cualquier aplicación particular depende en parte de las características físicas de la habitación, del tipo de trabajo a realizar y de las condiciones de mantenimiento que se desean conseguir.

2.3.1 Clasificación General

Las luminarias para la iluminación general de interiores han sido clasificadas por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo de la horizontal (figura 2.23) en:

Directa. Casi todo el flujo luminoso se dirige directamente a la superficie que ha de iluminar. Este tipo es el más eficiente desde el punto de vista de obtención de la máxima cantidad de luz producida por la fuente en el plano de trabajo. Sin embargo, esta eficiencia se consigue frecuentemente a expensas de factores de calidad tales como sombras y deslumbramientos directos o reflejados.

CLASIFICACION	% DE LUZ RESPECTO A LA HORIZONTAL		DISTRIBUCION DE POTENCIA LUMINICA
	ARRIBA	ABAJO	
DIRECTA	0 - 10 %	90 - 100 %	
SEMI-DIRECTA	10 - 40 %	60 - 90 %	
DIRECTA INDIRECTA	40 - 60 %	40 - 60 %	
GENERAL DIFUSA	40 - 60 %	40 - 60 %	
SEMI-INDIRECTA	60 - 90 %	10 - 40 %	
INDIRECTA	90 - 100 %	0 - 10 %	

Fig. 2.23 Clasificación de luminarias de acuerdo a su curva de distribución.

Semi-Directa. En este tipo de luminaria, la mayor parte del flujo luminoso se dirige directamente hacia la superficie que se trata de iluminar; una pequeña parte (de 10 a 40 %) se hace llegar a dicha superficie previa reflexión en techo y paredes. Las sombras no son tan oscuras como en el caso del sistema de iluminación directa y, además, se reduce considerablemente el peligro del deslumbramiento.

Directa-Indirecta. La luminaria directa-indirecta, debido a la poca emisión de luz en los ángulos cercanos a la horizontal, reduce la brillantez en la zona de brillo directo (60° a 90°). Este sistema es mejor que el *general difuso*, pues éste último distribuye la luz en todas direcciones careciendo de control de brillo.

General Difusa. Aproximadamente la mitad del flujo luminoso se dirige directamente hacia abajo; la otra mitad del flujo luminoso se dirige hacia el techo y llega, por tanto, a la otra superficie que ha de iluminar, después de reflejarse varias veces por techo y paredes.

Con este sistema de iluminación se consigue por completo la eliminación de sombras y, al hacer más extensa la superficie luminosa, se reduce aún más el peligro de deslumbramiento.

Semi-Indirecta. Una pequeña parte del flujo luminoso (del 10 al 40 %) se recibe directamente de la luminaria; el flujo luminoso restante se envía hacia el techo, donde se refleja para llegar finalmente a la superficie que ha de iluminar.

El rendimiento luminoso es bajo porque en las sucesivas reflexiones que sufre la luz antes de llegar a la superficie que se trata de iluminar, parte del flujo luminoso es absorbido por techo y paredes. Para conseguir resultados efectivos, las paredes y el techo han de estar pintadas con sustancia de elevado poder de reflexión, es decir, con pinturas de colores claros. Se consigue una iluminación de buena calidad, casi totalmente exenta de deslumbramiento y con sombras suaves, muy agradable a la vista del observador.

Indirecta. Todo o casi todo el flujo luminoso se dirige hacia el techo; el manantial luminoso queda completamente oculto a los ojos del observador y éste no percibe ninguna zona luminosa, solamente aprecia zonas iluminadas. Con más razón todavía que en el caso anterior, ya que ahora no hay flujo luminoso directo, las paredes y el techo del local que se ha de iluminar, han de estar pintados de color blanco, o, a lo menos, de color muy claro pues de lo contrario debido al poco rendimiento luminoso de estos sistemas de iluminación, habría de instalarse desmesurada potencia luminosa para conseguir niveles de iluminación medianamente aceptables.

2.3.2 Otras Clasificaciones

Las luminarias pueden clasificarse también de otras muchas formas, tales como:

De Acuerdo a la Aplicación.

Industriales.

- Montaje Alto.
- Montaje Bajo.

Para Oficinas, Escuelas y Comercios.

Residenciales.

Para Aplicaciones Especiales.

- A Prueba de Polvo.
- A Prueba de Vapor.
- A Prueba de Explosión.

Por el Tipo de Fuente Luminosa que Aloja

- Incandescente.
- Fluorescente.
- Descarga de Alta Intensidad.

Condiciones de Trabajo.

Esto es de acuerdo al grado de protección que ofrecen las luminarias contra la penetración de la humedad y el polvo.

Método de Montaje.

El método de instalación empleado es otra característica importante de la luminaria, pueden montarse con tres métodos básicos:

- Colgantes.
- De Superficie.
- Embutidas o Empotradas.

2.3.3 Eficiencia de las Luminarias

La eficiencia de una luminaria, o también llamado *Rendimiento Luminoso*, se define como la razón o cociente entre el flujo luminoso de una luminaria y la suma total del flujo luminoso de las lámparas funcionando fuera de la luminaria.

Las luminarias con reflectores pero sin apantallamiento tienen el rendimiento más elevado, y deberán ser las primeras en elegirse cuando la posibilidad de deslumbramiento no tenga mucha importancia. De las luminarias con apantallamiento, las de rejillas tienen en general las máximas eficiencias y las de difusores opalinos las mínimas. La eficiencia de las luminarias se expresa matemáticamente como:

$$\text{Porcentaje de Eficiencia} = \frac{\text{Lúmenes de Luminaria}}{\text{Lúmenes de Lámparas}}$$

2.4 CURVAS FOTOMETRICAS

En los cálculos de sistemas de iluminación se emplean muchas veces los datos obtenidos de representaciones gráficas, incluso en muchos casos el examen de una *curva de distribución luminosa* da una idea bastante aproximada del funcionamiento previsto de una lámpara o de un aparato de iluminación.

El conjunto de la intensidad luminosa de un manantial en todas las direcciones de la radiación constituye lo que se llama *distribución luminosa*. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa más o menos grande, cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente presentando valores diferentes en las distintas direcciones. Con aparatos especiales se puede determinar la intensidad luminosa de un manantial en todas direcciones del espacio con relación a un eje vertical. Si representamos por medio de vectores la intensidad luminosa de un manantial en infinitas direcciones del espacio, obtendríamos un cuerpo llamado *Sólido Fotométrico* (figura 2.24).

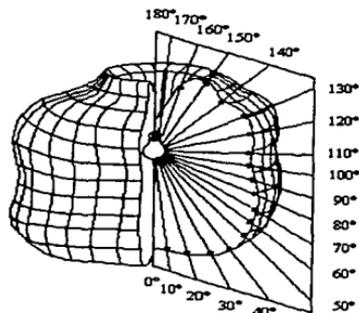


Fig. 2.24 Sólido Fotométrico de una Lámpara Incandescente.

Haciendo pasar un plano por el eje de simetría del cuerpo luminoso se obtendría una sección limitada por una curva que se denomina *Curva de Distribución Luminosa* o *Curva Fotométrica*.

La curva fotométrica de un manantial luminoso (ya sea la lámpara sola o el conjunto lámpara-luminario) es una gráfica representativa de la emisión de luz del mismo, por lo cual es un elemento indispensable en el diseño de cualquier sistema de alumbrado, es decir, la fuente luminosa, de acuerdo con este dato, debe ser aplicada de tal forma que llene las necesidades del proyecto, tales como nivel de iluminación, uniformidad sobre el plano de trabajo, altura de montaje, iluminación sobre superficies verticales, etc. Todas estas condiciones nos obligan a utilizar las curvas fotométricas.

Las curvas de distribución fotométrica se emplean para calcular los niveles de iluminación por la fórmula del inverso de los cuadrados, que da el nivel de iluminación en un punto particular; o para desarrollar los coeficientes de utilización para determinar el nivel de iluminación promedio sobre un área general.

Si la curva de distribución luminosa es simétrica, casi siempre, las firmas suministradoras de lámparas y aparatos de iluminación proporcionan media curva fotométrica, tal como se indica en la figura 2.25.

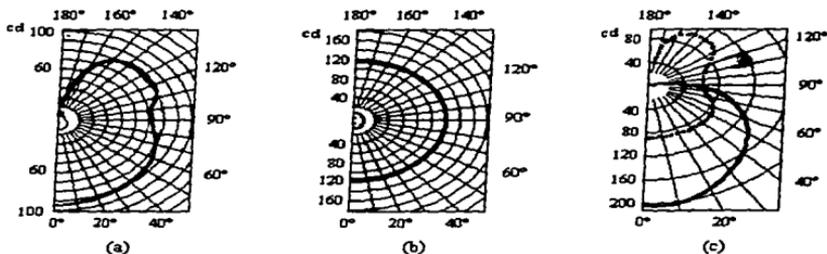


Fig. 2.25 Curvas Fotométricas Típicas de Lámparas Comunes:

- Lámpara Incandescente.
- Lámpara Fluorescente.
- Lámpara Incandescente con Luminario.

3

DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACION INTERIOR PARA HOSPITALES

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

3.1.1 Rendimiento o Eficacia Visual

Este término se utiliza tanto para describir la velocidad a que funciona la vista como la exactitud con que se realiza un esfuerzo visual.

El valor del rendimiento visual para la percepción de un objeto crece al aumentar la iluminación o la luminancia hasta un cierto nivel. Otros factores que influyen sobre el rendimiento visual son:

- El tamaño de la tarea visual y su distancia a los ojos (por ejemplo, el tamaño aparente).
- Los contrastes de color y luminancia.

3.1.2 Comodidad y Agradabilidad Visuales

La adecuada *cantidad de luz* por sí sola no asegura una buena iluminación. La buena calidad es tan importante como la cantidad, y normalmente más difícil de conseguir. Los factores que intervienen en la calidad de la iluminación son muchos y complejos, pero el *deslumbramiento*, las *relaciones de brillo*, la *difusión* y el *color* pueden considerarse como los más importantes.

La tarea visual «estándar» no existe. En la práctica, la mayoría de las tareas visuales son complejas y difieren de un tipo de trabajo a otro. Además de eso, las recomendaciones de alumbrado no se limitan a las áreas de trabajo en interiores; deben considerarse también las áreas de paso y de descanso, y en ellas no tienen aplicación los criterios de rendimiento visual.

Como resultado de las investigaciones sobre evaluaciones *subjetivas* de los niveles de luminancia e iluminación, se reconoce hoy día que el grado de satisfacción visual es una consideración adicional e importante para el diseño en todos los tipos de ambientación. En adición al sentido de bienestar creado por el alumbrado está la influencia que éste tiene sobre la apariencia del espacio que se considera, y esto se aplica incluso para el alumbrado cuya finalidad primordial es iluminar un área de trabajo.

3.1.3 Consideraciones Psicológicas

En la actualidad los diseños de los sistemas de alumbrado están basados frecuentemente sobre la idea de que la luz puede ser un vehículo que influye en la atención selectiva de las personas o que altera el contenido de información en el campo visual. En este sentido, los modelos de iluminación son reconocidos, convenientemente, como parte de un lenguaje visual que puede ayudar al proyectista del sistema a implementar ciertas sensaciones, como pueden ser "tristeza", "alegría", "agradabilidad", "tensión", etc. Similarmente el proyectista puede utilizar los modelos de luz para influir en sensaciones psico-sociales tales como "intimidad", "privacidad" y "entusiasmo". En otras palabras, la iluminación puede ser empleada en un sentido para implementar una atmósfera alegre y en otro para producir un ambiente tranquilo y sombrío para la meditación y el descanso. Con la iluminación, también se pueden resaltar las sensaciones de frescura y las sensaciones de calidez. Los efectos psicológicos más importantes que se pueden lograr por medio de los distintos modelos de iluminación, son los siguientes:

Sensación de Relajación.

Los efectos de relajación son un factor subjetivo importante para ser considerado en el diseño de la iluminación dentro de ciertos lugares de los hospitales, como pueden ser salas de encamados, salas de espera, cafeterías, salas de anestesia, consultorios, etc. Es una impresión visual subjetiva que se presenta y es reforzada por las siguientes influencias de la iluminación:

1. **Uniformidad.** Reforzada por iluminación no-uniforme.
2. **Distribución.** Reforzada específicamente por iluminación periférica no-uniforme.
3. **Color.** Algunos estudios indican que se incrementan estos efectos por medio de tonos cálidos de luz blanca.

Efectos de Claridad Perceptual.

Las sensaciones de claridad perceptual son un factor importante que debe ser considerado en el diseño de ciertos lugares de trabajo, donde la impresión de los usuarios de la claridad perceptual puede ser fundamental en el desempeño de las tareas visuales. Algunos de estos lugares son: consultorios, laboratorios, quirófanos y salas de emergencia. Esta sensación es reforzada por los siguientes efectos en la iluminación:

1. **Luminancia.** Reforzada por una luminancia superior en el plano de trabajo.
2. **Ubicación.** Incrementada por la luminancia en la parte central del cuarto.
3. **Color.** Tonos frescos de fuentes de luz de espectro continuo.
4. **Distribución.** Claridad en las paredes periféricas.

Sensación de Espaciosidad.

Las sensaciones de espaciosidad son un factor subjetivo que se considera en el diseño de lugares de reunión y circulación, como pueden ser corredores, vestíbulos, salas de juntas, etc. Esta impresión visual es reforzada por los siguientes efectos de la iluminación:

1. **Luminancia.** Reforzada por luminancias altas sobre el plano horizontal, pero no decisivamente.
2. **Distribución.** Iluminación periférica uniforme en las paredes.

Sensación de Privacidad.

Los efectos de privacidad se consideran en el diseño de áreas donde el conocimiento de un espacio personal es importante. Habitaciones y salas privadas son ejemplos de lugares donde las sensaciones de privacidad son importantes. Estas impresiones son reforzadas por las siguientes influencias en la iluminación:

1. **Luminancia.** Reforzada por niveles bajos de luz en la localidad inmediata del usuario con una brillantez superior alejada de él.
2. **Uniformidad.** Reforzada por un alumbrado no uniforme.
3. **Distribución.** Brillantez en las paredes periféricas, pero no decisivamente.

Impresión de Agradabilidad.

Estas sensaciones deben ser consideradas en el diseño de muchos tipos de locales, en donde la "atracción" visual del medio ambiente es importante. Se pueden incluir salas de recepción y de espera, salas de enfermeras, salas de servicios y farmacias. Estas impresiones son reforzadas por las siguientes influencias del alumbrado:

1. **Uniformidad.** Reforzadas por un alumbrado no-uniforme.
2. **Distribución.** Reforzadas por una brillantez periférica en las paredes.

Existen pocos ambientes visuales que no se benefician de las consideraciones cuidadosas de las influencias psicológicas del alumbrado. Los requisitos de diseño funcionales y estéticos de un medio ambiente, cuando son bien comprendidos, dictan qué impresiones subjetivas son más deseables. Por ejemplo, una sala de espera puede funcionar más efectivamente cuando las sensaciones de privacidad y relajación son reforzadas.

Aun cuando estas influencias no han sido hasta ahora completamente exploradas, existe un entendimiento básico de que la luz tiene la habilidad de reforzar, o incluso modificar, las impresiones visuales subjetivas de un local. Estos tipos de influencias deben ser considerados durante el proceso de diseño para que el medio ambiente resultante no solo proporcione visibilidad para la tarea sino también para las necesidades psicológicas y emocionales del usuario.

3.1.4 Consideraciones de Iluminación

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta en los sistemas de iluminación son: *Iluminación, Relación de Luminancias, Comfort Visual, Brillo Reflejado, Reflecciones por Velo, Color y Sombras.*

Iluminación.

Las consideraciones de iluminación dependen principalmente del trabajo que se va a realizar en el local en cuestión. El punto de partida de cualquier diseño de alumbrado será siempre, por consiguiente, el espacio en sí, sus detalles constructivos, su finalidad, el trabajo que debe realizarse en él y las tareas visuales implicadas.

Los requisitos para el alumbrado de los hospitales varían en las diferentes zonas del hospital y dependen además de la amplia gama de condiciones visuales necesarias para los diferentes usuarios: pacientes, personal técnico y médicos. En algunos casos prevalecen las necesidades de tipo médico; en otros un alumbrado cómodo para los pacientes es de mayor importancia.

En cualquier sistema de iluminación se debe considerar y comprender lo siguiente:

1. La Tarea Visual.
2. La Edad de los Observadores.
3. La Importancia de la Velocidad y/o Precisión para el Funcionamiento Visual.
4. La Reflectancia de la Tarea.

Estas características consideradas en conjunto determinan la cantidad apropiada de luz para la iluminación del trabajo realizado.

El Instituto Mexicano del Seguro Social basándose en la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), en la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación (SMII), en el Reglamento de Construcciones y en la Organización Mundial de la Salud (OMS), en sus Normas de Diseño presenta tablas con cantidades de luz y detalles específicos para todos los espacios de sus hospitales donde tiene actividades el hombre. Esta información se presenta más adelante y es considerada básica para el inicio del proyecto de iluminación.

El proyectista debe estar enterado (o en su caso asumir) del potencial de las tareas visuales que serán desempeñadas en el local. En las áreas de trabajo donde se involucren muchas tareas visuales, el proyectista, usualmente a través de la interacción clientes-ocupantes-proyectista, debe establecer la tarea de mayor importancia. Si todas o muchas de las tareas requieren una calidad de iluminación similar, entonces se puede diseñar el sistema de iluminación para satisfacer una tarea y por lo tanto satisfacer la mayoría de los requisitos de las demás. Si de cualquier modo, los trabajos varían considerablemente en los requisitos de iluminación, entonces se deben considerar sistemas de nivel múltiple, sistemas de control variable o una combinación de sistemas en orden, para acomodar un número de tareas de varios requisitos visuales en una manera en que se economice la energía.

Relación de Luminancias.

Las luminancias en el campo visual, las cuales rodean a un objeto o a una tarea, pueden tener diferentes efectos sobre la habilidad visual dependiendo de las áreas involucradas, su localización con respecto a la línea de visión y sus luminancias comparadas con las de la tarea. Estas luminancias pueden producir un decremento en la habilidad visual, en el confort visual, o en ambos. Por esta razón, las luminancias de varias superficies en el campo visual deben ser controladas y limitadas.

Cuando hay una gran diferencia de luminancias entre áreas (una relación de luminancias alta), por ejemplo, una gran diferencia entre la luminancia de la tarea desempeñada y la de una ventana brillante durante el día o una ventana oscura en la noche, puede existir pérdida momentánea de la habilidad para distinguir el trabajo desarrollado al observar desde la posición de trabajo la ventana y volver la mirada hacia la tarea. Esto es debido a la adaptación transitoria y a los cambios en la sensibilidad del ojo.

Confort Visual.

Se le llama Confort Visual al grado de satisfacción visual producido por el entorno luminoso.

La incomodidad visual puede ocurrir cuando luminancias excesivamente altas están dentro del campo visual, además de que pueden distraer y reducir la visibilidad. Cuando las luminancias y sus relaciones en el campo de visión causan incomodidad visual, pero no necesariamente interfieren con la visión, la sensación experimentada por un observador se denomina "deslumbramiento molesto". Usualmente es producido por el brillo directo de las fuentes de luz o luminarias, inadecuadamente resguardadas o de una gran área. El brillo molesto también puede ser causado por reflexiones molestas de áreas brillantes en superficies especulares (conocidas como brillo reflejado). Las últimas no deben ser confundidas con las *reflecciones por velo* las cuales empeoran el desempeño visual en vez de causar incomodidad.

El deslumbramiento molesto puede ser reducido por:

- Decremento en la luminancia del equipo de iluminación o de otras fuentes de brillo objetable, tales como ventanas y claraboyas.
- Disminución del área de luminancias incómodas, con niveles de luminancias constantes.
- Incrementando el ángulo entre la fuente de luz y la línea de visión.
- Incrementando la luminancia general en el cuarto (de acuerdo con la relación de luminancias recomendada).

La evaluación del confort visual esta basada sobre los siguientes factores, los cuales influncian los juicios subjetivos del confort visual:

- Tamaño y Forma del Local.
- Reflectancias de las Superficies del Local.
- Niveles de Iluminación.
- Tipos de Luminarias, Tamaño, Luminancia, Luminancia Máxima y Distribución.
- Número y Localización de las Luminarias.
- Luminancia del Campo Completo de Visión.
- Ubicación del Usuario y Línea de Visión.
- Diferencias en la Sensibilidad al Brillo Individuales.

Reflexión por Velo y Deslumbramiento Reflejado.

La luz de una fuente brillante reflejada en una superficie brillante o semi-mate hacia los ojos de un observador puede producir sensaciones que van desde la leve distracción hasta fuerte incomodidad. Si la reflexión ocurre en el área de la tarea visual se le conoce normalmente como «reflexión por velo», mientras que si sucede fuera de tal área se emplea el término más general de «deslumbramiento reflejado». Las reflexiones por velo, además de crear molestias, reducen los contrastes y dan como resultado pérdidas de detalles.

La reflexión por velo y el deslumbramiento reflejado pueden reducirse al mínimo:

- a) Diseñando el sistema de alumbrado o situando las áreas de trabajo de manera que ninguna parte de la tarea visual determine con los ojos y la fuente de luz un ángulo que coincida o se aproxime al de reflexión.
- b) Aumentando la cantidad de luz que llega lateralmente a la tarea visual en ángulos aproximadamente rectos con la dirección de la vista.
- c) Utilizando luminarias de mayor superficie y luminancia más baja.
- d) Usando, en lo posible, superficies de trabajo que tengan superficies mate a fin de reducir el efecto de reflexión.

Color.

La importancia del color en la Ingeniería de Iluminación, y particularmente en el diseño del alumbrado, no debe ser menospreciada. En la sección 1.4 del capítulo 1 se estudiaron los conceptos básicos de color, cromaticidad, rendimiento en color y el uso del color.

Frecuentemente se presenta una confusión entre dos características del color - cromaticidad y rendimiento en color - y especialmente en su uso. En términos simples, la cromaticidad se refiere a la apariencia en color de una fuente de luz, o su temperatura de color. El rendimiento en color se refiere a la habilidad de una fuente de luz, con su cromaticidad particular, para reproducir los distintos colores del objeto iluminado.

Sombras.

La dirección de la iluminación es especialmente importante cuando se observan objetos en las tres dimensiones. Las sombras pueden ayudar o impedir la visión de detalles. En el caso de superficies curvadas o labradas en facetas, las cuales están pulidas o semi-pulidas, la dirección de la iluminación es importante en el control de los rasgos. Algunas sombras contribuyen a la identificación de formas.

En resumen, una buena iluminación interior ha de cumplir 4 condiciones esenciales:

1. Suministrar una cantidad de luz suficiente.
2. Eliminar todas las causas de deslumbramiento.
3. Prever aparatos de alumbrado apropiados para cada caso particular.
4. Utilizar fuentes luminosas que aseguren, para cada caso, una satisfactoria distribución de los colores.

3.1.5 Consideraciones Físicas

Espaciamiento de las Luminarias.

En las situaciones para las cuales una iluminación relativamente uniforme es un criterio de funcionamiento importante, ciertas reglas pueden ser de gran ayuda al determinar el diagrama de distribución de luminarias. Para lograr una uniformidad aceptable, las luminarias no deben estar espaciadas demasiado apartadas de las paredes. Las limitaciones de espaciamiento entre luminarias están relacionadas con la distribución de la intensidad luminosa de las mismas, su ubicación dentro del local y con las reflectancias de las superficies del lugar. El factor principal para las luminarias directas, semi-directas y difusa general es la altura de montaje sobre el plano de trabajo; para las luminarias semi-indirectas e indirectas es la altura del techo sobre el plano de trabajo.

Frecuentemente se presenta el problema de seleccionar las luminarias que son candidatas potenciales para un diseño en particular, y los valores de *espaciamiento máximo*¹ así como la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias, son un parámetro para asistir en esta decisión, ya que la uniformidad de una iluminación horizontal decrece cuando el espaciamiento entre las luminarias se incrementa. Los valores de espaciamiento entre luminarias están expresados como una fracción o múltiplo de la altura de montaje de las luminarias sobre el plano de trabajo.

Alambrado para los Sistemas de Iluminación.

Cada sistema de iluminación eléctrica, a pesar de su tamaño, alcance, simplicidad o complejidad, debe estar bien diseñado y tener fácil acceso al sistema de alambrado eléctrico. Su tamaño y capacidad, sus características eléctricas (voltajes, frecuencia, fases, etc.), los alimentadores, los planos de circuitos derivados y los controles (dimmers e interruptores), todos deben ser específicamente seleccionados y diseñados para conformar, según los diagramas y el diseño, el sistema de iluminación.

El primer paso en el diseño del sistema de alambrado eléctrico es determinar la carga eléctrica total del sistema de iluminación. En proyectos grandes es factible descomponer la carga total del alumbrado en subcargas lógicas, para servir individualmente desde centros de carga separados. Estas subcargas pueden, además, ser nuevamente divididas en tableros de control individuales. En proyectos pequeños, esto usualmente se resuelve con la selección y ubicación de uno o más tableros de alumbrado, cada uno convenientemente localizado cerca del centro de la carga del alumbrado por servir.

Cuando las cargas del alumbrado han sido determinadas, las características de la potencia eléctrica suministrada, tales como: voltaje, fases y frecuencia, deben ser consideradas y evaluadas en orden para seleccionar lugares óptimos para los tableros y centros de carga.

El sistema de alambrado debe estar diseñado para proporcionar, con una capacidad adecuada, la máxima flexibilidad para el presente y anticipar necesidades futuras. Sobrecargas o extensiones excesivas de circuitos, además de involucrar peligros, resultan en una disminución de la salida de luz de las fuentes luminosas, en nuestro estudio, las fluorescentes y las de filamento incandescente.

Todos los sistemas de alambrado eléctrico en los hospitales del IMSS, así como los sistemas eléctricos en general, deben estar diseñados e instalados en conformidad con los requerimientos y disposiciones de las **NORMAS DE DISEÑO DE INGENIERIA. "INSTALACION ELECTRICA"** del Instituto Mexicano del Seguro Social.

¹ Los valores de espaciamiento máximo entre luminarias son proporcionados por los fabricantes de las mismas.

3.1.6 Consideraciones Térmicas

Desde que las necesidades térmicas en los edificios varían no sólo de acuerdo a la época del año sino también de área a área dentro de su estructura, el control del calor producido por el alumbrado y su integración con los sistemas de calefacción y refrigeración es esencial. Esto es particularmente evidente cuando los factores térmicos dictan que las zonas interiores están, virtualmente, sobre un ciclo de enfriamiento continuo. Un buen diseño, actualmente requiere disposiciones para la disipación o utilización eficiente del calor producido por el alumbrado.

Parámetros de Confort.

Temperatura. Cualquier fuente de luz suministra calor a el interior en el cual opera. Esto crea una relación entre la iluminación y la temperatura del cuarto y, a su vez, con el confort térmico humano. De cualquier modo, el confort depende no sólo de la temperatura del local, sino también de otros factores.

El calor ganado y perdido en un local, resulta de la transferencia de calor a través del techo y paredes, de la transferencia de calor a causa de los cambios de aire, del beneficio de las radiaciones solares a través de superficies transparentes como ventanas, de la iluminación eléctrica, del calor emitido por las personas y del calor emitido por las actividades ocupacionales así como de los equipos médicos, computadoras y máquinas de oficina. La proporción de calor ganado de cada factor, varía mucho dependiendo del diseño del edificio, uso del espacio, clima, etc.

El uso de lámparas de alta eficacia, como las fluorescentes, suministran un nivel de iluminación dado con menor calor que con lámparas incandescentes. Sin embargo, las lámparas incandescentes frecuentemente tienen características que las hacen una opción superior para una aplicación, a pesar de su eficacia.

Humedad. Usualmente, las luminarias no tienen efecto importante en la humedad de un local, porque ellas no agregan ni remueven la humedad del aire. El aire tiene la propiedad de compartir el espacio con el vapor de agua hasta un valor específico. La variación de vapor de agua debajo de éste máximo, expresado en porcentaje, es llamada humedad relativa. Los valores de humedad relativa arriba del 90% son llamados extremos, entre 60 y 90% húmedos, entre 40 y 60% normal y abajo del 40% secos.

Carga del Alumbrado sobre el Aire Acondicionado.

Lámparas Eléctricas como Fuentes de Calor. Las lámparas eléctricas son convertidores eficientes de energía eléctrica a energía calorífica. Cada watt de potencia eléctrica consumido por una lámpara genera un watt de calor, lo mismo que cualquier dispositivo de calefacción eléctrico.

La energía toma dos formas principales: (1) *energía por conducción y convección*, y (2) *energía radiante* (incluyendo infrarroja, luz y ultravioleta). Según esto, es obvio que sólo una parte de la energía generada por las lámparas eléctricas es luz. Sin embargo, la luz misma produce calor.

Un conocimiento de la cantidad relativa de cada tipo de energía emanada desde una lámpara eléctrica, puede ser útil al analizar su funcionamiento y el efecto que pudiera tener en las condiciones térmicas.

Luminarias como Fuentes de Calor. Las características de funcionamiento de las luminarias están bien documentadas en términos de la eficiencia luminosa, del control de luz y de la distribución de la intensidad luminosa. Ahora es necesario considerar la distribución total de la energía de cualquier luminaria destinada a convertirse en un componente del edificio.

Cualquier análisis cuantitativo de las luminarias como fuentes de calor debe asumir las condiciones de temperatura estable, voltaje constante y la posición de servicio. En esta situación, la energía total puede no seguir la distribución de la energía luminosa. Sin embargo, es útil para comparar la distribución total de la energía con la clasificación asignada a las curvas de distribución de la intensidad luminosa.

Las características de distribución térmica limitan la clasificación de la CIE, en cuanto a las luminarias, a: (1) *semi-directas*, (2) *directas-indirectas* y (3) *semi-indirectas*. Las clasificaciones de iluminación directa o indirecta totalmente son improbables en las curvas de la distribución total de la energía (Fig. 3.1).

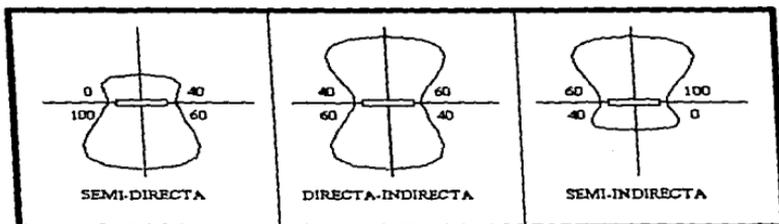


Fig. 3.1 Clasificaciones de las luminarias de acuerdo a su Distribución Total de la Energía.

Sistemas de Iluminación como Fuentes de Calor. Las condiciones térmicas y visuales son dos de las consideraciones más importantes en el diseño de un ambiente interior. El confort visual es, en parte, debido a la cantidad y calidad de la iluminación. El confort térmico es el resultado de un balance propio en la temperatura, la humedad relativa y el movimiento de la aire. Si estos factores pueden ser completamente evaluados, se debe tomar en consideración la distribución total de la energía de las luminarias, su relación con las superficies del local y con el tipo de sistema de acondicionamiento contemplado.

Generalmente, la carga de calor instantáneo del sistema de alumbrado es expresada usando la relación:

$$P_i = P_l \times BLF \times CLF \times UF$$

donde:

P_i = Carga de Calor Instantáneo del Sistema de Iluminación en Watts.

P_l = Potencia Total de las Lámparas en Watts.

BLF = Factor de Carga del Balastro.

Incandescentes, $BLF = 1.00$

Fluorescentes, $BLF = 1.08$ a 1.30

Descarga de Alta Intensidad (HID), $BLF = 1.04$ a 1.37

CLF = Factor de Carga de Enfriamiento.

Es un factor que toma en cuenta el tipo de luminaria, accesorios, cubiertas del local, tiempo de encendido de las lámparas, etc.

UF = Factor de Utilización.

Es el porcentaje de la potencia instalada en uso expresado como un decimal.

El montaje de las luminarias tiene un papel importante en la distribución de la energía térmica. La figura 3.2 ilustra los flujos de calor típicos para varios tipos de la relación techo-luminaria. La distribución total de la energía involucra en total tres mecanismos de transferencia de calor: - *Radiación, Conducción y Convección.*

Integración del Alumbrado y el Aire Acondicionado.

Existen diseños en donde el aire acondicionado y el alumbrado se combinan de tal forma que el aire de retorno se extraiga a través de las luminarias. Se hace esto fundamentalmente para:

- Reducir la radiación de calor producida por lámparas y luminarias.
- Reducir la temperatura del aire que rodea las lámparas, con lo que se incrementa el flujo luminoso y, por tanto, su eficacia.
- Emplear un solo elemento para alumbrado y aire acondicionado.

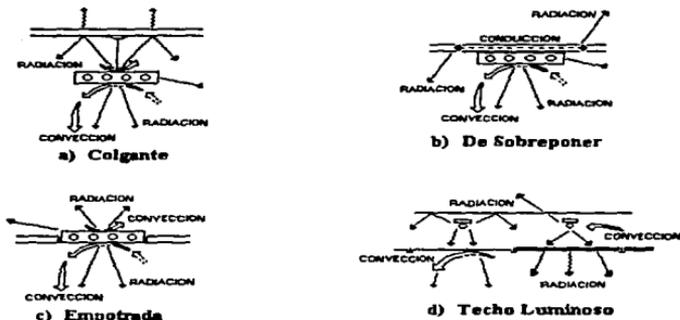


Fig. 3.2 Efecto de la relación techo-luminaria en la transmisión de calor de una luminaria fluorescente con clasificación directa-indirecta.

Los amplios beneficios de los diseños integrados pueden ser alcanzados solo a través de esfuerzos combinados del equipo de diseño, el cual debe incluir Arquitectos, Proyectistas, Diseñadores de Interiores, Ingenieros Eléctricos, Ingenieros Mecánicos, Ingenieros de Iluminación y Analistas de Costos.

3.1.7 Consideraciones Económicas

El análisis económico es una herramienta importante que es utilizada al contribuir en la toma de decisiones en el diseño de los sistemas de iluminación. Está basado sobre el impacto económico de las diferentes alternativas de solución.

La evaluación económica comprende una serie de análisis de costos, los cuales incluyen costos iniciales, costos de energía, costos de balastos y lámparas de reemplazo, costos de trabajos de limpieza y mantenimiento, etc. El costo del ciclo de vida de un sistema de iluminación es particularmente útil al determinar el sistema más económico.

El análisis económico para los sistemas existentes, o en proceso de diseño, puede ser utilizado para:

1. Comparar sistemas alternativos como parte de un proceso de toma de decisiones.
2. Evaluar los procedimientos y técnicas de mantenimiento.
3. Determinar el impacto del alumbrado sobre otros sistemas del edificio.
4. Planear el presupuesto y los flujos de dinero.
5. Ayuda a determinar el beneficio de la iluminación (análisis costo/beneficio).

Al comparar sistemas de alumbrado diferentes, como el directo y el indirecto, es imposible valorar el factor de la calidad desde un punto de vista económico. Por ello es preferible comparar el costo de las instalaciones basándose en iguales niveles de iluminación y con la misma calidad. Los resultados que se obtienen de este modo son una guía más segura respecto a las fuentes de luz y tipo de luminaria más adecuadas a emplear en una instalación dada.

La tabla 3.1 presenta los datos principales para realizar un análisis económico de cualquier sistema de iluminación interior.

3.1.8 Iluminación para Seguridad

Es el alumbrado suficiente para garantizar la seguridad de las personas envueltas en trabajos de naturaleza potencialmente peligrosa. La iluminancia sobre el área de trabajo que debe dar un alumbrado de seguridad no debe ser inferior al 5 % de la dada por el alumbrado normal.

En muchos casos donde la iluminación es asociada con accidentes, la causa es atribuida a niveles de iluminación inadecuados o a la pobre calidad de la misma. No obstante, hay muchos factores menos tangibles asociados con la pobre iluminación que pueden contribuir a muchos accidentes, algunos de ellos son: el deslumbramiento directo, el brillo reflejado y las sombras desagradables. La misma fatiga visual excesiva puede ser un elemento principal como causa de accidentes.

Los accidentes pueden también ser ocasionados por el retardo de adaptación del ojo cuando una persona se esta moviendo continuamente de ambientes claros a oscuros y viceversa.

Algunos accidentes, los cuales son atribuidos a un descuido individual, pueden ocurrir, parcialmente, debido a la dificultad en la visión a causa de uno o más de los factores mencionados anteriormente, además, se pueden evitar a través de la utilización de los buenos principios de la iluminación.

<p>A. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de Lámpara. 2. Descripción de la Lámpara. 3. Tipo de Luminaria. 4. Número de Lámparas por Luminaria.
<p>B. DATOS BÁSICOS.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Lúmenes Iniciales por Lámpara. 6. Vida de la Lámpara. 7. Watts por Luminaria (Incluyendo el Equipo Auxiliar). 8. Coeficiente de Utilización. 9. Factor de Mantenimiento. 10. Número de Luminarias. 11. Lúmenes Efectivos Sostenidos por Luminaria ($5 \times 8 \times 9$). 12. Costo de la Energía (Costo por KW-Hr).
<p>C. COSTO INICIAL.</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. Costo Neto de Cada Luminaria. 14. Costos de Instalación. 15. Costo Inicial Neto por Cada Lámpara. 16. Costo Inicial Neto de las Lámparas por Cada Luminaria (4×15). 17. Costo Inicial Total por Cada Luminaria ($13 + 14 + 16$). 18. COSTO INICIAL TOTAL (10×17).
<p>D. COSTOS ANUALES DE OPERACION.</p> <ol style="list-style-type: none"> 19. Horas de Encendido por Año. 20. Costo Anual de Energía [($7 \times 10 \times 12 \times 19$) / 1,000]. 21. Número Anual de Lámparas Reemplazadas [($4 \times 10 \times 19$) / (6)]. 22. Costo Anual de la Reposición de Lámparas (15×21). 23. Costo de Mano de Obra para Reemplazar Lámparas. 24. Costo de Limpieza Dos Veces al Año. 25. COSTO TOTAL ANUAL DE OPERACION ($20 + 22 + 23 + 24$).
<p>E. COSTO ANUAL TOTAL</p> <p style="text-align: right;">($18 + 25$)</p>

Tabla 3.1

Niveles de Iluminación.

La tabla 3.2 despliega una lista de niveles de iluminación considerados como *Mínimos Absolutos para Seguridad*. Para garantizar que estos valores sean mantenidos, se deben suministrar niveles iniciales superiores de acuerdo a las condiciones de mantenimiento.

Hazards Requiring Visual Detection	Slight		High	
Normal Activity Level	Low	High	Low	High
Illuminance Levels				
Lux	5.4	11	22	54
Footcandles	0.5	1	2	5

Tabla 3.2 Niveles de Iluminación para Seguridad.

3.1.9 Iluminación de Emergencia

La iluminación de emergencia es la iluminación suministrada para uso cuando falla el suministro de energía para el alumbrado normal.

Cuando el alumbrado normal de un edificio ocupado falla, independientemente de la causa, la iluminación de emergencia es requerida para cumplir las siguientes funciones:

1. Debe suministrar un nivel de iluminación suficiente para poder continuar las actividades de importancia vital durante una emergencia, por ejemplo, en salas de cirugía.
2. Indicar claramente y sin equivocación las rutas de escape.
3. Proporcionar iluminación y un medio ambiente visual confortante a lo largo de las rutas de escape, suficiente para facilitar el movimiento seguro a lo largo de ellas, y alrededor y a través de las salidas y salidas de emergencia proporcionadas.
4. Permitir la pronta identificación de todos los puntos de alarmas de incendio y de equipo contra incendios proporcionados a lo largo de las rutas de escape.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

La iluminación horizontal de cualquier ruta de salida no debe ser menor del 1% del promedio suministrado por la iluminación normal, con un promedio mínimo de 5 lux al nivel del piso. Debe existir una luminaria por cada puerta de salida y por cada puerta de salida de emergencia, y en puntos donde es necesario acentuar la posición de peligros potenciales.

Sistemas de Suministro de Energía para la Iluminación de Emergencia.

Sistemas Alimentados por Generador.

Los sistemas de alumbrado de emergencia deben suministrar la iluminación requerida dentro de un periodo de 10 segundos a partir de la interrupción del alumbrado normal. Si, por lo tanto, tal sistema es energizado por un generador, es esencial que el generador pueda llegar hasta su salida demandada dentro del periodo especificado, y que el arranque sea automático al ocurrir la falla del suministro normal de energía. La desventaja de este sistema es que necesita mantenimiento periódico. Otro inconveniente es que depende de la red de alumbrado existente para la distribución de energía de emergencia y, por consiguiente, ésta puede ser fácilmente interrumpida en caso de incendio, daño a la estructura del edificio, etc.

Sistemas Alimentados por Baterías.

Un sistema de alumbrado de emergencia energizado por baterías puede ser diseñado para su operación desde una combinación batería y cargador ubicada centralmente (Sistema Central), hasta baterías emplazadas en las luminarias (Unidad Equipada). La combinación batería/cargador debe, en cada caso, estar diseñada para que después que las baterías se han descargado, éstas sean capaces de sostener nuevamente el sistema de iluminación de emergencia por una hora después de un periodo de recarga de 24 horas. En cuanto a la unidad equipada, cada luminaria tiene su propia batería, que en condiciones normales está conectada de una manera «flotante» con la red eléctrica. En caso de un fallo de energía, las baterías entran en acción automáticamente. Si se restablece el servicio normal, las baterías vuelven a recargarse. Este último sistema es el más fiable: cada lámpara sigue funcionando incluso durante un incendio o aunque se destruyan los cables de distribución.

Todos los sistemas de alumbrado de emergencia deben ser probados e inspeccionados al menos cada 30 días, no importa que tipo de energía de emergencia es utilizada.

3.1.10 Depreciación de la Eficiencia Luminosa

Los niveles de iluminación iniciales en una instalación de alumbrado disminuyen progresivamente en el curso de su funcionamiento por la acumulación de polvo en las luminarias y en otras superficies del espacio iluminado (techo, paredes y piso), así como por la disminución del flujo luminoso proporcionado por las lámparas a medida que éstas envejecen.

Los valores iniciales de iluminación pueden recuperarse mediante la limpieza periódica de las luminarias y el reemplazo de las lámparas a intervalos apropiados (fig. 3.3). No seguir este procedimiento tendrá como consecuencias:

- Niveles de iluminación sustancialmente inferiores a los requeridos.
- Un reducido rendimiento económico de la inversión efectuada en la instalación y de sus costos de mantenimiento.
- Un aspecto de abandono de toda la instalación de alumbrado.

En el diseño de una instalación de alumbrado deberá tenerse en cuenta la depreciación de la eficiencia, proyectando inicialmente una iluminación mayor que la requerida. Este margen dependerá del programa de mantenimiento convenido entre el proyectista y el usuario. Será preciso seguir este programa si se quiere mantener el nivel de iluminación inicial.

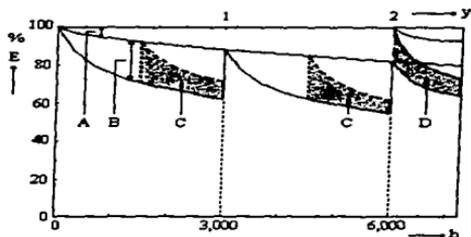


Fig. 3.3 Efecto de la depreciación, la limpieza y el reemplazo de lámparas sobre la iluminación E , en una instalación de lámparas fluorescentes, en donde:
 y = número de años
 h = horas de utilización por año
 A = Pérdida debida al envejecimiento de la lámpara.
 B = Pérdida debido al ensuciamiento de la luminaria.
 C = Ganancia si se hace una limpieza cada seis meses.
 D = Ganancia si se reemplazan también las lámparas.

3.1.11 Mantenimiento

Factor de Mantenimiento.

Al determinar el número de luminarias necesarias para conseguir la iluminación requerida en una instalación, es común incorporar en los cálculos un *factor de mantenimiento*. Este se define como la relación entre la iluminación media de una instalación en el plano de trabajo después de cierto periodo de uso y la iluminación media de la misma recién instalada. Toma en cuenta, por consiguiente, la depreciación total causada por los varios factores ya descritos en este capítulo.

Programa de Mantenimiento.

El intervalo más económico para efectuar la limpieza de una instalación de alumbrado dependerá del tipo de luminaria, el grado de acumulación de polvo y el costo de dicha limpieza. Es más económico que dicha limpieza coincida con el reemplazo de las lámparas. Estas pueden sustituirse individualmente a medida que fallen o todas al mismo tiempo. Este último método se llama «reemplazo en grupo». Algunas veces se combinan ambos sistemas. Generalmente, en las grandes instalaciones resulta más barato una sustitución en grupo eficazmente organizada que la sustitución individual. Además se puede aplicar un factor de mantenimiento más alto. Puesto que el cálculo de una instalación de alumbrado depende del conocimiento del programa de mantenimiento, hay que cumplirlo para mantener los niveles de iluminación precalculados.

Reemplazo en Grupo.

En general, el reemplazo en grupo tiene que ser tomado en consideración cuando el costo del reemplazo individual es mayor que la mitad del costo neto de las lámparas, y cuando el costo por lámpara para reemplazar lámparas en grupo es pequeño comparado con el costo por lámpara para reemplazar lámparas individualmente.

3.2 CONSIDERACIONES EN LAS SALAS DEL HOSPITAL

3.2.1 Iluminación de Trabajo

En los lugares donde se desempeñen trabajos visuales de importancia (desde procedimientos quirúrgicos hasta el examen de pacientes), las áreas de trabajo son el punto focal más importante, por lo tanto un nivel inferior de luz puede ser contemplado en los alrededores. La iluminación para el cumplimiento de los trabajos depende de:

1. La importancia y delicadeza de la tarea en particular, así como del punto de vista del tiempo que se dispone y de la precisión requerida.
2. La persona que desempeña el trabajo.

La visión es una actividad dinámica. Los ojos no permanecen fijos sobre un solo punto sino que se mueven a todas direcciones dentro de la zona de trabajo. Por esta razón, se ha sugerido que donde se requieran niveles altos de iluminación, como en cirugía, se consideren tres zonas de iluminación: la más alta en el campo operativo, un segundo nivel inferior circunstante a la mesa y un tercero en la zona periférica.

3.2.2 Salas de Encamados

Para las salas de encamados se debe ajustar el sistema de alumbrado de acuerdo a las necesidades que se tienen a diferentes horas, para diferentes personas y, usualmente, suministrar tal iluminación tan sencilla y económicamente como sea posible. Esta iluminación se requiere para realizar una gran variedad de labores de asistencia a los enfermos, debe ser aceptable para todos los pacientes que ocupan la misma sala, y satisfacer las necesidades de iluminación y deseos de los enfermos cuyo único campo de visión puede ser el techo. El alumbrado de estos locales no debe producir deslumbramiento molesto a los pacientes, ni siquiera al personal médico.

Alumbrado General.

El alumbrado general de la habitación debe ser suficiente para poder llevar a cabo satisfactoriamente los cuidados de tipo médico y doméstico. Para estos fines se prefiere alumbrado de tipo indirecto (figura 3.4) con una iluminancia entre 100 y 200 lux. El interruptor debe colocarse a la entrada de la sala.



Fig. 3.4 Alumbrado general (i) y local (j), combinados en una sola unidad, montada en la pared.

Alumbrado Local Sobre las Camas.

El alumbrado sobre la cama del paciente (figura 3.4) debe proporcionar una buena iluminación para lectura, trabajos manuales, etc. La iluminancia en la cabecera debe ser de 200 a 300 lux a todo lo ancho de la cama. La luminancia de las luminarias no debe exceder de 350 cd/m² tanto para los médicos como para los enfermos y además el calor irradiado por la fuente de luz debe ser lo más bajo posible. Se dispondrá de un interruptor al alcance del paciente.

Alumbrado para Examen Médico.

Si el examen y tratamiento del enfermo no pueden realizarse en una sala apropiada, se pueden utilizar luminarias suplementarias en el cuarto del paciente. Las lámparas deben estar apantalladas de forma que iluminen sólo la cama, proporcionando una iluminancia mínima de 1,000 lux en el centro de un área circular de 0.6 m de diámetro. La iluminación debe ser de una calidad de color que no distorsione el color de la piel o del tejido, de una direccionalidad que permita la inspección cuidadosa de las superficies y cavidades, y libre de sombras.

El rango de unidades de examen/tratamiento varía desde una simple lámpara "arbotante" hasta una luminaria que tiene cualidades similares a una unidad de quirófano, dependiendo de la naturaleza y complejidad del trabajo visual. El siguiente criterio debe ser considerado cuando se seleccionen luminarias para el examen de enfermos:

1. *Distancia.* Una iluminación adecuada debe estar disponible a una distancia de 107 cm.
2. *Radiación.* Para la seguridad y el confort del enfermo, la luminaria debe estar diseñada con un sistema que filtre el calor. A intensidad máxima, la unidad de alumbrado, a una distancia de 107 cm del campo de operación, no debe producir más de 25,000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ en dicho campo.
3. *Corrección del Color.* La luminaria debe proporcionar buen rendimiento en color de la piel y tejido. La temperatura de color debe estar entre 3,500 °K y 6,700 °K.
4. *Movilidad.* La unidad debe moverse libremente y ser fácil de maniobrar con una mano. Una vez que la luminaria es colocada en una posición, el sistema de montaje debe permitir que ésta permanezca quieta sin moverse.
5. *Seguridad.* Para la seguridad del personal médico y del paciente se debe considerar: a) la temperatura de las superficies de la luminaria, b) el peligro de contactos físicos, c) la seguridad eléctrica, y d) la durabilidad de las superficies externas.

Alumbrado Nocturno.

Las unidades de alumbrado montadas en la pared para uso de los pacientes a menudo incorporan una luz nocturna con un interruptor cerca de la cama. Este sistema debe proporcionar el nivel mínimo de alumbrado necesario para que las enfermeras y pacientes puedan orientarse con facilidad durante las horas de oscuridad. Esto corresponde a una iluminancia de 0.5 lux al nivel del suelo. Cuando esta luz permanece continuamente, la luminancia producida en el campo circundante de oscuridad es algunas veces una fuente de incomodidad para los pacientes que desean dormir, por lo tanto, es preciso que las lámparas estén apantalladas adecuadamente

El criterio importante para la iluminación de noche es limitar la fuente de luminancia. Esta luminancia no debe exceder 70 cd/m² para uso continuo, o 200 cd/m² para un corto tiempo.

Alumbrado Nocturno de Observación del Enfermo.

El alumbrado destinado a la observación del paciente debe causar molestias mínimas a los demás enfermos de la habitación. Debe haber iluminación en cada cama y en su área del piso a fin de que la enfermera pueda frecuentemente observar al enfermo y al equipo, tal como recipientes y tubos de saneamiento. Se recomienda una iluminación entre 20 y 50 lux en la cabecera de la cama. Esta luz debe ser controlada desde la puerta, y si un interruptor es colocado cerca de la cama, éste no debe ser accesible al paciente.

3.2.3 Salas de Examen Médico

El alumbrado para el examen del enfermo debe tomar en cuenta la gran variedad de tareas visuales posibles. Esto se logra con una combinación de alumbrado general y localizado, los cuales deben asemejarse en todo lo posible en cuanto a su temperatura de color (aproximadamente 4,000 °K). El nivel de iluminancia del alumbrado general debe ser de 400 a 500 lux.

3.2.4 Alumbrado de Quirófanos

El alumbrado de la sala de operaciones es tal vez el más exigido en el hospital, no en el número de gente que lo utiliza sino en la importancia del trabajo que se realiza. El alumbrado precisa un balance cuidadoso entre el alumbrado muy especializado exigido para la mesa central de operaciones y el que suministra la iluminación en el resto de la sala.

Los colores y las reflectancias de las superficies interiores de las salas de operaciones y de partos, los vestuarios y las telas de las batas deben ser aproximadamente como lo siguiente:

- Techos, un color blanco o cercano a él con 90% o más de reflectancia.
- Paredes, superficies no lustrosas de cualquier color claro con 60% de reflectancia.
- Pisos, con una reflectancia preferentemente en el rango de 20 a 30%.
- Las telas para batas y vestimentas quirúrgicas deben ser de color, usualmente un matiz opaco de verde-azul, turquesa o gris perla, con 30% o menos de reflectancia.

Los equipos tales como el de rayos X, el de anestesia y el de ventilación compiten con el sistema de alumbrado por el espacio de techo disponible. Por lo tanto, para obtener la iluminación deseada, es necesario proyectar cuidadosamente el arreglo y ubicación del sistema de iluminación. A causa de la variedad de procedimientos quirúrgicos, es altamente deseable permitir el control del sistema de iluminación general a petición de los requisitos visuales del cirujano y personal. La iluminación general debe suministrar una iluminancia distribuida uniformemente, con medios para cambiar el nivel. Las luminarias deben estar equipadas con elementos que den difusión a la luz y prevengan el deslumbramiento.

La luminaria que alumbraba la mesa de operaciones está diseñada para una iluminancia muy elevada libre de sombras y variable gradualmente entre determinados límites. La iluminación producida por el alumbrado general deberá ser del alrededor de 600 lux con el fin de mantener las diferencias de luminancia en el quirófano dentro del máximo aceptable. El color de la iluminación general debe ser compatible con el del alumbrado de la mesa de operaciones, es decir, la temperatura de color de las dos fuentes de luz debe ser concordante.

La lámpara preferida para el alumbrado general es la tubular fluorescente que tiene una temperatura de color de alrededor de 4,000 °K y un rendimiento en color entre bueno y óptimo. Las luminarias serán del tipo multilámpara, estarán empotradas y dotadas de espejos reflectores para lograr máxima salida de luz y baja luminancia, además, deberán estar diseñadas para reducir la interferencia electromagnética a un nivel que no interfiera con la operación del equipo electrónico delicado.

El sistema de iluminación para los trabajos quirúrgicos debe ser capaz de proporcionar un mínimo de 20 kilolux dirigidos al centro de un modelo de 500 cm² sobre una mesa quirúrgica. Este modelo está definido como un área dentro de la cual la iluminancia disminuye desde el centro hacia la orilla, de modo que en la orilla ésta no es menos de 20% de la que hay en el centro. Para prevenir las sombras provocadas por manos, cabezas e instrumental médico, la luz debe llegar a el área de operación desde ángulos muy abiertos. La reducción de sombras es una función del diseño óptico, posición y tamaño del reflector, así como del número de lámparas principales dirigidas a el área de operación.

La energía radiante producida por las lámparas quirúrgicas tiene que ser minimizada para la protección de los tejidos expuestos quirúrgicamente, y para el confort y eficiencia del cirujano y asistentes. Para el mayor número de operaciones la energía radiante en la región espectral de 800 a 1,000 nm debe ser mantenida a un mínimo. Esta es la energía infrarroja que es absorbida por la carne y el agua y, por tanto, da por resultado un calentamiento en el cuerpo del cirujano, o más importante puede causar el secamiento de los tejidos expuestos.

El nivel de iluminancia proporcionado por el alumbrado general en las dependencias anexas al quirófano, por ejemplo, vestidores para cirujanos y enfermeras, lavabos, salas de esterilización y salas de recuperación, debe ser del 50% como mínimo del que se tiene en el propio quirófano, con el fin de facilitar la adaptación de la vista al pasar de una sala a otra. El rendimiento en color debe ser también el mismo en todas estas zonas.

3.2.5 Salas de Cirugías Especiales

Cirugía del Ojo.

La iluminación general de la sala es planeada para dar el mismo nivel que en el quirófano general. El cirujano, no obstante, algunas veces requiere menos iluminación general y puede preferir casi la completa oscuridad para reducir las reflexiones desde la superficie esférica del ojo; por lo tanto, un método reductor de la iluminación llega a ser obligatorio en este quirófano. Un alumbrado separado puede ser necesario para el anestesista, de modo que pueda observar el equipo.

Las salas para cirugía de ojos contienen un microscopio para operaciones. Este equipo contiene sus propias luminarias y frecuentemente dispositivos que dividen el haz luminoso para permitir la visión a más de una persona. Se deben considerar los niveles de producción de calor del alumbrado del microscopio.

Las lámparas quirúrgicas montadas en el techo son también utilizadas en cirugía de ojos para trabajar sobre músculos, tejidos y glándulas lagrimales. Estas deben ser seleccionadas aplicando el criterio de iluminación para sala de cirugía con los requerimientos del oftalmólogo.

Cirugía de Oído, Nariz y Garganta.

Los requerimientos para estas especialidades son idénticos a los requerimientos para la cirugía oftálmica. La cirugía con microscopio es utilizada para operaciones en el oído interno.

Neurocirugía.

En general esta sala de operaciones no es diferente en sus requisitos visuales a la sala de operaciones de cirugía general. Algunos neurocirujanos prefieren utilizar lámparas para la cabeza. Recientemente los microscopios quirúrgicos han sido empleados en un ambiente oscuro. Estos microscopios contienen su propia iluminación y pueden estar montados en el techo o pared. Los neurocirujanos a menudo requieren un haz de luz horizontal en vez de uno vertical.

Cirugía Ortopédica.

En general, las necesidades visuales de la sala de operaciones ortopédicas no son diferentes de aquellas para la cirugía general, pero mejorar el servicio para el equipo de rayos X puede ser necesario. El tipo de equipo de rayos X y las necesidades de montaje deben estar coordinadas con los sistemas de alumbrado.

Se debe dar atención particular a la flexibilidad de las luminarias; para cirugía ortopédica frecuentemente se requiere de una única posición en la mesa de operaciones (donde se encuentra la fractura). El cirujano ortopédico también utiliza el microscopio quirúrgico.

3.2.6 Sala de Recuperación Post-Anestesia

Esta es un área de observación de equipo y monitoreo metódico, además tiene incluida la capacidad para desempeñar ciertos procedimientos de emergencia. El reconocimiento de cambios de color en la piel del paciente debe ser fácil de detectar, por lo tanto, una luz adecuada con un buen rendimiento en color es importante. El alumbrado debe ser variable, de modo que las presentaciones en las pantallas de los equipos de monitoreo, como el electrocardiógrafo y el electroencefalógrafo, puedan ser interpretadas con facilidad.

3.2.7 Salas de Parto

La iluminación general de la sala de alumbramientos debe ser obtenida por medio de luminarias empotradas en el techo que suministren luz en todas partes, igual que como en la sala de operaciones. El área para partos debe ser idéntica en iluminación a el área quirúrgica. El estado consciente de la paciente es completo de modo que una alta luminancia no debe existir en su campo visual.

La luminaria de trabajo debe ser capaz de producir y enfocar una iluminación de 20 kilolux en su centro, e inundar el perineo y el abdomen inferior con una iluminación direccional horizontalmente. Un plan de alumbrado especial debe existir para el área en la cual el recién nacido es reanimado. La iluminación debe tener la capacidad de un buen rendimiento en color, tanto para una apariencia agradable de la madre y el bebe, como para la detección de cianosis e ictericia.

3.2.8 Sala de Cuidados Intensivos

El alumbrado de estas salas ha de ser adecuado para una gran variedad de tareas visuales. El sistema de alumbrado debe permitir la posibilidad de cambiar rápidamente el nivel de iluminancia en situaciones de emergencia. La iluminación debe permitir a la enfermera o a el doctor notar: (1) cambios en el contorno y en el color de la piel, (2) la apófisis de venas en el cuello, y (3) la presencia de tintes amarillos en los ojos del enfermo, si esto es posible. Un buen rendimiento en color es importante, a fin de que el aspecto y complexión de los pacientes tengan una apariencia real. Por lo tanto, únicamente lámparas fluorescentes de color mejorado deben ser utilizadas.

El alumbrado general debe tener la capacidad para atenuarse. Este debe estar localizado de modo que ningún enfermo que se encuentre postrado, ni uno que esté sentado, este expuesto al deslumbramiento. Además del alumbrado general, debe haber iluminación para exámenes y tratamientos realizados por el personal médico, ésta se conseguirá con luminarias suplementarias localizadas. Así mismo, algún tipo de luz para trabajos quirúrgicos debe estar disponible para proporcionar iluminancias superiores para procedimientos de emergencia.

Por razones psicológicas, el alumbrado de las salas de cuidado intensivo debe ser lo más parecido posible al de la propia habitación del enfermo.

3.2.9 Sala de Rayos X

Las salas donde hay que realizar radiografías deben alumbrarse de acuerdo con el método de examen adoptado. Para placas normales de rayos X no se exigen condiciones muy especiales al alumbrado, pero si hay intensificadores de imagen o sistemas de televisión deberá ser posible que se pueda atenuar el alumbrado general hasta niveles entre 10 y 30 lux.

Para la colocación de los pacientes y el mantenimiento de la sala, es suficiente una iluminación general con un equipo de regulación que produzca una iluminación de 100 lux. Frecuentemente, el alumbrado del techo es controlado por un interruptor localizado en la unidad radiográfica, de modo que la luz ambiental se apague cuando la fluoroscopia este en desarrollo. Otros tipos de actividades diferentes necesitan un alumbrado localizado.

3.2.10 Estación de Enfermeras

En este local las enfermeras acopian expedientes, preparan medicamentos, leen, escriben, etc. Por consiguiente, cuentan con un escritorio o un estante, usualmente enfrente de algún tipo de mostrador o debajo de un gabinete suspendido. El alumbrado montado debajo de este mostrador debe suministrar la suficiente iluminación para estos trabajos y debe ser colocado de modo que complemente el alumbrado de la estación. Estas luminarias, que están colocadas de modo que una persona que se encuentra sentada enfrente del escritorio está resguardada del brillo, no deben estar dentro de la visión directa del enfermo.

Como la enfermera debe realizar recorridos frecuentes desde la estación a los cuartos de enfermos, lo mismo que a las posiciones de servicio, los pasillos deben tener iluminación de tránsito; un nivel superior durante el día, interrumpido o atenuado a un nivel inferior en la noche. Para seguridad, el alumbrado en la estación de enfermeras se encuentra usualmente conectado a un sistema de alumbrado auxiliar de emergencia.

3.2.11 Sección de Niños

La sección o departamento pediátrico debe estar provisto de amplio espacio para diversiones, materiales y proyectos educacionales. El alumbrado debe ser proyectado con este propósito, pero debe ser similar a las áreas de adultos. El uso de la luz natural es esencial. Los pasillos deben ser agradables, con colores cálidos en superficies y objetos, utilizando iluminación difusa.

Los niños juegan y se sientan en el piso y frecuentemente lo utilizan como una mesa. Por esta razón, el alumbrado debe estar diseñado para dibujar, leer y realizar otras actividades al nivel del piso.

Cuneros.

La iluminación de la sección destinada a los recién nacidos debe estar diseñada con el fin de que los bebés que se encuentran en las cunas e incubadoras puedan ser observados fácilmente. La iluminación es a menudo requerida para la observación cuidadosa, pero no debe ser mantenida a niveles demasiado altos porque los bebés no poseen aún la habilidad para emplear los mecanismos protectivos de los adultos para evitar la exposición de la retina. Esto tiene que tomarse en cuenta cuando se proyecte el alumbrado. Las luminarias para la iluminación general deben ser de un tipo tal, o instaladas de modo que la luminancia de cualquiera de las luminarias, techo o superficie de la pared, vistas desde una posición normal de la cuna, sea menor de 310 cd/m².

Para reconocer cambios menores en el color de la piel o de la esclerótica, las fuentes de luz deben tener buenas capacidades de rendimiento en color.

3.2.12 Servicios de Salud Mental

Para este tipo de servicios, el alumbrado debe estar proyectado para ser inaccesible a los pacientes, esto con la finalidad de protegerlos contra daños o de que ellos dañen a otras personas; y sin embargo debe estar diseñado para evitar un ambiente semejante al de una prisión. La iluminación debe ser proporcionada por luminarias en el techo que estén fuera del alcance del enfermo y protegidas de impactos por objetos arrojados. Estas luminarias deben ser controladas por interruptores, de preferencia montados en pasillos externos a las áreas de encierro.

Actualmente, la mayoría de los servicios de salud mental atienden a pacientes perturbados severamente. A pesar del tipo de paciente, el alumbrado apropiado depende de la selección inteligente de modelos y áreas de iluminación para tranquilizar a los enfermos en lugar de alterarlos.

3.2.13 Laboratorios

Recopilación de Muestras y Areas de Donación de Sangre.

La iluminación debe ser suministrada en el sitio donde se realiza la venepunción, a la altura del brazo de un sillón. Las venas son frecuentemente mejor observadas con luz horizontal; por lo tanto, las luminarias del techo o las luces de trabajo deben estar situadas para proporcionar una iluminación oblicua. Un buen rendimiento en color da una apariencia agradable del paciente y el personal, y permite la detección fácil de las venas. Las paredes de esta área deben ser de matices pastel de baja reflectancia para la tranquilidad y el confort del donador.

Laboratorio de Tejido.

El alumbrado en un laboratorio de tejido debe tener una excelente calidad de rendimiento en color. De particular interés es que se comprenden usualmente dos alturas de trabajo (760 mm y 910 mm), una para trabajar sentado y la otra para realizar las labores de pie. Los mismos arreglos de alumbrado son apreciables en la sala dedicada a la preparación de muestras para citología. Los fondos para la visión en el microscopio son mejores de color oscuro y de muy baja reflectancia para evitar el brillo.

Sala de Lectura Microscópica.

Un patólogo emplea una cantidad considerable de tiempo en el estudio de material microscópico. Para este propósito, las mesas sobre las cuales los microscopios son colocados están usualmente a un nivel de 810 mm del piso, y la superficie de la mesa es de baja reflectancia frecuentemente de un acabado caoba o nogal. La iluminación de la sala debe ser ajustable para períodos largos de estudio. En los laboratorios donde los portaobjetos con material microscópico son observados en un monitor de televisión, un alumbrado especial no es requerido.

3.2.14 Consultorio de Urgencias

La sala de emergencias debe ser, generalmente, autosuficiente para tratar la mayor parte de los casos sin acudir a las otras dependencias del hospital. Las luminarias direccionales montadas en el techo o las lámparas portátiles que proporcionan una iluminación en el centro del área de operación, en combinación con un nivel inferior de iluminación general, son usualmente las adecuadas para el reconocimiento de pacientes y la cirugía de emergencia. La iluminación debe ofrecer un excelente rendimiento en color, puesto que un diagnóstico rápido y exacto es requerido.

3.2.15 Sala de Autopsia y Necrocomio

Un buen alumbrado es imprescindible en el anfiteatro anatómico. Un modelo de análisis quirúrgico es realizado, sin embargo éste es practicado abiertamente en vez de realizarlo en una cavidad limitada, por lo tanto, los niveles máximos de iluminación quirúrgica no son necesarios. La luz de trabajo de la sala de autopsia puede, por ende, ser una unidad grande no ajustable con lámparas de buen rendimiento en color, aumentada por reflectores móviles que suministran iluminación a un nivel de la mesa de autopsia (760 mm sobre el piso). Un solo reflector con filtros para reducir grandemente la radiación infrarroja es valioso para la autopsia de la parte del cráneo.

3.2.16 Farmacia

La farmacia debe estar bien iluminada a fin de que las etiquetas y la fina impresión de las instrucciones preventivas proporcionadas con los medicamentos puedan ser leídas. La iluminación debe ser suministrada a el nivel del banco de trabajo (960 mm sobre el piso) para permitir que las recetas sean atendidas y preparadas rápida y exactamente.

3.2.17 Pasillos

El alumbrado de los pasillos debe estar en concordancia con el de los cuartos adyacentes, de manera que no exista diferencia notable de iluminación al pasar de una zona a otra. Como consecuencia, debe poderse reducir el nivel de iluminancia en los pasillos durante la noche. Cuando el pasillo no reciba luz natural suficiente durante las horas del día, el alumbrado artificial facilitará la adaptación visual, para lo cual se debe disponer de una luminancia elevada en la pared opuesta a la puerta de toda habitación que esté iluminada por luz diurna.

3.2.18 Otras Salas

Un hospital tendrá normalmente muchas otras salas además de las mencionadas. Habrá probablemente oficinas, salas de conferencias, salas de recepción, salas de terapéutica, guarderías infantiles, cocinas y una variedad de zonas de servicio e intercomunicación. Al diseñar el sistema de alumbrado para estos locales, se deben tomar en cuenta las necesidades de él o los ocupantes del lugar, las tareas visuales que se realizarán, la apariencia deseada del sitio y las restricciones económicas y de energía. La impresión de atmósfera de institución hospitalaria puede evitarse añadiendo elementos de alumbrado decorativo, por ejemplo, un aplique de pared que produzca una iluminación cómoda de bajo nivel.

3.3 DISEÑO DEL ALUMBRADO

3.3.1 Niveles de Iluminación

El nivel de iluminación es sólo una de las características de las instalaciones de alumbrado; muchas otras importantes consideraciones entran en juego en el proyecto de un ambiente visual completamente satisfactorio y éstas se han estudiado en la sección 3.1 del presente capítulo. Los requisitos cuantitativos de una buena iluminación varían mucho con la naturaleza de la actividad, y son principalmente función de la dificultad de la tarea visual según el tamaño del detalle, brillo o contraste de color y velocidad exigidos. Según la importancia de éstos y de otros factores, se han prescrito distintos niveles de iluminación, mediante investigaciones científicas, para los distintos tipos de locales y las diferentes tareas visuales en un hospital. Estos niveles de iluminación se presentan en el Anexo A y se consideran como niveles generales de iluminación en el IMSS.

Para niveles de iluminación inferiores a 200 lux se utilizará siempre alumbrado general. Para niveles comprendidos entre 200 lux y 1,000 lux puede complementarse el alumbrado general con un alumbrado individual o localizado, permanente o temporal, que nos permita alcanzar los valores deseados de iluminación. Para niveles superiores a 1,000 lux, el alumbrado del plano de trabajo habrá de ser localizado, lo que no excluye el necesario alumbrado general.

Los niveles de iluminación indicados en el Anexo A son los de servicio para las diferentes tareas y corresponden a la iluminación media, en medio del periodo transcurrido entre el momento en que la instalación se pone en servicio y el momento de realizar el primer mantenimiento. Esto quiere decir que la instalación debe proyectarse de forma tal que ni la suciedad de las luminarias, lámparas, paredes y techos, ni la disminución normal de la emisión luminosa de las propias lámparas hagan descender el nivel de iluminación, en ningún momento, por debajo del nivel recomendado.

Cuando no exista un área de trabajo definida, se supone que la iluminación se mide en un plano horizontal a 76 cm sobre el suelo.

3.3.2 Elección del Tipo de Lámpara y del Equipo

La elección de las fuentes de luz (de filamento o fluorescentes) depende en gran medida del aspecto del conjunto y de la economía. En ciertas aplicaciones, la gran superficie de la lámpara fluorescente es más ventajosa desde el punto de vista de bajo brillo y mínimo deslumbramiento reflejado. Por otra parte, cuando se desea un control más exacto son más efectivas las fuentes más pequeñas pero de mayor brillo.

La *lámpara de incandescencia* es de cómodo empleo y existe en el mercado una gran gama de potencias disponibles; por lo tanto, podrá resultar una buena solución en la gran parte de los problemas de alumbrado. Sin embargo, su bajo rendimiento luminoso y su duración útil media, reducida a unas 1,000 horas, restringen prácticamente su utilización a los casos en que basta con un nivel de iluminación inferior a 200 lux y cuando el número de horas de utilización anual es inferior a 2,000.

Las *lámparas fluorescentes* se imponen cuando se precisa una elevada temperatura de color (4,500 °K a 6,500 °K) es decir, para tonos blancos de luz, con predominio de los colores neutros y fríos del espectro. También resulta interesante su empleo cuando el nivel de iluminación necesario sobre el plano útil de trabajo, ha de alcanzar o sobrepasar los 200 lux sobre todo si la instalación ha de estar funcionando durante un elevado número de horas al año (2,000 horas o más).

Elección del Equipo.

La distribución de la intensidad luminosa propia para la aplicación en cada caso particular de alumbrado, es la primera consideración en la elección de un equipo de alumbrado. Las luminarias deberán elegirse de acuerdo con sus características de distribución, adecuadas a las necesidades de la situación dada.

Las conexiones eléctricas cuidadosamente hechas en las luminarias garantizan un funcionamiento eficaz y sin averías. La construcción mecánica es importante en toda clase de luminarias. La apariencia externa de la luminaria dependerá, en cierta medida, de que se trate de una instalación funcional, decorativa o una mezcla de ambas.

En esta parte del proyecto, es más fácil la consulta de los catálogos de los fabricantes de aparatos de alumbrado, para determinar qué tipo de aparato es el más apropiado, de acuerdo con sus características constructivas y con su curva de distribución luminosa.

En el proyecto de los sistemas de alumbrado para las clínicas y hospitales del IMSS, se utilizan cinco tipos básicos de luminarios:

- 1) Luminario institucional tipo empotrar o sobreponer con una o dos lámparas fluorescentes de 32 ó 34 Watts, tipo arranque rápido, color 4,100 °K, con balastro de bajas pérdidas, alto factor de potencia, con termoprotector y supresor de radio interferencia.
- 2) Luminario tipo industrial, para dos lámparas fluorescentes de 32 ó 34 Watts, tipo arranque rápido, color 4,100 °K, con balastro de bajas pérdidas, alto factor de potencia, con termoprotector y supresor de radio interferencia.

- 3) Luminario institucional tipo empotrar o sobreponer para una lámpara fluorescente de 32 ó 34 Watts, con reflector especular de placa de aluminio, con reflectancia mínima de 85%.
- 4) Luminario tipo empotrar o sobreponer con una o dos lámparas fluorescentes compactas de 13 Watts con una emisión luminosa inicial de 900 lúmenes y 10,000 horas de vida, con una temperatura de color de 2,700 °K o más.
- 5) Luminario para muro en interiores con lámpara fluorescente compacta de 13 Watts con una emisión luminosa inicial de 900 lúmenes, 10,000 horas de vida, con una temperatura de color de 2,700 °K o más.

3.3.3 Métodos de Alumbrado

Un análisis del local a iluminar y de las tareas visuales que se van a realizar determinará la selección del método de alumbrado, así como la distribución y disposición de las luminarias. Los métodos más comunes de alumbrado son los que proporcionan:

- Alumbrado General.
- Alumbrado General Localizado.
- Alumbrado Local + Alumbrado General.

Alumbrado General.

Se llama así a una disposición de las luminarias que proporcionen un nivel razonablemente uniforme de iluminación en todos los lugares de un área interior. La iluminación general se obtiene mediante una colocación regular de las luminarias bajo el área total del techo o en filas continuas de luminarias que mantienen la misma separación (fig. 3.5). Las dimensiones físicas de la habitación, las características de distribución de la luminaria, el nivel previsto de iluminación y el aspecto de la instalación son factores que determinan el emplazamiento de los equipos.

Alumbrado General Localizado.

Este tipo de alumbrado consiste en colocar los equipos de alumbrado general en zonas especiales de trabajo donde se necesitan altas intensidades, bastando con la luz emitida por dichas luminarias para iluminar las áreas contiguas (zonas de paso) normalmente al 50% de la que correspondería al motivo de la tarea visual (figura 3.6).

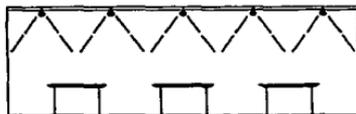


Fig. 3.5 Iluminación General

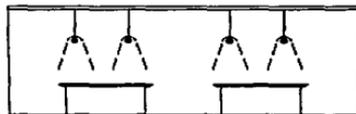


Fig. 3.6 Iluminación Localizada



Fig. 3.7 Iluminación Local + Iluminación General

Alumbrado Local + Alumbrado General.

El alumbrado local se consigue colocando luminarias cerca de la tarea visual, de manera que iluminen una pequeña área. Considerando las relaciones adecuadas entre la iluminación de la tarea y la de las áreas circundantes, el alumbrado local deberá ser complementado con el sistema de alumbrado general (figura 3.7).

Con frecuencia éste método es necesario cuando se trata de tareas visuales especiales y cuando no se puede proporcionar mayor intensidad por ninguno de los otros métodos y, asimismo, cuando se requiere luz de calidad direccional para ciertas operaciones de inspección. Se debe tener siempre gran cuidado de mantener una relación razonable entre las intensidades del alumbrado general y del suplementario, ya que una excesiva relación de brillos entre el punto de trabajo y los alrededores crea unas condiciones desagradables para la visión.

3.3.4 Altura de Suspensión de los Aparatos de Alumbrado

La altura de suspensión de los aparatos de alumbrado es una característica fundamental de todo proyecto de iluminación interior. En los locales en donde no exista una altura de suspensión determinada o normalizada de los aparatos de alumbrado, y dependiendo del tipo que se trate, la altura de suspensión de éste equipo se determinará con el siguiente criterio. Llamaremos:

d = distancia vertical de los aparatos de alumbrado al plano útil de trabajo.

d' = distancia vertical de los aparatos de alumbrado al techo.

h = altura desde el techo a dicho plano útil de trabajo.

Para iluminación directa, semi-directa y difusa la relación entre d y h será como mínimo:

$$d = \frac{2}{3} h$$

y, siempre que sea posible, se debe procurar que

$$d = \frac{3}{4} h$$

Para iluminación semi-indirecta e indirecta, la distancia entre los aparatos de alumbrado y el techo, no debe descender por debajo de cierto límite, con objeto de aprovechar la uniformidad de alumbrado de éste último. Generalmente, se toma

$$d' \approx \frac{h}{4}$$

3.3.5 Distribución de los Aparatos de Alumbrado

Casi siempre, los locales que se trata de iluminar son de forma rectangular; en este caso, los aparatos de alumbrado se sitúan formando hileras paralelas al eje mayor o al eje menor del local. La posición de los luminarios en el techo, deberá estar distribuida uniformemente y lo más cerca posible de las zonas de trabajo, respetando el nivel de iluminación y el espaciamiento máximo indicado. En los demás casos, la ubicación de los aparatos de alumbrado depende, evidentemente, de la forma que tenga el local y la superficie de trabajo.

3.3.6 Espaciamiento entre Luminarios

Debido a que el diseño del luminario tiene sus propias características de distribución de luz, es necesario conocer su relación máxima de " *Espaciamiento a Altura de Montaje* " (S/MH). Estos valores usualmente fluctúan entre 0.5 y 2.0. Esta información la proporciona el fabricante del luminario.

El máximo espaciamiento es el producto del S/MH y la altura de los luminarios arriba del plano de trabajo:

$$S_{\text{MAX}} = S/\text{MH} \times \text{MH}$$

$$\text{MH} = \text{ALTURA DE MONTAJE}$$

3.3.7 Cálculo del Flujo Luminoso Total

Una vez que se han tomado en cuenta las consideraciones de diseño y se han determinado las condiciones que se han expuesto en el presente capítulo, se ha de calcular el flujo luminoso total que necesitamos para conseguir el nivel de iluminación adecuado, cumpliendo todos los requisitos previos citados.

En instalaciones interiores la determinación del flujo luminoso se calcula por medio de dos métodos:

- *Método de Cavidad Zonal.*
- *Método Punto por Punto para Interiores.*

Estos dos métodos de cálculo se desarrollan en el capítulo 4.

3.3.8 Control del Alumbrado

El control de encendido y apagado de los luminarios en todas las zonas, deberá diseñarse en tal forma que permita tener un mínimo de 2 a 3 niveles de iluminación, que se utilizarán de acuerdo con las necesidades específicas, mediante apagadores o circuitos alternados.

Básicamente, existen cuatro formas de controlar el nivel de iluminación artificial en un interior: conmutación manual, regulación manual, conmutación automática y conmutación escalonada.

Conmutación Manual.

Cuando la iluminación en un interior producida por luz diurna *Ei* rebasa la iluminación de diseño *Ed* el usuario puede desconectar el alumbrado artificial.

Regulación Manual.

Con la regulación manual del alumbrado artificial se evitan los cambios bruscos de iluminación, inherentes a una conmutación.

Conmutación Automática.

Se pueden utilizar elementos fotoeléctricos para apagar el alumbrado artificial cuando E_i rebasa E_d .

Conmutación Escalonada.

Las desventajas de un sistema de conmutación total (es decir, los molestos cambios bruscos en el nivel de iluminación y los consiguientes problemas de adaptación) pueden hacerse menos críticas si no se apagan y encienden todas las luminarias a la vez, sino de una manera gradual o escalonada.

4

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN DE INTERIORES

4.1 MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL

4.1.1 Descripción

El *Método de Cavidad Zonal* determina los niveles de iluminación promedio horizontal de luz emitida por los luminarios dentro de un espacio cerrado. El término "Cavidad Zonal" se deriva de suponer que el espacio en consideración está dividido en cavidades sobrepuestas (máximo 3), cada una de ellas será tratada en conjunto, ya que tienen un efecto en cada una de las otras cavidades para producir iluminación uniforme. Las tres diferentes zonas o cavidades en que se divide el local son:

1. **Cavidad del Techo.** Es el área medida desde el plano del luminario al techo. Para luminarios colgantes existirá una cavidad del techo; para luminarios colocados directamente en el techo o empotrados en el mismo no existirá cavidad del techo.

2. **Cavidad del Local.** Es el espacio entre el plano de trabajo donde se desarrolla la tarea y la parte inferior del luminario; el plano de trabajo se encuentra localizado normalmente arriba del nivel del piso. En el lenguaje de iluminación la distancia desde el plano de trabajo a la parte inferior del luminario es llamada " *altura de montaje del luminario* ".
3. **Cavidad del Piso.** Se considera desde el piso a la parte superior del plano de trabajo, o bien, el nivel donde se realiza la tarea específica. Si el trabajo o tarea se desarrolla en el piso, no existe cavidad del piso. En la figura 4.1 se muestra el espaciamiento relativo de las cavidades del local, techo y piso, así como la altura de montaje de los luminarios.

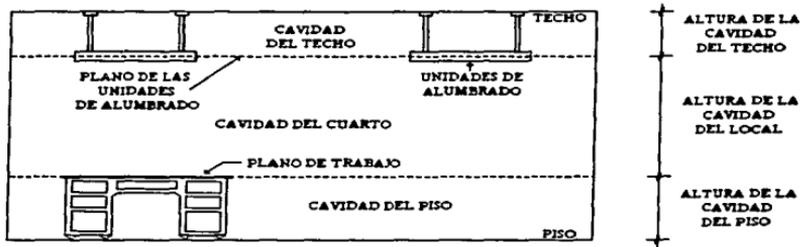


Fig. 4.1 Nomenclatura de Cavidad por Zonas.

Para nuestros cálculos nos referiremos a las tres cavidades por los símbolos normalmente usados para describirlos:

H_{CT} = Altura de la Cavidad del Techo.

H_{CL} = Altura de la Cavidad del Local.

H_{CP} = Altura de la Cavidad del Piso.

4.1.2 Teoría del Método de Cavidad Zonal

La teoría básica considerada en este método de cálculo de iluminación es que la luz producida por una lámpara o por un luminario es reflejada por todas las superficies del área. Las reflexiones múltiples de la luz desde el luminario y desde las superficies del local actúan para producir la luz en el plano de trabajo. Debido a este hecho es muy importante determinar:

1. Las dimensiones del local.
2. Las reflectancias del local referentes a techo, paredes y piso.
3. Características de la lámpara:
 - Lúmenes iniciales,
 - Lúmenes mantenidos o lúmenes medios.
4. Características del luminario:
 - Coeficiente de utilización,
 - Categoría de Mantenimiento.
5. Efectos ambientales como polvo y suciedad.
6. Mantenimiento planeado del sistema de iluminación.

4.1.3 Cálculo de Iluminación

El cálculo de iluminación está basado en la definición de la cantidad de iluminación: el "Lux".

$$\text{LUXES} = \frac{\text{LUMENES}}{\text{AREA (m}^2\text{)}} \quad \dots \quad (1)$$

La ecuación es básica, en ésta se asume que toda la luz generada (lúmenes) se vuelve iluminación en el plano de trabajo. En realidad, existe un gran número de parámetros que debilitan el sistema de iluminación. Este método de iluminación involucra cinco de ellos, los cuales se compensarán mediante la aplicación de factores adicionales a la ecuación (1):

- *Coefficiente de Utilización (CU)*.
- *Depreciación de los Lúmenes de la Lámpara (DLL)*.
- *Depreciación por Polvo en el Luminario (DPL)*.
- *Depreciación por Suciedad del Local (DPSL)*.
- *Factor de Balastro (FB)*.

Coefficiente de Utilización (CU).

El Coeficiente de Utilización es el porcentaje de luz generada por las lámparas que finalmente incide en el plano de trabajo. Este valor depende de las siguientes consideraciones:

- La eficiencia del luminario y su característica de distribución de luz.
- Las proporciones geométricas del local.
- Las reflectancias de las superficies del local.

Así, la ecuación (1) se modifica:

$$\text{LUXES} = \frac{\text{LUMENES} \times \text{CU}}{\text{AREA (m}^2 \text{)}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

Depreciación de los Lúmenes de la Lámpara (DLL).

Factor que compensa las pérdidas de los lúmenes de salida de la lámpara. El factor Depreciación de los Lúmenes de la Lámpara es proporcionado por el fabricante de la lámpara.

Depreciación por Polvo en el Luminario (DPL).

Compensa las pérdidas ocasionadas por la acumulación de polvo en lámparas y luminarios. El valor depende del diseño del luminario y de las condiciones ambientales. El factor DPL se determina con una exactitud aproximada mediante el empleo de la tabla y gráficas mostradas en la tabla 4.3.

Para determinar DPL:

1. Determine la categoría de mantenimiento del luminario.
2. Entre a la línea inferior con el " Ciclo de Mantenimiento Asumido " (en meses).
3. Siga hacia arriba hasta la intersección con la " Condición de Suciedad " esperada.
4. Siga hacia la izquierda hasta la escala vertical y extraiga el DPL.

Depreciación por Suciedad del Local (DPSL).

Compensa las pérdidas que ocasiona la suciedad en la reflectividad de las superficies del local. El factor DPSL se obtiene de la tabla 4.4 mediante el siguiente procedimiento:

A. Refierase a la pequeña gráfica en la parte superior izquierda.

1. Entre a la línea inferior con el ciclo de mantenimiento propuesto en meses.
2. Siga hacia arriba hasta la intersección con la curva que pertenece a la condición de suciedad ambiental esperada.
3. Siga hacia la izquierda hasta la escala vertical: extraiga el " Por ciento de Depreciación por Suciedad Esperado ".

B. Refierase a la tabla.

1. Use el valor anterior (3) para entrar a la segunda línea de la tabla del DPSL, bajo el tipo apropiado de curva de distribución del luminario.
2. Entre a la columna izquierda con RCL¹.
3. En la intersección de (1) y (2), extraiga DPSL interpolando si es necesario.

Factor de Balastro (FB).

Para balastos que llevan el rótulo CBM (Certified Ballast Manufactures Association) tomar 0.95. Para reactancias sin dicho rótulo el factor de balastro es generalmente más bajo. Este dato lo debe proporcionar el fabricante del balastro.

Factor de Pérdida de Luz (FPL).

El *Factor de Pérdida de Luz* (FPL) es el producto de los 3 factores de depreciación y el factor de balastro:

$$FPL = DLL \times DPL \times DPSL \times FB \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (3)$$

¹ RCL = Relación de Cavidad del Local. Este factor se determina en la sección 4.1.5.

Incluyendo el factor FPL en la ecuación (2)

$$\text{LUXES} = \frac{\text{LUMENES} \times \text{CU} \times \text{FPL}}{\text{AREA (m}^2\text{)}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (4)$$

4.1.4 Ecuaciones de Trabajo

El diseño de iluminación implica la determinación del número total de lúmenes (por tanto, la cantidad de luminarios) requeridos para producir un nivel específico de luxes, el cual es un valor conocido. Los demás factores de la ecuación (4) son determinables, por lo tanto, es conveniente transformar la ecuación para determinar el total de lúmenes desconocidos.

$$\text{LUMENES TOTALES} = \frac{\text{LUXES} \times \text{AREA}}{\text{CU} \times \text{FPL}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (5)$$

Cada luminario tiene un número conocido de lámparas; cada lámpara genera una cantidad conocida de lúmenes. Por tanto, la cantidad de lúmenes producidos dentro de cada luminario es:

$$\text{LUMENES POR LUMINARIO} = \text{N}^\circ \text{ DE LAMPS.} \times \text{LUMENES POR LAMP.} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

El paso final consiste en determinar el número requerido (N) de luminarios:

$$N = \frac{\text{LUMENES TOTALES}}{\text{LUMENES POR LUMINARIO}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (7)$$

Una vez determinado " N ", se traslada esta información al arreglo de luminarios. La geometría del local y/o las condiciones mecánicas pueden requerir ligeras modificaciones a la cantidad de luminarios.

4.1.5 Determinación del Coeficiente de Utilización (CU)

El Coeficiente de Utilización (CU) apropiado se extrae de tablas calculadas y proporcionadas por el fabricante del luminario. Antes de que el CU se pueda extraer es necesario determinar varios factores de entrada. Estos involucran cálculos preliminares y/o referencia a otras tablas.

Los factores de entrada son:

1. Porcentaje de reflectancia efectiva de la cavidad del techo (P_{CT}).
2. Porcentaje de reflectancia de la pared (P_w).
3. Relación de cavidad del local (RCL o RCR).

Las " Reflectancias Efectivas " se extraen de tablas y son una modificación de las reflectancias reales de las superficies del local, sin embargo, es necesario primero determinar las relaciones de cavidad.

Determinación de las Relaciones de Cavidad.

Las relaciones de cavidad se determinan mediante las siguientes fórmulas:

Relación de Cavidad del Local

$$RCL = \frac{5 H_{CL} (L + A)}{L \times A}$$

Relación de Cavidad del Techo

$$RCT = \frac{5 H_{CT} (L + A)}{L \times A}$$

Relación de Cavidad del Piso

$$RCP = \frac{5 H_{CP} (L + A)}{L \times A}$$

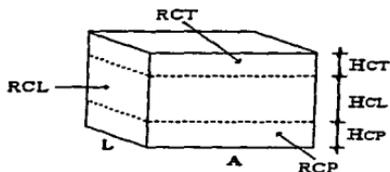


Fig. 4.2

La longitud (L) y el ancho (A) son constantes, entonces, se puede calcular RCL y en función de éste RCT y RCP (cada uno es proporcional al otro de acuerdo a su valor de altura, H):

$$RCT = RCL \frac{HCT}{HCL}$$

$$RCP = RCL \frac{HCP}{HCL}$$

Determinación de las Reflectancias Efectivas de las Cavidades.

Las reflectancias efectivas de las cavidades se extraen de la tabla 4.1. Para obtener la reflectancia efectiva de la cavidad del techo (Pcr):

1. Entre a la columna izquierda de la tabla con RCT.
2. Entre a la línea superior con la reflectancia real del techo.
3. Entre a la segunda línea con la reflectancia real de la pared.
4. Obtenga la reflectancia efectiva de la cavidad del techo en la intersección de (1) con (2) y (3).

Para obtener la reflectancia efectiva de la cavidad del piso (Pcp):

1. Entre a la columna izquierda de la tabla con RCP.
2. Entre a la línea superior con la reflectancia real del piso.
3. Entre a la segunda línea con la reflectancia real de la pared.

4. Obtenga la reflectancia efectiva de la cavidad del piso en la intersección de (1) con (2) y (3).

Si todas las superficies son altamente reflectivas, o si los luminarios se encuentran localizados directamente en el techo, no será necesario efectuar este cálculo. En este caso se puede usar el valor actual de las reflectancias de las superficies (estimadas o medidas) para determinar el coeficiente de utilización.

Extracción del CU.

Para extraer el CU:

1. Entre a la columna de RCL con el valor apropiado.
2. Entre a la línea superior con Pcr.
3. Entre a la segunda línea con Pw.
4. Obtenga el CU en la intersección de (1), (2) y (3).

En ocasiones es necesario interpolar valores de CU para obtener el buscado. Los valores de CU varían casi linealmente, por lo que la interpolación a utilizar es lineal. Las tablas de CU están calculadas para locales que tengan una reflectancia de la cavidad del piso de 20%. Si el Pcr que se tenga varía notablemente de 20%, es necesario corregir el CU con un " Factor de Multiplicación ".

Ajuste del CU.

La tabla 4.2 se usa para este propósito. El procedimiento de entrada es exactamente el mismo que el descrito para el uso de la tabla de CU: RCL en la columna izquierda; las reflectancias efectivas de las cavidades de techo y piso a lo largo de las líneas superiores. El factor de multiplicación se extrae de la intersección.

El CU " ajustado " es simplemente el producto de ese factor y el CU " original ".

$$CU_{AJUSTADO} = CU_{ORIGINAL} \times \text{FACTOR DE MULTIPLICACION}$$

Y es el valor que entonces va a ser utilizado en la ecuación (5) para calcular los lúmenes totales.

4.1.6 Arreglo de Luminarios

El paso inicial para el arreglo es determinar el espaciamiento de luminarios.

A. Luminarios de Montaje Individual.

1. Determine el Area por Luminario

$$\text{AREA POR LUMINARIO} = \frac{\text{AREA DEL LOCAL}}{\text{NUMERO DE LUMINARIOS}} \rightarrow a = \frac{A}{N}$$

2. Determine el Espaciamiento Aproximado

$$\text{ESPACIAMIENTO APROXIMADO} = \sqrt{\text{AREA POR LUMINARIO}} \rightarrow s = \sqrt{a}$$

B. Hileras Continuas de Luminarios Fluorescentes.

1. Determine el Area por Luminario

$$\text{AREA POR LUMINARIO} = \frac{\text{AREA DEL LOCAL}}{\text{NUMERO DE LUMINARIOS}} \rightarrow a = \frac{A}{N}$$

2. Determine el Espaciamiento de las Hileras

$$\text{ESPACIAMIENTO} = \frac{\text{AREA POR LUMINARIO}}{\text{LONGITUD DEL LUMINARIO}} \rightarrow S = \frac{a}{L}$$

Comprobación del Máximo Espaciamiento: Utilizando la Relación " S/MH ".

Debido a que el diseño del luminario tiene sus propias características de distribución de luz (los ángulos de sus rayos de luz), es necesario conocer su relación máxima de " *Espaciamiento a Altura de Montaje* " (S/MH). Estos valores usualmente fluctúan entre 0.5 y 2.0. Esta información la proporciona el fabricante del luminario.

El máximo espaciamiento es el producto del S/MH y la altura de los luminarios arriba del plano de trabajo:

$$S_{MAX} = S/MH \times MH$$

$$MH = \text{ALTURA DE MONTAJE}$$

Espaciamiento Pared a Luminario.

El espaciamiento excesivo entre una pared y los luminarios adyacentes producen dos efectos adversos:

1. Se reduce la iluminación horizontal cerca de la pared.
2. Se reduce la iluminación vertical sobre la pared.

Es buena práctica observar las siguientes reglas.

FUNCION	TIPO DE ILUMINACION	MAXIMO ESPACIAMIENTO DE HILERAS	ESPACIAMIENTO PARED-LUMINARIO	
			DESEABLE	MAXIMO
OFICINAS	FLUORESCENTE	1 x MH	30 - 50 cm	60 cm
INDUSTRIAL	FLUORESCENTE	1 x MH	1/3 MH	1/2 MH
	HID	S/MH x MH	1/3 MH	1/2 MH

Fig. 4.3

4.1.7 Tablas para el Cálculo

- Tabla 4.1 Porcentaje de las Reflectancias Efectivas de Techo o Piso para Varias Combinaciones de Reflectancias.
- Tabla 4.2 Factores Utilizados para Reflectancias Efectivas de Piso Diferentes al 20 %.
- Tabla 4.3 Curvas de Degradación por Suciedad en el Luminario.
- Tabla 4.4 Factores de Depreciación por Suciedad Acumulada en las Superficies del Cuarto.
- Tabla 4.5 Hoja de Cálculo.

TABLA 41
 PORCENTAJE DE LAS REFLECTANCIAS EFECTIVAS DE TECHO O PISO PARA VARIAS COMBINACIONES DE REFLECTANCIAS

% de Reflectancia Base ^a	90					80					70					60					50				
	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50	90	80	70	60	50
0.2	89.88	88.87	86.85	85.84	84.82	79.78	78.77	77.76	75.75	74.72	70.69	68.68	67.67	66.66	65.64	59.59	59.59	58.57	56.56	55.55	54.50	49.48	48.47	47.46	46.44
0.4	88.87	80.85	84.81	81.80	79.78	79.77	76.75	75.74	73.72	71.70	69.68	67.66	65.64	63.62	61.60	59.59	58.57	55.54	53.52	51.50	50.49	48.47	46.45	44.43	42.41
0.6	87.86	84.82	80.79	77.76	74.73	74.76	73.74	71.70	68.66	65.63	64.63	64.63	61.59	58.57	54.54	64.58	57.56	55.53	51.51	50.49	50.48	47.46	45.44	43.42	41.38
0.8	85.85	82.80	77.75	73.71	69.67	74.75	76.71	69.67	65.63	61.57	68.66	64.62	60.58	56.55	53.50	57.56	56.55	54.51	48.47	46.43	50.48	47.46	44.44	40.39	38.36
1.0	86.85	80.77	75.72	69.66	64.62	77.74	72.68	67.65	62.60	57.55	68.65	62.60	58.55	53.50	47.47	57.55	53.51	48.44	43.41	37.34	50.48	46.43	41.38	37.34	33.29
1.2	85.82	78.75	76.69	66.63	60.57	76.73	70.67	64.61	58.55	53.51	67.64	61.59	57.54	50.48	46.44	59.56	54.51	49.46	44.42	40.38	50.47	45.43	41.39	36.34	32.29
1.4	85.80	77.73	69.65	62.59	57.52	76.72	68.65	62.59	55.53	50.48	67.63	60.58	55.51	47.45	44.41	59.56	53.49	47.44	41.39	38.36	50.47	45.43	41.39	35.34	31.29
1.6	84.79	75.71	67.63	59.56	53.50	75.71	67.63	60.57	53.50	47.44	67.62	59.56	53.47	45.41	41.38	53.52	48.45	42.39	37.35	33.31	50.47	44.41	39.36	33.32	30.26
1.8	83.78	73.69	64.60	56.53	50.48	75.70	66.62	58.54	50.47	44.41	66.61	58.54	51.46	42.40	38.35	53.51	47.44	41.39	35.34	31.29	50.46	43.40	38.35	34.30	28.25
2.0	83.77	72.67	62.56	53.50	47.43	74.69	64.60	56.52	48.45	41.38	66.60	56.52	49.45	40.38	36.32	53.50	46.43	39.35	33.31	29.26	50.46	43.40	37.34	30.28	26.24
2.2	82.76	70.65	59.54	50.47	44.40	74.68	63.58	54.49	45.42	38.35	66.60	55.51	48.43	38.36	34.32	53.49	45.42	37.34	31.29	27.23	50.46	42.38	36.33	29.27	24.22
2.4	82.75	69.64	58.53	48.45	41.37	73.67	61.56	52.47	43.40	36.33	66.60	54.50	46.41	37.35	32.30	53.48	44.41	36.32	30.27	26.21	50.46	41.39	35.34	28.28	23.23
2.6	81.74	67.62	56.51	46.42	38.35	73.66	60.55	50.45	41.38	34.31	65.59	54.49	45.40	35.33	30.28	53.48	43.39	35.31	28.26	24.21	50.46	41.37	34.30	26.25	21.20
2.8	81.73	66.60	54.49	44.40	36.34	73.65	59.54	48.43	39.36	32.29	65.59	53.48	43.38	34.32	29.27	53.47	43.38	34.30	27.24	23.19	50.46	41.36	33.29	25.22	20.17
3.0	80.72	64.58	52.47	42.38	34.30	72.65	58.52	47.42	37.34	30.27	64.58	52.47	42.37	32.29	27.24	52.46	42.37	32.28	25.23	21.19	50.45	40.36	32.28	24.21	19.17
3.2	79.71	63.56	50.45	40.36	32.28	72.65	57.51	45.40	35.33	28.25	64.58	51.46	40.36	31.28	25.23	51.45	41.36	31.27	25.22	21.18	50.44	39.35	31.27	23.20	18.16
3.4	79.70	62.54	48.43	38.34	30.27	71.64	56.49	44.39	34.32	27.24	64.57	50.45	39.35	29.27	24.22	51.45	40.36	30.26	23.20	19.17	50.44	39.34	29.25	21.18	15.13
3.6	78.69	61.53	47.42	36.32	28.25	71.63	55.48	43.38	32.25	25.21	63.56	49.44	38.33	28.25	23.20	50.44	39.34	29.25	22.19	18.16	50.44	39.34	26.22	19.17	13.12
3.8	78.68	60.51	45.40	35.31	27.23	70.62	54.47	41.37	30.24	24.22	63.56	49.43	37.32	27.24	21.19	50.43	38.33	29.24	21.19	15.13	50.44	38.34	28.25	21.17	15.13
4.0	77.60	58.51	44.39	33.29	25.22	70.61	53.46	40.36	30.23	22.20	63.55	48.42	36.31	26.24	20.19	50.42	37.32	28.23	20.18	14.09	50.44	38.33	28.24	20.17	14.09
4.2	77.62	57.50	43.37	32.28	24.20	69.60	52.45	39.34	29.23	21.18	62.55	47.41	35.30	25.22	19.16	50.42	37.32	27.22	19.17	13.09	50.43	37.32	28.24	20.17	14.02
4.4	76.63	56.49	42.36	31.27	23.20	69.59	51.44	38.33	28.24	20.17	62.54	46.40	34.29	24.21	18.15	50.42	36.31	27.22	19.16	13.09	50.43	37.32	27.23	19.16	13.09
4.6	75.64	55.47	40.35	30.26	22.19	69.59	50.43	37.32	27.23	19.15	62.54	45.39	33.28	24.21	17.14	50.42	35.30	26.21	18.16	13.09	50.43	36.31	26.22	18.15	13.09
4.8	75.59	54.46	39.34	28.25	21.18	68.58	49.42	36.31	26.22	18.14	62.53	45.38	32.27	24.20	16.13	50.41	34.29	25.21	18.15	12.06	50.43	36.31	25.22	17.14	12.06
5.0	75.54	53.45	38.33	28.24	20.16	68.58	48.41	35.30	25.21	18.14	62.52	44.36	31.26	22.19	16.12	50.40	34.28	24.20	17.14	11.03	50.42	35.30	25.22	17.14	12.06
6.0	75.61	49.43	34.29	24.20	16.11	66.55	44.38	31.27	22.19	15.10	60.51	41.35	28.24	19.16	13.09	53.45	37.31	25.21	17.14	11.03	50.42	34.29	23.19	15.10	10.06
7.0	70.58	45.38	30.27	21.18	14.08	64.53	41.35	28.24	19.16	12.07	58.48	38.32	26.22	17.14	11.03	52.43	35.30	24.20	15.12	10.05	49.44	34.29	19.16	12.07	10.05
8.0	68.55	42.35	27.23	18.15	12.06	62.50	38.32	25.21	17.14	11.05	57.46	35.29	23.19	15.13	10.05	50.41	34.29	23.19	15.13	10.05	49.44	34.29	18.15	12.07	10.05
9.0	66.52	38.31	25.21	16.14	11.05	60.49	36.30	23.19	15.11	10.04	56.45	33.27	21.18	12.09	10.04	52.40	31.26	20.16	12.07	10.05	48.39	29.24	18.15	11.09	07.03
10.0	65.51	36.29	22.19	15.11	10.04	59.46	33.27	21.18	11.08	07.03	55.43	31.25	19.16	12.09	10.03	51.39	29.24	18.15	11.09	07.02	47.37	27.22	17.14	10.08	06.02

^aTecho, piso, o piso de la cantidad

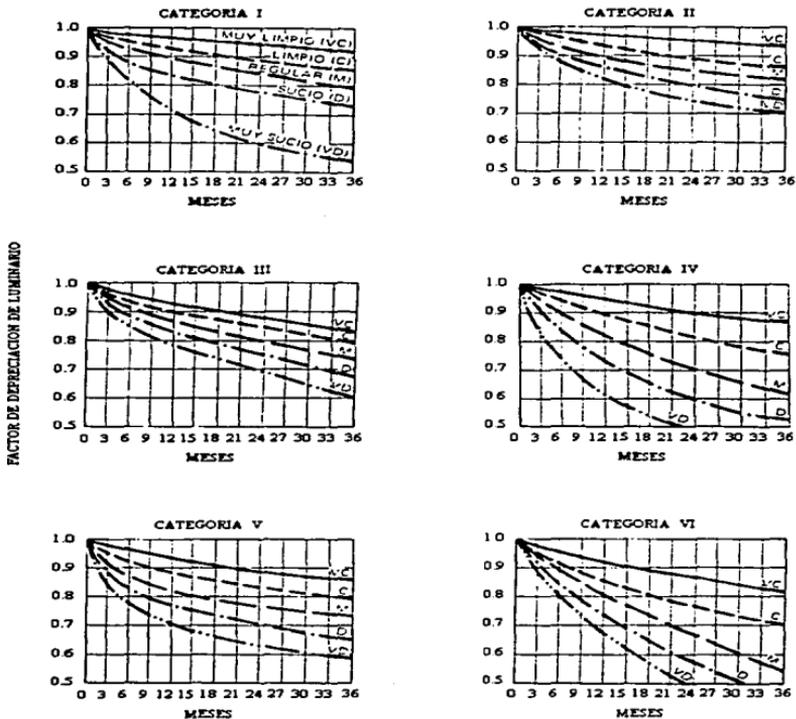
TABLA 4.2
FACTORES UTILIZADOS PARA REFLECTANCIAS EFECTIVAS DE PISO DIFERENTES AL 20%

% DE REFLECTANCIA EFECTIVA DE CAVIDAD DE TECHO. Pcc	80				70				50				30				10			
	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
RELACION DE CAVIDAD DEL LOCAL																				
Para 30% de Reflectancia Efectiva de Cavidad de Piso (20% = 1.00)																				
1	1.09	1.08	1.08	1.07	1.08	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
2	1.08	1.07	1.06	1.05	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
3	1.07	1.05	1.04	1.03	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
4	1.06	1.05	1.03	1.02	1.06	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
5	1.06	1.04	1.03	1.02	1.05	1.03	1.02	1.02	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
6	1.05	1.03	1.02	1.01	1.05	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
7	1.05	1.02	1.02	1.01	1.04	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
8	1.04	1.03	1.02	1.01	1.04	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
9	1.04	1.02	1.01	1.01	1.04	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
10	1.04	1.02	1.01	1.01	1.03	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
RELACION DE CAVIDAD DEL LOCAL																				
Para 10% de Reflectancia Efectiva de Cavidad de Piso (20% = 1.00)																				
1	0.92	0.93	0.94	0.94	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.94	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
3	0.94	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
4	0.94	0.96	0.97	0.98	0.95	0.96	0.97	0.98	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
5	0.95	0.96	0.98	0.98	0.95	0.97	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
6	0.95	0.97	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
7	0.96	0.97	0.98	0.99	0.96	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00
8	0.96	0.98	0.99	0.99	0.96	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00
9	0.96	0.98	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00
10	0.97	0.98	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00
RELACION DE CAVIDAD DEL LOCAL																				
Para 0% de Reflectancia Efectiva de Cavidad de Piso (20% = 1.00)																				
1	0.86	0.87	0.88	0.89	0.87	0.88	0.89	0.90	0.92	0.92	0.93	0.95	0.95	0.96	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
2	0.87	0.89	0.90	0.92	0.89	0.90	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
3	0.88	0.90	0.92	0.94	0.90	0.92	0.93	0.95	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
4	0.89	0.92	0.94	0.96	0.91	0.93	0.95	0.96	0.95	0.96	0.97	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
5	0.90	0.93	0.95	0.97	0.91	0.94	0.96	0.97	0.95	0.97	0.98	0.96	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
6	0.91	0.94	0.96	0.98	0.92	0.95	0.97	0.98	0.96	0.97	0.99	0.97	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00
7	0.92	0.95	0.97	0.99	0.92	0.95	0.97	0.98	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00
8	0.92	0.95	0.97	0.99	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00
9	0.93	0.96	0.98	0.99	0.93	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.97	0.99	1.00	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00
10	0.93	0.96	0.98	0.99	0.94	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.97	0.99	1.00	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00

TABLA 4.3
DESCRIPCION DE LAS ENVOLVENTES SUPERIOR E INFERIOR DE LAS LUMINARIAS PARA
OBTENER SU CATEGORIA DE MANTENIMIENTO

CATEGORIAS DE MANTENIMIENTO	ENVOLVENTE SUPERIOR	ENVOLVENTE INFERIOR
I	1) NINGUNA.	1) NINGUNA.
II	1) NINGUNA. 2) TRANSPARENTE CON 15 *° O MAS DE COMPONENTE DE LUZ HACIA ARRIBA A TRAVES DE ABERTURAS. 3) TRANSLUCIDO CON 15 *° O MAS DE COMPONENTE DE LUZ HACIA ARRIBA A TRAVES DE ABERTURAS. 4) OPACO CON 15 *° O MAS DE COMPONENTE DE LUZ HACIA ARRIBA A TRAVES DE ABERTURAS.	1) NINGUNA. 2) LOUVERS O BAFFLES (REJILLAS O DEFLECTOR).
III	1) TRANSPARENTE CON MENOS DE 15*° DE COMPONENTE DE LUZ HACIA ARRIBA A TRAVES DE ABERTURAS. 2) TRANSLUCIDO CON MENOS DE 15 *° DE COMPONENTE DE LUZ HACIA ARRIBA A TRAVES DE ABERTURAS. 3) OPACO CON MENOS DE 15*° DE COMPONENTE DE LUZ HACIA ARRIBA A TRAVES DE LAS ABERTURAS.	1) NINGUNA. 2) LOUVERS O BAFFLES (REJILLAS O DEFLECTORES).
IV	1) TRANSPARENTE SIN ABERTURAS. 2) TRANSLUCIDO SIN ABERTURAS. 3) OPACO SIN ABERTURAS.	1) NINGUNO. 2) LOUVERS (REJILLAS).
V	1) TRANSPARENTE SIN ABERTURAS. 2) TRANSLUCIDO SIN ABERTURAS. 3) OPACO SIN ABERTURAS.	1) TRANSPARENTE SIN ABERTURAS. 2) TRANSLUCIDO SIN ABERTURAS.
VI	1) NINGUNO 2) TRANSPARENTE SIN ABERTURAS. 3) TRANSLUCIDO SIN ABERTURAS. 4) OPACO SIN ABERTURAS.	1) TRANSPARENTE SIN ABERTURAS. 2) TRANSLUCIDO SIN ABERTURAS. 3) OPACO SIN ABERTURAS.

TABLA 4.3a CURVAS DE DEGRADACION POR SUCIEDAD EN EL LUMINARIO



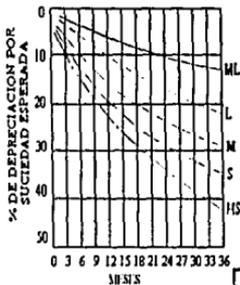


TABLE 4.4
FACTORES DE DEPRECIACION POR SUCIEDAD ACUMULADA
EN LAS SUPERFICIES DEL CUARTO

*FACTOR DE DEPRECIACION POR SUCIEDAD ACUMULADA	TIPO DE DISTRIBUCION DE LUMINARIAS																			
	DIRECTO				SEMI-DIRECTO				DIRECTO-INDIRECTO				SEMI-INDIRECTO				INDIRECTO			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
RELACION DE CAVIDAD DEL LOCAL																				
1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.97	0.92	0.89	0.84	0.94	0.87	0.80	0.76	0.94	0.87	0.80	0.73	0.90	0.80	0.70	0.60
2	0.98	0.96	0.94	0.92	0.96	0.92	0.88	0.83	0.94	0.87	0.80	0.75	0.94	0.87	0.79	0.72	0.90	0.80	0.69	0.59
3	0.98	0.95	0.93	0.90	0.96	0.91	0.87	0.82	0.94	0.86	0.79	0.74	0.94	0.86	0.78	0.71	0.90	0.79	0.68	0.58
4	0.97	0.95	0.92	0.90	0.95	0.90	0.85	0.80	0.94	0.86	0.79	0.73	0.94	0.86	0.78	0.70	0.89	0.78	0.67	0.56
5	0.97	0.94	0.91	0.89	0.94	0.90	0.84	0.79	0.93	0.86	0.78	0.72	0.93	0.86	0.77	0.69	0.89	0.78	0.66	0.55
6	0.97	0.94	0.91	0.88	0.94	0.89	0.83	0.78	0.93	0.85	0.78	0.71	0.93	0.85	0.76	0.68	0.89	0.77	0.66	0.54
7	0.97	0.94	0.90	0.87	0.93	0.88	0.82	0.77	0.93	0.84	0.77	0.70	0.93	0.84	0.76	0.68	0.89	0.76	0.65	0.53
8	0.96	0.93	0.89	0.86	0.93	0.87	0.81	0.75	0.93	0.84	0.76	0.69	0.93	0.84	0.76	0.68	0.88	0.76	0.64	0.52
9	0.96	0.92	0.88	0.85	0.93	0.87	0.80	0.74	0.93	0.84	0.76	0.68	0.93	0.84	0.75	0.67	0.88	0.75	0.63	0.51
10	0.96	0.92	0.87	0.83	0.93	0.86	0.79	0.72	0.93	0.84	0.75	0.67	0.92	0.83	0.75	0.67	0.88	0.75	0.62	0.50

HOJA DE CALCULO PARA EL METODO DE CAVIDAD ZONAL

INFORMACION DEL LOCAL

NIVEL DE ILUMINACION

LUXES

IDENTIFICACION

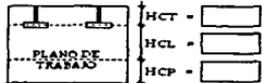
DIMENSIONES DEL LOCAL L A ALTURA

REFLECTANCIAS TECHO (P_T) PAREDES (P_W) PISO (P_F)

RELACIONES DE CAVIDAD $PCL = \frac{5 \cdot HCL(L+A)}{(L \times A)} = 5 \times \left(\frac{\quad}{\quad} \right) =$

$RCT = RCL \left[\frac{HCT}{HCL} \right] = \left[\frac{\quad}{\quad} \right] =$

$RCP = RCL \left[\frac{HCP}{HCL} \right] = \left[\frac{\quad}{\quad} \right] =$



HCT =

HCL =

HCP =

PCL =

FCT =

Fcp =

DATOS LAMPARA / LUMINARIO

LUMINARIO No. TIPO CAT MANTO COND. SUCIEDAD CICLO DE LIMPIEZA MESES SMH

LAMPARA LUMENES LAMPARAS/LUMINARIO LUMENES/LUMINARIO

DLL × EPL × DPL × FB = FPL

COEFICIENTE DE UTILIZACION (CU) × = CU CORREGIDO

CALCULOS

LUMENES TOTALES = $\frac{LUMENES \times AREA}{CU \times FPL}$ =

No DE LUMINARIOS = $\frac{LUMENES TOTALES}{LUMENES POR LUMINARIO}$ =

DATOS DE ESPACIAMIENTO

AREA POR LUMINARIO AL = $\frac{AREA TOTAL}{No DE LUMINARIOS}$ =

ESPACIAMIENTO APROXIMADO PARA UNIDADES INDIVIDUALES = \sqrt{AL} =

PARA TIRAS CONTINUAS = $\frac{AL}{LONGITUD DEL LUMINARIO}$ =

COMPROBACION DEL ESPACIAMIENTO HCL × SMH = ESPACIAMIENTO MAXIMO

DATOS FINALES

No DE LUMINARIOS ESPACIAMIENTO LUXES
 $LX = \frac{LT \times FPL \times CU}{AREA}$

CALCULADO POR

FECHA

4.2 METODO PUNTO POR PUNTO

4.2.1 Descripción

El cálculo de iluminación en un punto, ya sea en un plano horizontal, en un plano vertical o en uno inclinado, consiste en dos partes: una componente directa y una reflejada. El total de esas dos componentes es la iluminación en el punto en cuestión.

Generalmente, éste tipo de cálculos se realizan con sistemas de alumbrado general localizado y con sistemas de alumbrado individual que suministran iluminación directa con manantiales luminosos prácticamente puntiformes; además, en estos casos casi todo el flujo luminoso que llega al plano de trabajo procede directamente del manantial luminoso, hasta el extremo de que podemos considerar despreciable la fracción de flujo luminoso que llega a dicho plano de trabajo, previa reflexión en techo y paredes.

4.2.2 Teoría

Para aplicar este método es necesario conocer, de un modo exacto, la posición en el espacio de las superficies que se trata de iluminar.

Ley del Cuadrado Inverso de la Distancia.

Para una fuente luminosa, " las iluminancias en diferentes superficies situadas perpendicularmente a la dirección de la radiación son directamente proporcionales a la intensidad luminosa de la fuente, e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa de la misma ".

$$E = \frac{I}{d^2}$$

donde:

E = Iluminación en el plano normal al rayo de luz.

I = Candelas de la fuente en la dirección del rayo de luz.

d = Distancia de la fuente al plano.

La ley del inverso del cuadrado de la distancia (fig. 4.4) se cumple cuando se trata de una fuente puntual, de superficies perpendiculares a la dirección del flujo luminoso y cuando la distancia es grande en relación al tamaño del foco; se considera suficientemente aplicable, si la distancia es por lo menos cinco veces la máxima dimensión de la fuente luminosa.

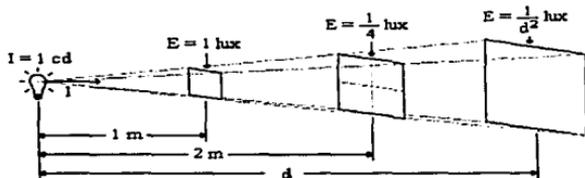


Fig. 4.4 Ley de la inversa de los cuadrados.

Ley del Coseno.

En el caso anterior la superficie estaba situada perpendicularmente a la dirección de los rayos luminosos, pero cuando forma con ésta un determinado ángulo α , la fórmula de la ley del cuadrado inverso de la distancia hay que multiplicarla por el coseno del ángulo correspondiente cuya expresión constituye la llamada " Ley del Coseno " (fig. 4.5).

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

" La iluminación en un punto cualquiera de una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado ".

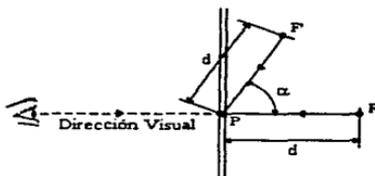


Fig. 4.5 Ley del Coseno.

4.2.3 Fórmulas Básicas

Cuando se dispone de la curva de distribución de la fuente, pueden usarse para determinar la iluminación sobre superficies horizontales o verticales (figura 4.6) las siguientes fórmulas:

Iluminación en el Plano Horizontal.

$$E_{H} = \frac{I_{\alpha}}{d^2} \cos \alpha$$

$$E_H = \frac{I_{\alpha} \times h}{d^3} = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cos^3 \alpha$$

Iluminación en el Plano Vertical.

$$E_V = \frac{I_{\alpha}}{d^2} \sin \alpha$$

$$E_V = \frac{I_{\alpha} \times a}{d^3} = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha$$

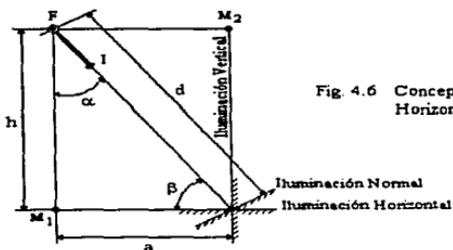


Fig. 4.6 Concepto de Iluminación Vertical, Horizontal y Normal de un punto.

Cuando en el proyecto se precisan los dos valores E_H y E_V , se calculará primero el valor de E_H y después el de E_V de acuerdo con la igualdad:

$$E_V = E_H \tan \alpha$$

Los valores de la intensidad luminosa bajo los distintos ángulos α , I_α , se obtienen de la curva fotométrica del aparato de alumbrado.

Iluminación en Cualquier Plano.

Ver figura 4.7

$$E_P = \frac{I_\psi}{d^2} \cos \psi$$

Cuando la superficie de trabajo (ya sea horizontal, vertical o inclinada) reciba luz de dos o más manantiales luminosos, la iluminación total en un punto de dicha superficie será la suma de las iluminaciones parciales correspondientes a cada manantial luminoso.

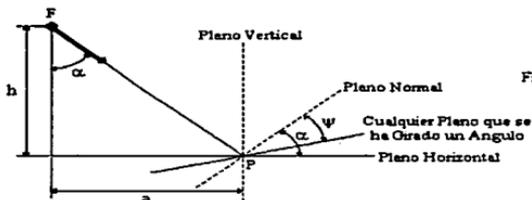


Fig. 4.7 Iluminación sobre un punto de un plano que se ha girado a través de un ángulo.

4.2.4 Método Simplificado

Para facilitar el cálculo del nivel luminoso en luxes en el plano horizontal se anexa la tabla 4.6. Esta se utiliza mediante los siguientes tres pasos:

- Determine el ángulo α en grados en la parte superior del cuadro.
- De la curva de distribución fotométrica de la fuente luminosa determine la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección particular.
- Multiplique la intensidad luminosa (candelas) por el factor multiplicador, el cual se encuentra en la parte inferior del cuadro y luego divida el resultado por la intensidad luminosa (100 ó 100,000) en que se basa la parte que se maneja de la tabla. La respuesta así obtenida es la iluminación en luxes en ese punto.

La tabla puede emplearse también para calcular la iluminación sobre una superficie vertical, en puntos fuera del plano vertical que comprende la fuente luminosa. Para ello se usa el factor de multiplicación encontrado al utilizar la tabla al revés: la altura de la fuente luminosa se leerá sobre la escala de distancias horizontales y viceversa.

TABLA 4.6 PARA EL CALCULO DEL NIVEL LUMINOSO SEGUN EL METODO PUNTO POR PUNTO

Cifras de la parte superior - Angulo entre la dirección de la luz y el eje vertical.

Cifras de la parte inferior - Luz sobre el plano horizontal para la intensidad luminosa de la fuente de esa dirección.

		DISTANCIA HORIZONTAL AL P.E. DE LA FUENTE DE LUZ, METROS																										
		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	10.5	12	15
		LUX POR CADA 100 Candelas																										
0.6	0°	27	43	56	63	68	71	74	76	78	79	80	81	81	82	82	83	84	84	85	85	85	86	86	87	87	87	
	250	178	188.5	190	202	210	218	228	238	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	
0.9	0°	18	34	43	51	57	61	67	69	72	73	75	76	77	78	79	80	81	81	82	83	83	84	84	85	85	86	
	111	95.0	64.0	60.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0	69.0	70.0	71.0	72.0	73.0	74.0	75.0	76.0	77.0	78.0	79.0	80.0	81.0	82.0	
1.2	0°	14	27	37	43	51	56	62	63	66	68	70	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	82	83	84	
	62.5	57.0	44.7	42.0	42.1	43.2	44.3	45.4	46.5	47.6	48.7	49.8	50.9	52.0	53.1	54.2	55.3	56.4	57.5	58.6	59.7	60.8	61.9	63.0	64.1	65.2	66.3	
1.5	0°	11	22	31	39	45	50	56	60	63	66	68	70	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	82	83	
	40.0	37.7	32.0	32.2	33.0	33.8	34.6	35.4	36.2	37.0	37.8	38.6	39.4	40.2	41.0	41.8	42.6	43.4	44.2	45.0	45.8	46.6	47.4	48.2	49.0	49.8	50.6	
2.1	0°	8	18	27	34	40	45	49	53	56	59	61	63	66	67	68	69	71	73	74	75	76	77	78	79	80	81	
	27.8	26.7	23.7	23.9	24.6	25.3	26.0	26.7	27.4	28.1	28.8	29.5	30.2	30.9	31.6	32.3	33.0	33.7	34.4	35.1	35.8	36.5	37.2	37.9	38.6	39.3	40.0	
2.4	0°	8	16	23	30	36	41	45	49	52	55	58	60	62	63	65	66	68	70	71	72	74	75	76	77	79	81	
	20.4	19.8	18.1	18.9	19.4	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.9	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	27.4	27.9	28.4	28.9	29.4	29.9	30.4	
2.7	0°	7	14	21	27	32	37	41	45	48	51	54	56	58	60	62	63	65	66	68	70	71	73	74	75	77	80	
	15.6	15.3	14.1	13.9	14.2	14.5	14.8	15.1	15.4	15.7	16.0	16.3	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.4	18.7	19.0	19.3	19.6	19.9	20.2	20.5	20.8	
3.0	0°	6	13	18	24	29	34	38	42	45	48	51	53	55	57	59	61	63	66	68	69	71	72	73	75	77	80	
	12.3	12.1	11.5	10.5	9.4	8.2	7.1	6.0	5.1	4.3	3.7	3.2	2.8	2.4	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
3.3	0°	5	11	17	22	27	31	35	39	42	45	48	50	52	54	56	58	61	63	66	67	69	70	72	74	77	80	
	10.0	9.83	9.41	8.79	8.01	7.16	6.1	5.1	4.3	3.7	3.2	2.8	2.4	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
3.6	0°	5	10	15	20	24	29	32	36	39	42	45	48	50	52	54	56	59	61	63	66	67	69	70	72	74	77	
	8.26	8.16	7.87	7.42	6.86	6.21	5.59	4.96	4.37	3.83	3.35	2.92	2.53	2.21	1.93	1.71	1.50	1.17	0.92	0.74	0.63	0.51	0.41	0.32	0.24	0.17	0.09	
3.9	0°	4	9	14	18	23	27	30	34	37	40	43	45	47	49	51	53	56	59	61	63	66	67	69	70	72	74	
	6.94	6.87	6.68	6.14	5.91	5.46	4.97	4.44	4.00	3.56	3.15	2.73	2.46	2.17	1.91	1.69	1.50	1.19	0.94	0.76	0.63	0.51	0.41	0.32	0.24	0.17	0.09	
4.2	0°	4	8	12	16	20	24	27	30	33	35	38	40	43	45	47	49	51	54	57	59	62	63	65	67	70	72	
	5.92	5.87	5.73	5.47	5.17	4.81	4.47	4.04	3.66	3.29	2.93	2.61	2.33	2.09	1.87	1.66	1.48	1.19	0.96	0.78	0.64	0.53	0.44	0.37	0.25	0.17	0.10	
4.5	0°	4	8	12	16	20	24	27	30	33	35	38	41	43	45	47	49	51	54	57	59	62	63	65	67	70	72	
	5.10	5.06	4.95	4.77	4.54	4.26	3.96	3.65	3.34	3.04	2.75	2.48	2.21	2.01	1.80	1.62	1.46	1.18	0.96	0.79	0.65	0.54	0.46	0.39	0.26	0.18	0.11	
4.8	0°	3	8	11	15	18	22	25	28	31	34	36	39	41	43	45	47	50	53	56	58	60	62	63	67	70	72	
	4.44	4.42	4.33	4.19	4.01	3.80	3.56	3.31	3.05	2.80	2.56	2.31	2.12	1.92	1.74	1.57	1.42	1.17	0.96	0.79	0.65	0.54	0.46	0.39	0.26	0.18	0.11	
5.1	0°	3	7	11	14	17	20	23	26	29	32	35	37	39	41	43	45	48	51	54	56	58	60	62	67	70	72	
	3.91	3.88	3.82	3.71	3.57	3.39	3.21	3.00	2.80	2.59	2.38	2.19	2.09	1.89	1.67	1.52	1.38	1.15	0.93	0.80	0.67	0.56	0.48	0.41	0.27	0.19	0.12	
5.4	0°	3	7	10	13	16	19	22	25	28	30	33	35	37	39	41	43	47	50	52	55	57	59	60	64	67	71	
	3.46	3.44	3.39	3.31	3.19	3.06	2.90	2.74	2.56	2.39	2.22	2.03	1.89	1.74	1.59	1.46	1.34	1.12	0.94	0.79	0.69	0.57	0.48	0.42	0.29	0.21	0.12	
5.7	0°	3	6	9	12	15	18	21	24	27	29	31	34	36	38	40	42	45	48	51	54	56	58	60	62	65	69	
	3.09	3.07	3.01	2.97	2.87	2.76	2.64	2.50	2.36	2.21	2.06	1.92	1.78	1.65	1.52	1.40	1.29	1.09	0.92	0.79	0.67	0.57	0.49	0.42	0.30	0.22	0.12	
6.0	0°	3	6	9	11	14	17	20	23	25	28	30	32	34	36	38	40	43	46	49	52	54	56	58	62	65	69	
	2.77	2.76	2.71	2.67	2.60	2.51	2.40	2.29	2.17	2.05	1.92	1.80	1.67	1.56	1.45	1.34	1.24	1.06	0.92	0.77	0.66	0.57	0.49	0.42	0.30	0.22	0.12	
6.6	0°	3	5	8	10	13	16	19	22	24	27	29	31	33	35	37	39	42	46	48	50	52	54	56	60	63	68	
	2.50	2.49	2.46	2.42	2.36	2.28	2.19	2.10	2.00	1.90	1.79	1.68	1.58	1.47	1.37	1.28	1.19	1.03	0.88	0.76	0.66	0.57	0.49	0.41	0.30	0.22	0.13	

		ALTIMETRO DE LUZ SOBRE LA SUPERFICIE METROS																											
		6.30	6.40	6.50	7.20	7.50	8.10	9.00	9.90	10.8	12.0	13.5	15.0	16.5	18.0	21.0	24.0	30.0	37.5	45.0	52.5	60.0							
	0°	2'4	5'1	5'8	11'	11'	16'	18'	21'	23'	25'	28'	30'	32'	34'	36'	37'	41'	44'	46'	49'	51'	53'	55'	59'	62'	67'		
	1°	2.27	2.26	2.24	2.20	2.15	2.10	2.01	1.94	1.85	1.76	1.67	1.58	1.44	1.39	1.31	1.22	1.14	1.09	0.98	0.85	0.75	0.65	0.56	0.49	0.41	0.31	0.23	0.14
	2°	2.07	2.06	2.05	2.01	1.96	1.92	1.85	1.79	1.71	1.64	1.55	1.48	1.40	1.32	1.24	1.14	1.09	0.96	0.81	0.71	0.64	0.56	0.49	0.41	0.31	0.21	0.14	
	3°	1.87	1.89	1.87	1.84	1.81	1.76	1.71	1.65	1.59	1.53	1.46	1.39	1.32	1.25	1.18	1.11	1.05	0.92	0.81	0.71	0.61	0.55	0.49	0.41	0.31	0.21	0.14	
	4°	1.74	1.71	1.72	1.70	1.66	1.63	1.58	1.54	1.48	1.43	1.37	1.30	1.24	1.18	1.12	1.06	1.00	0.89	0.79	0.70	0.61	0.54	0.48	0.41	0.31	0.21	0.14	
	5°	1.60	1.40	1.38	1.37	1.34	1.31	1.25	1.17	1.13	1.08	1.02	0.96	0.92	0.87	0.81	0.76	0.70	0.61	0.53	0.46	0.40	0.34	0.28	0.21	0.14	0.08	0.03	
	6°	1.47	1.17	1.17	1.16	1.13	1.10	1.04	0.98	0.92	0.87	0.81	0.76	0.70	0.65	0.60	0.54	0.48	0.41	0.34	0.28	0.21	0.14	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	7°	1.31	1.11	1.11	1.09	1.08	1.07	1.05	1.01	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.81	0.80	0.77	0.70	0.64	0.58	0.53	0.48	0.43	0.39	0.31	0.24	0.18	0.13	0.08
	8°	1.11	1.11	1.11	1.09	1.08	1.07	1.05	1.01	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.81	0.80	0.77	0.70	0.64	0.58	0.53	0.48	0.43	0.39	0.31	0.24	0.18	0.13	0.08
	9°	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.69	0.67	0.62	0.58	0.53	0.49	0.45	0.41	0.37	0.30	0.24	0.19	0.15
	10°	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74	0.73	0.71	0.71	0.70	0.69	0.67	0.66	0.64	0.62	0.61	0.59	0.55	0.52	0.48	0.44	0.41	0.38	0.35	0.29	0.23	0.18
	11°	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.47	0.45	0.42	0.39	0.37	0.34	0.32	0.27	0.22	0.15	0.11
	12°	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.41	0.42	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.25	0.21	0.17	0.13
	13°	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.31	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.25	0.22	0.19	0.15
	14°	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.21	0.18	0.15	0.11
	15°	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.18	0.16	0.13
	16°	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.13	0.11	0.08
LUX POR CADA 100,000 Candelas																													
	17°	156	156	156	156	155	155	154	154	153	152	151	150	149	148	147	145	143	141	139	137	134	132	128	120	111	95.3	78	67
	18°	99.9	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8	99.5	99.3	99.1	98.8	98.5	98.3	97.9	97.6	97.1	96.6	96.1	95.4	94.4	93.3	91.8	90.5	89.1	89.2	84.4	79.9	71.4	62.4
	19°	64.0	64.0	64.0	63.9	63.9	63.9	63.8	63.7	63.6	63.5	63.4	63.3	63.1	63.0	62.9	62.6	62.5	62.1	61.6	61.1	60.6	60.0	59.4	58.7	57.1	55.2	51.2	47.2
	20°	44.4	44.4	44.4	44.4	44.4	44.3	44.3	44.3	44.2	44.2	44.2	44.1	44.0	44.0	43.9	43.8	43.7	43.5	43.2	43.1	42.8	42.5	42.2	42.0	41.0	40.1	38.1	36.0
	21°	32.7	32.7	32.7	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.5	32.5	32.5	32.4	32.4	32.4	32.3	32.3	32.3	32.1	32.0	31.9	31.7	31.6	31.5	31.2	30.8	30.2	29.0	27.9
	22°	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.7	24.6	24.6	24.5	24.4	24.3	24.2	24.1	23.9	23.6	22.8	22.1	21.4

Los lux sobre la superficie vertical -en un punto de un plano vertical que comprende también a la fuente de luz- pueden determinarse empleando el factor multiplicador que se encuentra cuando se invierten los encabezamientos de la tabla, es decir, cuando la altura de la fuente de luz se lee sobre la horizontal, etc.

4.2.5 Componente de Iluminación Reflejada

Componente Reflejada para Superficies Horizontales.

La componente de iluminación reflejada en un plano horizontal se calcula exactamente de la misma manera como la iluminación promedio usando el Método de Cavidad Zonal, excepto que el *Coefficiente de Reflexión* (RRC) sustituye al Coeficiente de Utilización de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Iluminación Reflejada Horizontal} = \frac{\text{Lúmenes por Luminario} \times \text{RRC}}{\text{Area por Luminario}}$$

donde:

$$\text{RRC} = \text{LC}_w + \text{RPM} (\text{LC}_{cc} - \text{LC}_w)$$

LC_w = Coeficiente de luminancia de la pared.

LC_{cc} = Coeficiente de luminancia de la cavidad del techo.

RPM = Factor multiplicador de la posición de local.

Componente Reflejada para Superficies Verticales.

Para determinar la iluminación reflejada en las superficies verticales se usa la fórmula anterior, pero el *Coefficiente de Reflexión de la Pared* (WRRC) sustituye al coeficiente RRC, quedando la fórmula siguiente:

$$\text{Iluminación Reflejada Vertical} = \frac{\text{Lúmenes por Luminario} \times \text{WRRC}}{\text{Area por Luminario}}$$

donde:

$$\text{WRRC} = \frac{\text{LC}_w}{\text{P}_w} - \text{WDRC}$$

P_w = Reflectancia promedio de la pared.

WDRC = Coeficiente de radiación directa de la pared.

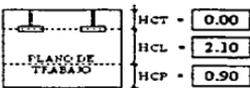
HOJA DE CALCULO PARA EL METODO DE CAVIDAD ZONAL

INFORMACION DEL LOCAL

NIVEL DE ILUMINACION **500** LUXES

IDENTIFICACION: **SALA DE CIRUGIA GENERAL**

DIMENSIONES DEL LOCAL L: **6.50** A: **5.70** ALTURA: **3.00**



REFLECTANCIAS: TECTO (F_T) **80** PAREDES (F_P) **50** PISO (F_P) **20**

RELACIONES DE CAVIDAD: $RCL = \frac{HCL(L+A)}{(L+A)} = \frac{2.10(6.50+5.70)}{(6.50+5.70)} = \mathbf{3.46}$ FCL = **50%**

$RCT = RCL \left(\frac{HCT}{HCL} \right) = 3.46 \left(\frac{0.00}{2.10} \right) = \mathbf{0.00}$ FCT = **80%**

$RCP = RCL \left(\frac{HCP}{HCL} \right) = 3.46 \left(\frac{0.90}{2.10} \right) = \mathbf{1.48}$ FCP = **18%**

DATOS LAMPARA / LUMINARIO

LUMINARIO No **IF-82-434** TIPO **DIRECTO** CAT **MANTO** COND **V** SUCIEDAD **LIMPIO** MUY **LIMPIO** CICLO DE LIMPIEZA **12** MESES SMH **1-8**

LAMPARA **F32T8/841** LUMENES **3050** LAMPARAS/LUMINARIO **4** LUMENES/LUMINARIO **12,200**

DLL **0.92** = DPL **0.93** = DPGL **0.97** = FFL **0.92** = FFL **0.76**

COEFICIENTE DE UTILIZACION (CU) **0.54** = **0.99** = CU CORREGIDO **0.53**

CALCULOS

LUMENES TOTALES = $\frac{LUXES \times AREA}{CU + FFL} = \frac{500(6.50 \times 5.70)}{(0.53)(0.76)} = \mathbf{45,990.1}$

No DE LUMINARIOS = $\frac{LUMENES TOTALES}{LUMENES POR LUMINARIO} = \frac{45,990.1}{12,200} = 3.77 = \mathbf{4}$

DATOS DE ESPACIAMIENTO

AREA POR LUMINARIO AL = $\frac{AREA TOTAL}{No DE LUMINARIOS} = \frac{37.05}{4} = \mathbf{9.26}$

ESPACIAMIENTO APROXIMADO PARA UNIDADES INDIVIDUALES = $\sqrt{AL} = \sqrt{9.26} = \mathbf{3.04}$

PARA TIRAS CONTINUAS = $\frac{AL}{LONGITUD DEL LUMINARIO} = \mathbf{N/A}$

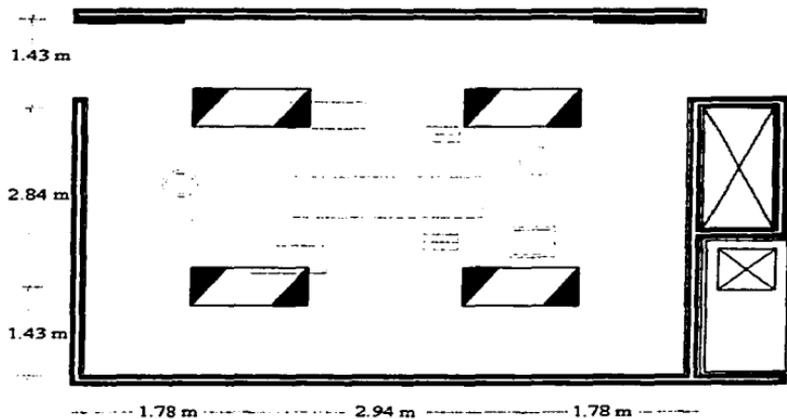
COMPROBACION DEL ESPACIAMIENTO HCL = S/MSH = $2.1 \times 1.4 = \mathbf{2.94m}$ ESPACIAMIENTO MAXIMO

DATOS FINALES

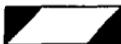
No DE LUMINARIOS **4** ESPACIAMIENTO **2.94m** LUXES **530**
 $LX = \frac{L \times FFL \times CU}{AREA}$

CALCULADO POR **ING. RAUL M. DIAZ C.**

FECHA **20/FEB/97**



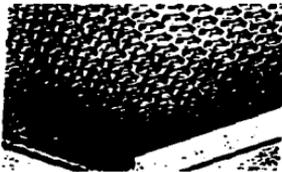
QUIROFANO



Luminario fluorescente, 4x32 watts, tipo empotrar.

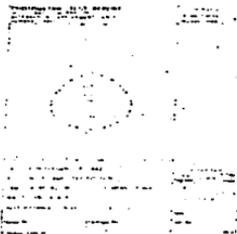
AHORRO DE ENERGIA

HOLOPHANE siempre preocupado por los cada vez más altos costos de energía eléctrica, le presenta la opción económica para sus programas de mantenimiento, en sus instalaciones con luminarios fluorescentes de 2X40 w. que le van a proporcionar hasta un 25% de ahorro de energía. Esto únicamente se consigue con el uso de nuestro paquete de arnés de alta reflectancia (92%), balastro de bajas pérdidas, lámparas de 34 w. con bases telescópicas y el controlente REFRACTOGRID.



REFRACTOGRID le ofrece los siguientes beneficios:

- 70% de reducción en luminancia (brillantez), en la visión directa comparada con los mejores sistemas convencionales.
- Configuración refractiva hemisférica que combina con cualquier diseño de plafón.
- Ocultamiento total de las lámparas en el ángulo normal de visión que es único en el mercado.
- Alto confort visual.
- Uniformidad de iluminación superior debido a su gran relación de espaciamiento de 1.4 veces la altura de montaje.
- Más luz útil debido sus elevados coeficientes de utilización.
- Todos los gabinetes vienen equipados con bases telescópicas para asegurar una efectiva conexión eléctrica a pesar de las vibraciones.



COEFICIENTES DE UTILIZACION
HOLOPHANE No. 25-240
4.00 W. (EN ANGULO TIPO)
TEST 42390

TIPO DE PLAFON	TIPO DE LAMPARA	CANT.				WATTS			
		A	B	C	D	A	B	C	D
E	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
F	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
G	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
I	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
M	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80
	BT	20	20	20	20	80	80	80	80

NUMERO DE CATALOGO	LAMPARAS CANT. & WATTS	BALASTRO TIPO	BASES TIPO	DIMENSIONES APROX. EN CM				
				A	B	C	D	
E-0122 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA	CAT. 11-124	12.5	29.7	12.4	6.75
E-0123 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0124 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0125 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0126 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA	CAT. 11-124	12.5	29.7	12.4	6.75
E-0127 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0128 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0129 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0130 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA	CAT. 11-124	12.5	29.7	12.4	6.75
E-0131 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0132 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0133 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0134 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA	CAT. 11-124	12.5	29.7	12.4	6.75
E-0135 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0136 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0137 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0138 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA	CAT. 11-124	12.5	29.7	12.4	6.75
E-0139 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0140 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					
E-0141 BT	20x40	NORMAL	TELESCOPICA					

E = Sobreponer

F = Empotrar

G = Empotrado tipo plafón

I = Institucional

IF = Institucional empotrar

M = Balastro bajas pérdidas

BT = Base Telescópica

PREGUNTE A NUESTROS DISTRIBUIDORES O AUTORIZADOS O DIRECTAMENTE CON NOSOTROS POR LOS LUMINARIOS TIPO "F".

Para mayor información técnica comuníquese a nuestras oficinas

Para la iluminación especializada de la mesa central de operaciones, se instalarán dos unidades de lámpara para sala de operaciones con las siguientes características técnicas:

- *Excelente distribución de la luz, exenta de partes sombreadas.*
- *Alta temperatura de color para la reproducción más real de los órganos y tejidos.*
- *Luz fría (alta intensidad luminosa con poca radiación térmica) se logra eliminando la parte infrarroja mediante un filtro especial que absorbe más del 90 % del calor irradiado.*
- *Radio de acción → 360°*
- *Nivel de iluminación a un metro de distancia → 80,000 Lux*
- *Foco de halógeno de trabajo por lámpara con un promedio de vida de 2,000 hrs.*
- *Foco de reserva: foco de halógeno de reserva en caso de falla del foco principal, con aviso óptico en la caja de control y con acción automática en un segundo.*
- *Corriente alterna de funcionamiento → 127v 24 v*

Nota:

Para el cirujano es importante apreciar tejidos y órganos en sus colores normales, esto se consigue cuando más se parezca la fuente luminosa con la luz diurna natural, que tiene una temperatura de color 5,800 °K aproximadamente. Los especialistas opinan que la temperatura de color en el campo operatorio debe estar entre 4,000 y 5,000 °K

En la figura siguiente se presenta el detalle de montaje de las lámparas para sala de operaciones.

HOJA DE CALCULO PARA EL METODO DE CAVIDAD ZONAL

INFORMACION DEL LOCAL

NIVEL DE ILUMINACION **275 LUXES**

IDENTIFICACION: **CONSULTORIO MEDICINA GENERAL**

DIMENSIONES DEL LOCAL L **6.30** A **3.20** ALTURA **2.60**

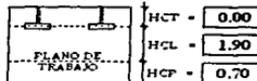
REFLECTANCIAS: TECHO (F_T) **80** PAREDES (F_w) **50** PISO (F_p) **20**

RELACIONES DE CAVIDAD

$$RCL = \frac{5 \cdot HCL \cdot (L + A)}{(L \cdot A)} = \frac{5 \cdot 1.90 \cdot (6.30 + 3.20)}{(6.30 \cdot 3.20)} = \mathbf{4.48} \quad PCL = \mathbf{50\%}$$

$$PCT - RCL = \frac{HCT}{HCL} = 4.48 \left[\frac{0.00}{1.90} \right] = \mathbf{0.00} \quad PCT = \mathbf{80\%}$$

$$PCP - RCL = \frac{HCP}{HCL} = 4.48 \left[\frac{0.70}{1.90} \right] = \mathbf{1.65} \quad PCP = \mathbf{18\%}$$



DATOS LAMPARA / LUMINARIO

LUMINARIO No. **6163-240** TIPO **DIRECTO** CAT MANTO **V** COND. SUCIEDAD **LIMPIO** CICLO DE LIMPIEZA **12** MESES **SMH 1.25**

LAMPARA **F40T12/CW** LUMENES **3,150** LAMPARAS/LUMINARIO **2** LUMENES/LUMINARIO **6,300**

DLL **0.92** = DPL **0.89** = DPPL **0.97** = FD **0.92** = FPL **0.73**

COEFICIENTE DE UTILIZACION (CU) **0.45** = **0.99** = CU CORREGIDO **0.45**

CALCULOS

$$\text{LUMENES TOTALES} = \frac{\text{LUXES} \times \text{AREA}}{\text{CU} \times \text{FPL}} = \frac{275 (6.30 \times 3.20)}{(0.45) (0.73)} = \mathbf{16,876.71}$$

$$\text{No DE LUMINARIOS} = \frac{\text{LUMENES TOTALES}}{\text{LUMENES POR LUMINARIO}} = \frac{16,876.71}{6,300} = 2.68 = \mathbf{3}$$

DATOS DE ESPACIAMIENTO

$$\text{AREA POR LAMPARAJIO} \quad AL = \frac{\text{AREA TOTAL}}{\text{No DE LUMINARIOS}} = \frac{20.16}{3} = \mathbf{6.72}$$

$$\text{ESPACIAMIENTO APROXIMADO PARA UNIDADES INDIVIDUALES} = \sqrt{AL} = \sqrt{6.72} = \mathbf{2.59}$$

$$\text{PARA TIRAS CONTINUAS} = \frac{AL}{\text{LONGITUD DEL LUMINARIO}} = \mathbf{N/A}$$

$$\text{COMPROBACION DEL ESPACIAMIENTO} \quad HCL = \text{SMH} = 1.90 = \mathbf{1.25} = \mathbf{2.38m} \quad \text{ESPACIAMIENTO MAXIMO}$$

DATOS FINALES

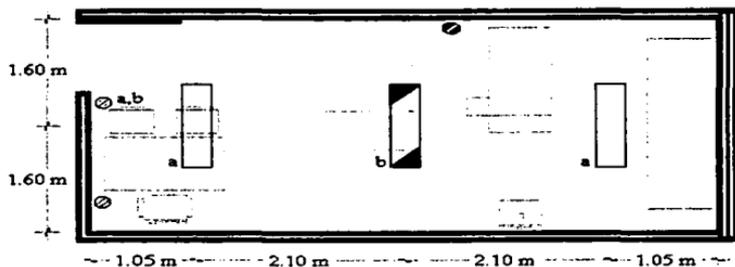
No. DE LUMINARIOS **3** ESPACIAMIENTO **2.1m**

LUXES **308**
 $LX = \frac{L \cdot T \cdot FPL \cdot CU}{\text{AREA}}$

CALCULADO POR **ING. RAUL M. DIAZ C.**

FECHA **20/FEB/97**

CONSULTORIO MEDICINA GENERAL



SIMBOLOGIA



Luminario fluorescente de 2x40 watts, tipo empotrar.



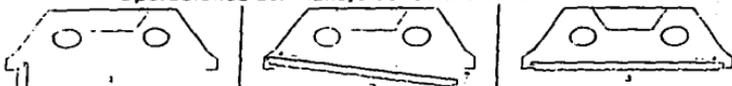
Contacto monofásico duplex, con conexión a tierra física.



Apagador tipo intercambiable.



Operaciones del manejo del controlente No. 6163



- 1.- Posición de lente abierto para mantenimiento. 2.- Movimientos para cerrar controlente
3.- Posición final del controlente. Para abrir controlente, procédase en forma inversa.



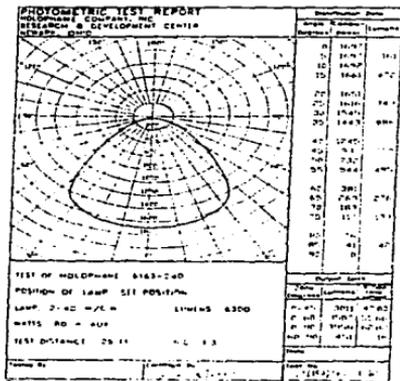
APLICACIONES

Puede emplearse en luminarios de empotrar y de sobreponer y se recomienda para la iluminación general de oficinas, escuelas, auditorios, bibliotecas, vestíbulos, corredores, etc.

ESPECIFICACIONES

Este controlente, se manufactura por inyección de plástico acrílico de alta calidad, mide 1188 mm. de largo por 277 mm. de ancho por 4 mm. de espesor, tiene una coja de 11 mm. de altura a los lados de su cara interior, la cual le da mayor rigidez mecánica.

lleva un perno de 6.5 mm. de largo en dos de sus vértices, los que le dan una longitud de 1200 mm. Espaciamiento máximo entre luminarios para obtener una iluminación uniforme sobre el plano de trabajo: 1.25 veces la altura de montaje sobre dicho plano.



COEFICIENTES DE UTILIZACION HOLOPHONE No. 6163-240 2-40 W / BLANCO FRIO TEST 20926CR

PIBO TECHO PARED	50%		60%		70%		80%		90%		Cm %
	50%	60%	50%	60%	50%	60%	50%	60%	50%	60%	
0	.74	.74	.74	.69	.68	.68	.64	.62	.64	.62	
1	.66	.64	.62	.62	.61	.60	.60	.57	.60	.56	
2	.59	.58	.57	.56	.55	.55	.53	.52	.53	.50	
R	.53	.48	.48	.48	.47	.47	.47	.44	.47	.44	
C	.47	.43	.39	.48	.41	.38	.42	.40	.37	.36	
6	.43	.38	.36	.41	.37	.36	.39	.38	.33	.33	
8	.39	.34	.30	.37	.33	.30	.38	.37	.29	.28	
7	.36	.30	.27	.34	.30	.27	.32	.30	.26	.26	
8	.33	.28	.24	.31	.27	.24	.30	.28	.24	.24	
8	.30	.24	.22	.29	.26	.22	.28	.24	.22	.21	
10	.26	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.19	

BRILLANTEZ MEDIA 2 LAMP. 40 W - 6200 LUMENES

Angulo Vertical	En pie Lambert A lo largo del eje		
	Transv.	Plano	A lo largo
0°	1555	1555	1555
30°	1635	1580	1475
45°	1205	1230	1185
55°	870	870	870
60°	700	540	380
65°	585	465	310
70°	490	475	325
75°	410	500	340
80°	405	455	400
85°	430	430	375

4.3.3 Sala de Espera

- Nivel de Iluminación General → 200 luxes.
- Dimensiones del Local → Largo: 15.40 m.
Ancho: 5.40 m.
Altura: 2.60 m.
Altura del Plano de Trabajo: 0.70 m.
- Acabados del Local:
Techo: Placa de yeso color blanco. Reflectancia 80 %.
Muros: Grano de mármol planchado. Reflectancia 50 %.
Piso: Loseta de granito color ocre. Reflectancia 20 %.
- Condición de Suciedad → Limpio.
- Mantenimiento del Sistema de Iluminación → Cada 24 meses.
- Lámpara a Utilizar: Lámpara fluorescente compacta de 13 watts, temperatura de color 2.700 °K, índice de rendimiento de color 85, lúmenes iniciales 900 y 10,000 horas de vida. Marca OSRAM.
- Luminario a Utilizar: Luminario Holophane tipo empotrar para dos lámparas fluorescentes compactas de 13 watts.
- Confort Visual (VSP) → Alto.
- Balastro para lámpara fluorescente compacta de 13 watts, arranque tipo precalentamiento, 127 volts, 60 Hz, alto factor de potencia.
Factor de Balastro (FB) → 0.88

HOJA DE CALCULO PARA EL METODO DE CAVIDAD ZONAL

INFORMACION DEL LOCAL

NIVEL DE ILUMINACION **200 LUXES**

IDENTIFICACION **SALA DE ESPERA Y CONTROL**

DIMENSIONES DEL LOCAL L **15.40** A **5.40** ALTURA **2.60**

REFLECTANCIAS TECHO (P_T) **80** PAREDES (P_w) **50** PISO (P_p) **20**

RELACIONES DE CAVIDAD

$$RCL = \frac{5HCL(L+A)}{(L \times A)} = \frac{5 \times 1.90 (15.40 + 5.40)}{(15.40 \times 5.40)} = 2.38$$

$$RCT = RCL \left(\frac{HCT}{HCL} \right) = 2.38 \left(\frac{0.00}{1.90} \right) = 0.00$$

$$RCP = RCL \left(\frac{HCP}{HCL} \right) = 2.38 \left(\frac{0.70}{1.90} \right) = 0.88$$

HCT = **0.00**

HCL = **1.90**

HCP = **0.70**



FCL = **50 %**

FCT = **80 %**

F_{CP} = **19 %**

DATOS LAMPARA / LUMINARIO

LUMINARIO No **E-540-F13** TIPO **DIRECTO** CAT **V** COND **SUCIEDAD LIMPIO** CICLO DE LIMPIEZA **24 MESES** SMH **1.2**

LAMPARA **CF13/827** LUMENES **900** LAMPARAS/LUMINARIO **2** LUMENES/LUMINARIO **1.800**

DLL **0.88** × DPL **0.83** × DPL **0.97** × FB **0.88** = **FPL 0.62**

COEFICIENTE DE UTILIZACION (CU) **0.55** × **0.99** = **CU CORREGIDO 0.54**

CALCULOS

LUMENES TOTALES = $\frac{\text{LUXES} \times \text{AREA}}{\text{CU} \times \text{FPL}} = \frac{200 (15.40 \times 5.40)}{(0.54) (0.62)} = 49,677.42$

No DE LUMINARIOS = $\frac{\text{LUMENES TOTALES}}{\text{LUMENES POR LUMINARIO}} = \frac{49,677.42}{1,800} = 27.60 = 28$

DATOS DE ESPACIAMIENTO

AREA POR LUMINARIO AL = $\frac{\text{AREA TOTAL}}{\text{No DE LUMINARIOS}} = \frac{83.16}{28} = 2.97$

ESPACIAMIENTO APROXIMADO PARA UNIDADES INDIVIDUALES = $\sqrt{\text{AL}} = \sqrt{2.97} = 1.72$

PARA TIRAS CONTINUAS = $\frac{\text{AL}}{\text{LONGITUD DEL LUMINARIO}} = \text{N/A}$

COMPROBACION DEL ESPACIAMIENTO HCL × SMH = $1.90 \times 1.2 = 2.28\text{m}$ ESPACIAMIENTO MAXIMO

DATOS FINALES

No DE LUMINARIOS **27**

ESPACIAMIENTO **1.70m**

LUXES **196**

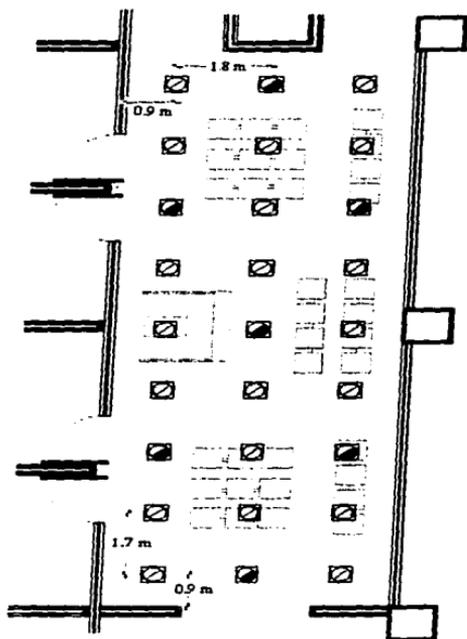
1.80m

$LX = \frac{L \times FPL \times CU}{\text{AREA}}$

CALCULADO POR **ING. RAUL M. DIAZ C.**

FECHA **20/FEB/97**

SALA DE ESPERA Y CONTROL



NORMAL

☒ Luminario fluorescente de 2x13 watts, tipo empotrar, de Holophane

EMERGENCIA

☑ Luminario fluorescente de 2x13 watts, tipo empotrar, de Holophane

Coefficientes de Utilización por el Método de Cavidad Zonal

Luminario HOLOPHANE con una Lámpara Fluorescente Compacta de 13 Watts

TECHO PAREDES	80			70			50			30			10			0
	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL																
1	.64	.61	.60	.62	.60	.54	.59	.58	.57	.57	.56	.55	.55	.54	.53	.52
2	.57	.54	.51	.56	.53	.51	.54	.52	.50	.52	.50	.48	.50	.49	.47	.46
3	.51	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.43	.47	.44	.43	.46	.43	.42	.40
4	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.40	.40	.33	.43	.40	.37	.41	.39	.37	.36
5	.42	.37	.34	.41	.37	.33	.40	.36	.33	.39	.35	.33	.38	.34	.33	.31
6	.37	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29	.35	.31	.29	.34	.31	.28	.27
7	.34	.29	.26	.33	.29	.25	.32	.28	.25	.31	.28	.25	.31	.27	.25	.24
8	.31	.26	.23	.30	.26	.22	.29	.25	.22	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.21
9	.28	.23	.20	.27	.23	.20	.27	.23	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.19	.18
10	.25	.21	.18	.25	.21	.18	.24	.20	.18	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.16

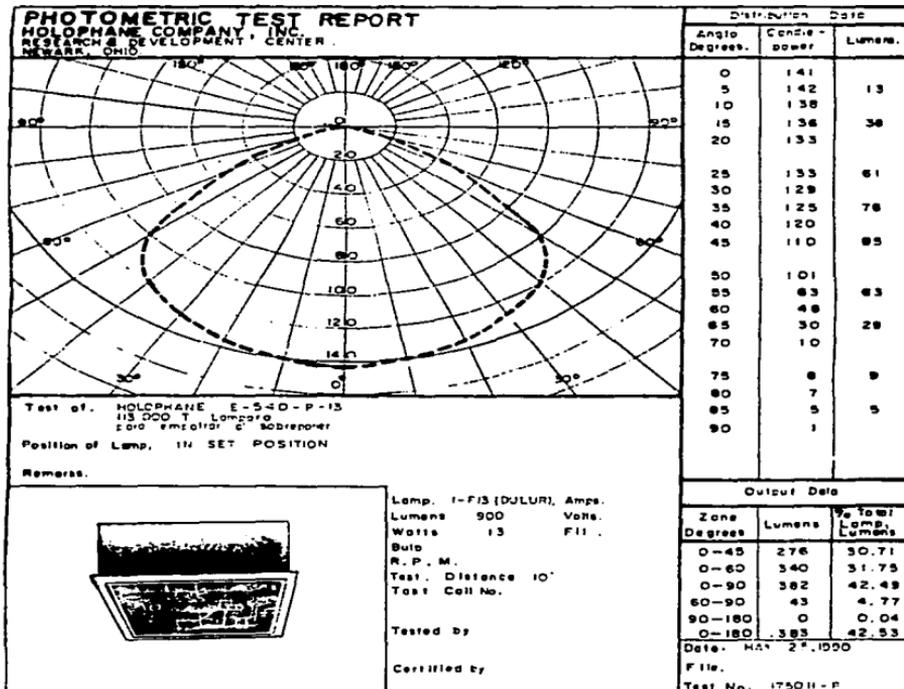
Bases de Cálculo

Relación de Separación a Altura de Montaje

Reflectancia Efectiva de la Cavidad del Piso

20% (PFC = 0.20)

Espaciamiento Recomendado: 1.2 veces la altura de montaje sobre el plano de trabajo



5

AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO

5.1 ADMINISTRACION EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA

La racionalización del uso de la energía nace desde la elaboración de *Un Proyecto Adecuado*, el uso de *Tecnologías Eficientes*, así como la adecuada operación de las unidades. La administración de la energía eléctrica en la iluminación de edificios, se aplica solamente a las instalaciones existentes y comprende cinco pasos:

1. Realizar un diagnóstico al sistema de iluminación.
2. Identificar las opciones para el buen uso de la iluminación.
3. Desarrollar un plan para el buen uso de la iluminación.
4. Implementar el plan de acción.
5. Monitorear los resultados obtenidos y mantenerlos actualizados.

5.1.1 Diagnóstico al Sistema de Iluminación

Con el diagnóstico al sistema de iluminación se obtiene el conocimiento del funcionamiento de la instalación existente. El equipo requerido para efectuarlo es:

- Luxómetro.
- Multímetro gráfico para medir: Potencia, Voltaje y Corriente.
- Cámara fotográfica de revelado instantáneo.
- Tabla para tomar notas con papel milimétrico.
- Cinta métrica.
- Formatos para el levantamiento.

5.1.2 Identificación de las Opciones para el Buen Uso de la Iluminación

Existen diversas opciones para el buen uso de la iluminación, algunas de las cuales son:

- Nuevos tipos de lámparas.
- Balastos electromagnéticos de alta eficiencia, y balastos electrónicos.
- Reflectores especulares.
- Reemplazo de luminarios.
- Adición de controles (manuales o automáticos).

Se requiere conocer ampliamente las opciones para poder identificar apropiadamente las alternativas de ahorro y, en algunos casos, realizar pruebas para asegurarse de los resultados.

5.1.3 Desarrollo de un Plan para el Buen Uso de la Iluminación

El plan para el buen uso de la iluminación identifica las opciones que serán implementadas; cada recomendación deberá identificar y cuantificar:

- El área afectada.
- La naturaleza de la iluminación por instalar.
- La cantidad y calidad de iluminación por instalar.
- Consumo de energía actual y proyectada, ahorros estimados.
- Costos de energía y mantenimiento actuales, y ahorros proyectados.
- Naturaleza de las modificaciones propuestas.
- Beneficios generales de la implementación de las modificaciones (seguridad, precisión en el desarrollo de las tareas, productividad, confort).
- Costos que impliquen el cambio.
- Valor estimado de los beneficios generales derivados.

- Densidad de carga actual y proyectada.
- Tasa de retorno de la inversión u otro índice financiero.

Es importante tomar en consideración las interrelaciones que tiene el sistema de iluminación con el aire acondicionado, la decoración y el mobiliario del edificio.

5.1.4 Implementación del Plan de Acción

Los planes para la administración eficiente de la energía eléctrica en la iluminación de los edificios frecuentemente se diseñan para implementarse en etapas.

De las opciones para iniciar la implementación de las acciones, usualmente se seleccionan las de mayor relación beneficio-costos, generalmente con una modesta inversión y algunas veces mínima, en segundo término se seleccionan las de mayor tasa de retorno del capital sobre la inversión, y en tercer lugar las opciones que requieren una inversión substancial del capital.

Es apropiado informar a todos los empleados acerca de los cambios hechos en la iluminación, ya que ellos estarán gustosos al tener una mejoría en el medio ambiente que impactará en su trabajo.

Al terminar la implementación de cada etapa es conveniente efectuar mediciones, con el fin de verificar si se obtienen los resultados proyectados, con los ahorros esperados.

5.1.5 Monitoreo de los Resultados Obtenidos

Para los propósitos de monitorear el plan de consumo de energía es necesario medirlo o calcularlo periódicamente.

La calidad puede determinarse por observación y evaluación de los comentarios de aquellos quienes trabajan en el área iluminada; cambios en la productividad, rango de errores y otros factores pueden proveer indicaciones de los efectos causados por la implementación de las opciones.

El plan de la administración eficiente de la iluminación debe estar al día y revisarse cada seis meses, haciendo los cambios que se requieran. La industria de la iluminación realiza progresos tecnológicos muy rápidamente, por esta razón, las personas a cargo del plan deberán hacer un esfuerzo para estar al día de los últimos adelantos en la tecnología de la iluminación.

5.2 RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA

5.2.1 Niveles

Frecuentemente los niveles de iluminación son elevados, tanto en áreas comunes como para áreas específicas. Conviene comprobar tales niveles mediante el uso de un luxómetro y compararlos con las tablas de los niveles de iluminación normalizados en el IMSS. En caso de existir sobreiluminación conviene retirar algunas lámparas o sustituirlas por otras de menor capacidad. Si el nivel de iluminación no es suficiente, se pueden utilizar reflectores de aluminio con acabado tipo espejo en los gabinetes sin incrementar la carga eléctrica.

5.2.2 Lámparas

En caso de que los niveles de iluminación sean los adecuados, entonces lo recomendable es utilizar lámparas fluorescentes que proporcionen el mismo nivel, pero con una menor potencia. Lo más aconsejable será esperar a la terminación de la vida útil de la lámpara antes de hacer la sustitución. Para estos fines es fundamental llevar un control por área de las horas de utilización de las lámparas, que servirá para hacer el reemplazo en grupo. Estas lámparas se fabrican de 32, 34, 60 y 95 watts, que sustituyen a lámparas de 39, 40, 75 y 110 watts respectivamente.

El foco incandescente es el de más bajo rendimiento, debido a que su operación está basada en el calentamiento de un filamento hasta el rojo blanco, con lo cual convierte el 90% de la energía eléctrica en calor y solo el 10% en luz. Adicionalmente hay áreas en los edificios que utilizan los llamados spots. En todos los casos lo más aconsejable es sustituir los focos y spots con lámparas fluorescentes compactas las cuales cuentan con entrada para socket. Estas lámparas fluorescentes compactas existen en 5, 7, 9, 13, y 23 watts para sustituir en su caso a focos incandescentes de 25, 40, 60, 75 y 100 watts respectivamente.

En lugares donde el alumbrado se utiliza por intervalos pequeños de tiempo, no se recomienda utilizar lámparas fluorescentes con socket en lugar de incandescentes, pues el continuo encendido y apagado de las mismas demeritan su vida.

5.2.3 Balastros

Es común encontrar lámparas quemadas o desconectadas intencionalmente pero unidas al balastro. Esto debe evitarse, pues el balastro sigue consumiendo energía eléctrica, del orden del 20% de la potencia de la lámpara. Por otra parte, si un balastro está conectado a dos lámparas y una de ellas fue desconectada, la lámpara en funcionamiento reducirá su vida útil.

Normalmente los balastos son contruidos con circuitos magnéticos y su consumo es de aproximadamente el 20% de la potencia de la lámpara. Actualmente existen en el mercado balastos ahorradores que consumen menos energía y permiten a la lámpara llegar a su vida nominal. Por otro lado, también estan los balastos electrónicos que son los más eficientes. Cabe observar que los balastos ahorradores cuestan casi lo mismo que los tradicionales no siendo el caso de los electrónicos cuyo costo es superior.

5.2.4 Luminarios

El luminario es la caja de lámina en donde se alojan las lámparas y el balastro. La parte superior está cubierta con una pintura reflejante, que es necesario revisar periódicamente para cerciorarse que no esté deteriorada.

Actualmente se están fabricando reflectores de aluminio que se sobrepone al luminario con lo cual se logra una mayor reflexión, que puede llegar hasta el 95%, por lo cual, dependiendo del estado en que se encuentre la pintura, se puede ganar entre 25% y 50% de nivel de iluminación, lo que permitirá retirar la mitad de las lámparas ahorrándose el 50% de la energía eléctrica. Si con esta medida se perdiera nivel de iluminación, éste se puede recuperar por otros medios, como por ejemplo, sustituir lámparas por otras de mayor flujo luminoso y pintar paredes, techos y columnas de color claro. Estos reflectores también se usan para incrementar la iluminación cuando ésta no es suficiente, evitándose la instalación de luminarios adicionales.

El difusor es la tapa de acrílico que se coloca debajo de las lámparas. Su función consiste en difundir hacia los extremos la luz que sale en forma vertical. Además reduce la brillantez sin que por ello se afecte el nivel de iluminación. Si el difusor se encuentra sucio por el polvo acumulado, o bien ha adquirido un color amarillo, entonces si disminuirá el nivel de iluminación. Se debe realizar una buena limpieza a los difusores y si no mejoran, conviene sustituirlos por otros de mayor eficiencia. También existen en el mercado difusores tipo rejilla, con los que se obtienen buenos resultados.

5.2.5 Control de Encendido y Apagado

Para el control de encendido y apagado de los sistemas de alumbrado se tienen las siguientes recomendaciones:

- a) Controles de intensidad luminosa a través de reóstatos y dimmers en alumbrado incandescente.

- b) Foto interruptores tales como fotoceldas, controlando luminarios en pasillos con luz natural y en luminarios laterales a muros con entrada de luz natural. Normalmente estos accesorios de control operan a una intensidad luminosa de 100 luxes, auxiliándose cuando sea necesario de contactores magnéticos en función a la capacidad de las mismas.
- c) Relojes programadores para encendido y apagado automático de circuitos de alumbrado, ahí donde las labores tienen un horario riguroso, evitando así la falla humana.
- d) Sensores de presencia para encendido y apagado de áreas específicas donde se labora por más de 10 horas y sus ocupantes, dado el tipo de actividades, abandonan con cierta frecuencia el local.

5.2.6 Acabados del Local

Utilizar los colores idóneos para la pintura del inmueble, los acabados más convenientes así como los colores claros para el mobiliario, a fin de propiciar las mejores reflectancias y por ende la mayor eficiencia de los sistemas de alumbrado, así como la ganancia de calor en las localidades en donde esto sea necesario.

5.3 EFICIENCIA ENERGETICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO

En esta sección se establecen niveles de eficiencia energética en términos de *Densidad de Potencia Eléctrica* con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios nuevos y ampliaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica en estas instalaciones. Además, se establece el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica de los sistemas de alumbrado para uso general.

5.3.1 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado

La Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) se define como el índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción, se expresa en Watts por metro cuadrado (W/m^2)

Los valores de Densidad de Potencia Eléctrica con que deben cumplir los sistemas de alumbrado interior y exterior de algunos edificios no residenciales no deben exceder los valores indicados en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Valores máximos permisibles de densidad de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

TIPO DE EDIFICIO	DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA (W/m^2)	
	ALUMBRADO INTERIOR	ALUMBRADO EXTERIOR
Oficinas	16.0	1.8
Escuelas	16.0	1.8
Hospitales	14.5	1.8
Hoteles	18.0	1.8
Restaurantes	15.0	1.8
Comercios	19.0	1.8
Bodegas o áreas de almacenamiento*	8.0	
Estacionamientos interiores*	2.0	

* Sólo áreas que formen parte de los edificios cubiertos por esta tabla.

5.3.2 Método de Cálculo

La determinación de las DPEA del sistema de alumbrado de un edificio nuevo o ampliación de alguno ya existente, serán calculadas a partir de la carga total conectada de alumbrado y el área total por iluminar de acuerdo a la metodología indicada a continuación.

La expresión genérica para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica (DPEA) es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

donde la carga total conectada para alumbrado está expresada en Watts y el área total iluminada está expresada en m^2 .

A partir de la información contenida en los planos del proyecto de la instalación eléctrica y de los valores de potencia real nominal obtenidos de los fabricantes de los diferentes equipos de alumbrado considerados en dicha instalación, se cuantificará la carga total conectada destinada a iluminación así como el área total iluminada a considerarse en el cálculo para la determinación de la DPEA del sistema de alumbrado.

Se identificarán el número total de niveles o pisos que integran el edificio así como los diferentes usos del inmueble. Para cada uno de éstos se identificarán los diferentes espacios o particiones; para cada una de éstas se determinará la carga total conectada para iluminación como la suma de las potencias nominales de todos los equipos de alumbrado incluidos en el proyecto.

En el caso de los hospitales y clínicas se excluirán las áreas de atención especializada, como son: salas de autopsia, salas de operación (quirófanos), salas de expulsión, salas de recuperación postanestésica (terapia intensiva), salas de resucitación y servicios de emergencia.

En el caso de los equipos de alumbrado que requieran el uso de balastos u otros dispositivos para su operación, se considerará para fines de cuantificar la carga conectada el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-balastro-dispositivo.

Bonificaciones por el Uso de Controles.

Con el propósito de promover la utilización de equipos y sistemas de control de alumbrado como una de las alternativas que propicie el uso eficiente de la energía en sistemas de alumbrado, se establecen las bonificaciones de potencia con base en los factores indicados en la tabla 5.2 aplicables a los diferentes equipos de control más comúnmente utilizados en nuestro país.

Para la cuantificación de las cargas conectadas de los diferentes espacios, niveles o pisos del edificio, para el cálculo de las diferentes DPEA, se deberán considerar las bonificaciones de potencia para aquellos equipos de alumbrado cuya operación esté regulada por equipos o sistemas de control de los tipos indicados en la tabla 5.2, misma en la que se indican adicionalmente los factores de reducción de potencia permitidos sobre la potencia nominal de los equipos controlados.

La bonificación de potencia en Watts derivada de la aplicación de estos factores se restará, para fines de cuantificación, de la carga total conectada para cada espacio, nivel o piso del edificio.

En el caso de equipos de alumbrado controlados por dos o más dispositivos de control, se considerará exclusivamente la bonificación correspondiente al control que ofrezca la mayor reducción de potencia.

Tabla 5.2 Créditos bonificables de potencia eléctrica por el uso de equipos o sistemas de control para sistemas de alumbrado.

TIPO DE CONTROL	
TIPO DE ESPACIO	FACTOR
Sensores de presencia (con sensor independiente para cada espacio)	
Cualquier espacio menor de 25 m ² sin particiones de piso a techo	0.20
Bodegas o áreas de almacenamiento	0.50
Cualquier espacio mayor de 25 m ²	0.10
Atenuadores (dimmers)	
Manual para lámparas fluorescentes	0.05
Programable centralizado para lámparas fluorescentes	0.20
Sensores de luz natural (daylight)	
Zona perimetral de interiores distante de ventanas hasta 5m	0.10
Temporizadores (timers)	
Cualquier espacio menor de 25 m ² sin particiones de piso a techo	0.40
Alumbrado exterior	0.50
Controles combinados	
Sensor de ocupación en combinación con atenuador programable centralizado	0.50

5.3.3 Ejemplo

Las instalaciones del Laboratorio Clínico del Hospital General de Zona 144 C, de San Pedro Xalpa, México D.F., tienen una superficie de 280 m². La instalación eléctrica de alumbrado cuenta con las siguientes luminarias:

- 41 luminarias fluorescentes de 2 x 32 Watts, 127 Volts, arranque rápido, tipo empotrar.
- 14 luminarias fluorescentes de 2 x 13 Watts, 127 Volts, tipo empotrar de Holophane.
- 2 luminarias incandescentes con foco perla de 75 Watts y uno rojo de 25 Watts, 127 Volts, tipo empotrar.

Ninguna de las luminarias esta controlada por algún sistema de control especial.

Se requiere saber si dichas instalaciones cumplen con los requisitos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado.

SOLUCION:

La potencia conectada en este espacio será:

- a) Luminario fluorescente de 2 x 32 Watts más la carga del balastro → 78 Watts.

$$41 \text{ luminarios} \times 78 \text{ Watts} \longrightarrow \boxed{3,198 \text{ Watts}}$$

- b) Luminario fluorescente de 2 x 13 Watts más la carga del balastro → 34 Watts.

$$14 \text{ luminarios} \times 34 \text{ Watts} \longrightarrow \boxed{476 \text{ Watts}}$$

- c) Luminario incandescente, 1 foco de 75 Watts + 1 foco de 25 Watts → 100 Watts.

$$2 \text{ luminarios} \times 100 \text{ Watts} \longrightarrow \boxed{200 \text{ Watts}}$$

Potencia Total Conectada:

$$\begin{array}{r} 3,198 \text{ Watts} \\ - 476 \text{ Watts} \\ \hline 2,000 \text{ Watts} \\ \hline 3,874 \text{ Watts} \end{array}$$

- No existe bonificación de potencia por el uso de controles.

La Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Area total iluminada}}$$

$$DPEA = \frac{3,874 \text{ Watts}}{280 \text{ m}^2}$$

$$DPEA = 13.84 \text{ Watts/m}^2$$

De acuerdo a la tabla 5.1 se observa que esta sección del hospital se encuentra dentro del valor máximo permisible de Densidad de Potencia Eléctrica para Sistemas de Alumbrado en Hospitales, que es de 14.5 Watts/m²

CONCLUSIONES

Debido a las investigaciones realizadas en la Ingeniería en Iluminación y a las nuevas tecnologías, ha quedado atrás el concepto de instalar a las luminarias para la iluminación artificial como simples añadidos a las construcciones proyectadas, según conceptos arquitectónicos clásicos. Las investigaciones básicas han incrementado nuestros conocimientos de los requerimientos visuales, la industria manufacturera de equipo de iluminación ha proporcionado nuevas tecnologías más eficientes para la producción de luz, modificando la calidad de la misma, además actualmente existe un gran interés por la administración y conservación de la energía. Lo anterior nos conduce a un sólo camino: "*Diseñar un sistema de iluminación que cumpla con los requerimientos visuales de los ocupantes del lugar, en calidad y en cantidad, además de cumplir con los requerimientos técnicos y constructivos especificados en las normas nacionales e institucionales*".

El proyecto de cualquier instalación de alumbrado involucra a un número considerable de factores. Los requisitos de diseño, funcionales y estéticos en un medio ambiente, deben ser bien comprendidos para saber que factores tendrán un mayor peso al proyectar el sistema de alumbrado.

En general, un sistema de alumbrado bien proyectado proporcionará iluminación suficiente a la tarea visual para una visión sostenida adecuada, y una iluminación propiamente balanceada de los alrededores para dar un sentido de comodidad, bienestar y, aún, de seguridad.

La iluminación de los hospitales presenta muchos problemas al involucrar un amplio campo de actividades. Todos los locales del hospital deben contar con un equipo de alumbrado que proporcione a doctores, enfermeras, técnicos y trabajadores en general una cantidad suficiente de iluminación con una calidad y direccionalidad tal que les permita desempeñar todas sus funciones con facilidad. Aún cuando la iluminación debe cubrir las demandas de los médicos y de los servicios del hospital, también debe tomar en cuenta las necesidades de confort de los pacientes. Recientemente ha existido un gran desarrollo en las técnicas médicas, por lo que han surgido nuevos desafíos para el proyectista del alumbrado, que debe diseñar un sistema que proporcione la mejor iluminación para las nuevas tareas visuales.

México ha sido reconocido como una de las naciones con más desarrollo en la introducción de programas de ahorro de energía en iluminación. El Instituto Mexicano del Seguro Social recientemente se ha preocupado por la racionalización del uso de la energía, es por ello que sus proyectistas basándose en las normas internas, han implementado programas encaminados con este fin, además sus nuevas instalaciones son proyectadas bajo el concepto de ahorro de energía.

Las principales acciones que se han tomado involucran el aprovechamiento de la luz natural, el uso de dispositivos de control de iluminación como sensores de presencia y atenuadores, la utilización de nuevas tecnologías como son los sistemas integrales de iluminación consistentes en luminarios con diseño adecuado, lámparas fluorescentes T-8 de alta eficacia, balastos electrónicos y reguladores de luz, los cuales producen una iluminación de alta calidad, y el uso de sistemas integrales de ahorro de energía para sustituir lámparas incandescentes, los cuales constan principalmente de lámparas fluorescentes compactas.

ANEXO A

- **NIVELES DE ILUMINACION RECOMENDADOS EN EL IMSS.**
- **TABLA DE REFLEXIONES APROXIMADAS.**

**NIVELES DE ILUMINACION Y PORCENTAJE QUE SE CONSIDERARA
EN SERVICIO DE EMERGENCIA**

AREA o LOCAL	NIVEL LUMINOSO (Luxes)	TIPO DE ILUMINACION FI Fluorescente In Incandescente	TIPO DE CONTROL LUMINARIA	% EMERGENCIA ALUMBRADO
CONSULTA EXTERNA				
Consultorio	275	FI	Apagador	50
Consultorio Dental	275	FI	Apagador	50
Consultorio de Oftalmología	275	FI e In	Apagador	50
Consultorio de Gineco-obstetricia	275	FI	Apagador	50
Consultorio de Especialidades	275	FI	Apagador	50
Cámara de Observación	275	FI	Apagador	50
Sala de Espera	200	FI	Tablero	30
URGENCIAS				
Consultorio	275	FI	Apagador	50
Curaciones	400	FI	Apagador	50
Cuarto de Yeso	275	FI	Apagador	50
Rehidratación	275	FI	Apagador	50
Observación Adultos				
Area General	275	FI	Apagador	30
Area Paciente	275	FI	Apagador	50
Atención Adultos				
Area General	275	FI	Apagador	30
Area Paciente	275	FI	Apagador	50
Consultorio de Pediatría	275	FI	Apagador	50
Trabajo de Enfermeras	275	FI	Apagador	50
Sala de Espera	200	FI	Tablero	30
TOCOCIRUGIA				
Quirófano	500	FI	Tablero	100
Férulas	400	FI	Apagador	50
Sala de Expulsión	500	FI	Tablero	100
Trabajo de Parto				
Area General	400	FI	Apagador	100
Area Paciente	400	FI	Apagador	100
Exploración y Preparación	275	FI	Apagador	100
Taller de Anestesia	275	FI	Apagador	100
Circulación Blanca	275	FI	Tablero	100
Circulación Gris	275	FI	Tablero	100
Guarda Rayos X	100	FI	Apagador	100

(continúa)

AREA o LOCAL	NIVEL LUMINOSO (Luxes)	TIPO DE ILUMINACION FI Fluorescente In Incandescente	TIPO DE CONTROL LUMINARIA	% EMERGENCIA ALUMBRADO
Cuarto Oscuro	75	FI	Apagador	50
Lavado Instrumental	275	FI	Apagador	50
Recuperación				
Area General	275	FI	Apagador	100
Area Paciente	400	FI	Apagador	100
TERAPIA INTENSIVA				
Area General	275	FI	Apagador	100
Cubículo Paciente	275	FI	Apagador	100
Monitoreo y Central de Enfermeras	275	FI	Apagador	100
CEYE				
Area de Trabajo	275	FI	Apagador	30
Autoclave	75	FI	Apagador	50
Oficina	275	FI	Apagador	50
GUARDA DE MATERIAL				
Admisión Hospitalaria	275	FI	Apagador	50
Ropa de Hospital	75	FI	Apagador	
Ropa de Calle	75	FI	Apagador	
Cuneros Transición	275	FI Vitalite	Apagador	50
Vestidores	200	FI	Apagador	25
Archivo Clínico	275	FI	Apagador	25
Trabajo Social Cubiculo	275	FI	Apagador	50
Farmacia	275	FI	Apagador	50
Laboratorio				
Mesas de Trabajo	300	FI	Apagador	50
Tomas de Muestras Cubiculo	200	FI	Apagador	50
Imagenología				
Sala de Rayos X	75	FI Compacta	Apagador	
Rayos X, Caseta de Control	75	FI Compacta	Apagador	1u
Rayos X Dental	200	FI	Apagador	1u
Vestidor	75	FI	Apagador	1u
Preparación y Reposo	75	FI	Apagador	
Cuarto Oscuro	75	In	Apagador	
Archivo de Placas	200	FI	Apagador	
Interpretación	200	FI	Apagador	
Criterio	200	FI	Apagador	

(continúa)

AREA o LOCAL	NIVEL LUMINOSO (Luxes)	TIPO DE ILUMINACION Fl Fluorescente In Incandescente	TIPO DE CONTROL LUMINARIA	% EMERGENCIA ALUMBRADO
Anatomía Patológica				
Sala	400	Fl	Apagador	50
Mesa Mortuorio	500	Fl	Apagador	100
Laboratorio	400	Fl	Apagador	50
Identificación de Cárdiveres	275	Fl	Apagador	50
Espera de Deudos	200	Fl	Apagador	50
Medicina Preventiva				
Inyección e Inmunización	275	Fl	Apagador	50
FISIOTERAPIA				
Cubículo	275	Fl	Apagador	30
Tina Hubbard	275	Fl	Apagador	10
Gimnasio	275	Fl	Apagador	10
Guarda Aparatos	75	Fl (Lu)	Apagador	
Terapia Ocupacional	275	Fl	Apagador	10
PEDIATRÍA				
Cuneros				
Area General	200	Fl e In Vitalite	Apagador	100
Prematuros	275	In Vitalite	Apagador	100
Aislados	275	In Vitalite	Apagador	100
Técnica de Aislamiento	200	In Vitalite (Lu)	Apagador	100
Baño de Aríesa	200	In Vitalite	Apagador	
Curaciones	275	In Vitalite	Apagador	100
Lactantes y Preescolares				
Area General	200	Fl	Apagador	50
Aislado	200	Fl	Apagador	100
Séptico	200	Fl	Apagador	
Técnica de Aislamiento	200	Fl	Apagador	100
HOSPITALIZACIÓN ADULTOS				
Curaciones	275	Fl	Apagador	100
Tizancia	200	Fl	Apagador	100
Encamados General	200	Lámpara Cabecera y Velad.	Apagador	100
Encamados Nocturna	50	Lámpara Cabecera y Velad.	Apagador	100
Encamados Lectura	275	Lámpara Cabecera y Velad.	Apagador	100

(continúa)

AREA o LOCAL	NIVEL LUMINOSO (Luxes)	TIPO DE ILUMINACION FI Fluorescente FI Incandescente	TIPO DE CONTROL LUMINARIA	% EMERGENCIA ALUMBRADO
Aislados				
Trabajo de Enfermera	275	Lámpara Cabeceera	Apagador	100
Alta Especialidad	400	FI	Apagador	100
		FI Vitalite	Apagador	100
GOBIERNO Y ENSEÑANZA				
Area Secretarial				
Biblioteca	275			
Acervo	275	FI	Apagador	30
Aula	200	FI	Apagador	30
Auditorio	275	FI	Apagador	30
Conferencias		FI	Apagador	30
Asambleas	200			
Proyección	100	FI Comp. Normal	Tablero	30
Caseta de Proyección	50	FI Comp. Normal	Tablero	30
	100	FI Comp. Normal	Tablero	30
Oficina del Director		In	Apagador	
Sala de Juntas	275	FI		
Sala de Espera	275	FI	Apagador	50
	200	FI	Apagador	50
		FI	Tablero	30
SERVICIOS GENERALES				
Casa de Máquinas				
Subestación	200			
Taller de Mantenimiento	200	FI	Apagador	50
Oficina del Jefe de Mantenimiento	200	FI	Apagador	100
Manifold	275	FI	Apagador	50
Comutador	50	FI	Apagador	50
Area de Trabajo		FI Compacta	Tablero	
Descanso	275			
Equipo de Intercomunicación	100	FI	Apagador	50
	275	In	Apagador	
		FI	Apagador	
Cocina Preparación				
Despensa	200			
Laboratorio de Leches	100	FI	Apagador	50
Lavado		FI Compacta	Apagador	
Preparación	200			
	200	FI	Apagador	50
		FI	Apagador	50
LAVANDERÍA				
Area de Trabajo				
Costura	200	FI		
Almacén	275	FI	Apagador	30
Banco de Leches	100	FI	Apagador	30
	200	FI	Apagador	
		FI	Apagador	

(continúa)

AREA o LOCAL	NIVEL LUMINOSO (LUNES)	TIPO DE ILUMINACION FI Fluorescente FI Incandescente	TIPO DE CONTROL LUMINARIA	% EMERGENCIA ALUMBRADO
Oficina	275	FI		
Almacén General	200	FI	Apagador	50
Sistemalización	400	FI	Apagador	
Comedor	100	FI	Apagador	50
			Apagador	30
ÁREAS GENERALES				
Vestíbulo Principal	200	FI		
Vestíbulo Secundario	200	FI	Tablero	30
Circulaciones	100	FI	Tablero	30
Sala de Espera	200	FI	Tablero	25
Sala de Día	100	FI	Tablero	25
Cuarto de Aseo	50		Tablero	100
Cuarto Séptico	100	FI Compacta		
Caseta de Aire Acondicionado	100	FI	Apagador	1u
Caseta de Elevadores	100	FI	Apagador	1u
Sanitarios en General	100	FI	Apagador	1u
Baños y Vestidores	100	FI	Tablero	1u
Lavabos	100	FI	Apagador	25
Caseta de Control	100	FI	Apagador	
Cuarto Ambulante	100	FI	Apagador	1u
Oficina Delegado	275	FI	Apagador	
Estacionamiento			Apagador	30
Cubierta	50	FI		
Abierta	10	VSAP	Tablero	30
			Tablero	
VELATORIOS				
Capilla				
Sala de Descanso	100	In		
Preparación de Cadáveres	100	In	Apagador	25
Exposición de Ataúdes	200	In	Apagador	1u
Arca Administrativa	200	In	Apagador	25
Cafetería	275	In	Apagador	25
Almacén	100	In	Apagador	30
	50	In	Apagador	25
Vestíbulo	200	In	Apagador	25
			Tablero	30
GUARDERÍAS				
Aulas				
Sala de Juegos	200	In	Apagador	25
Oficina Administrativa	200	In	Apagador	25
	275	In	Apagador	30

(Continúa)

AREA o LOCAL	NIVEL LUMINOSO (Luxes)	TIPO DE ILUMINACION Fl Fluorescente In Incandescente	TIPO DE CONTROL LUMINARIA	% EMERGENCIA ALUMBRADO
TIENDAS				
Area de Ventas	400	Fl	Tablero	30
Zona de Cajas	400	Fl	Tablero	100
Bodegas	50	Fl	Apagador	25
Oficina Administrativa	275	Fl	Apagador	30
ALMACENES REGIONALES				
Oficina Administrativa	275	Fl	Apagador	30
Arca de Estanteria	50	Fl	Tablero	25
BIOTERIOS				
Jaulas	325	Fl		100

TABLA DE REFLEXIONES APROXIMADAS

I. SUPERFICIES DE PINTURA		
TONO	COLOR	REFLEXION EN %
Muy Claro	Blanco Nuevo	88
	Blanco Viejo	76
	Azul Verde	76
	Crema	81
	Azul	65
	Miel	76
Claro	Gris	83
	Azul Verde	72
	Crema	79
	Azul	55
	Miel	70
Mediano	Gris	73
	Azul Verde	54
	Amarillo	65
	Miel	63
Obscuro	Gris	61
	Azul	8
	Amarillo	50
	Café	10
	Gris	25
	Verde	7
	Negro	3
II. SUPERFICIES DE MADERA CON BARNIZ		
COLOR	REFLEXION EN %	
Maple	43	
Nogal	16	
Caoba	12	
Pino	48	
III. ACABADOS METALICOS		
COLOR	REFLEXION EN %	
Blanco Polarizado	70 - 85	
Aluminio Pulido	75	
Aluminio Mate	75	
Aluminio Claro	79	
Aluminio Medio	59	

CONTINUA

IV. ACABADOS DE CONSTRUCCION APARENTES

TIPO	REFLEXION EN %
Roca Basáltica	18
Cantera Clara	18
Tabique Muy Pulido	48
Tabique Rojo Vidriado	30
Tabique Pulido	40
Tabique Rojo Bamizado	30
Cemento	27
Concreto	40
Mármol Blanco	45
Vegetación	25
Asfalto Limpio	7
Adoquin de Roca Ignea	17
Grava	13
Pasto (Verde Oscuro)	6
Pizarra	8

BIBLIOGRAFIA

- [1] BUCHE, FREDERICK "Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería" Tomo II, Editorial McGraw-Hill, 1976, 568 pp.
- [2] CONELEC, INDUSTRIAS "Manual Eléctrico", tercera edición, 1993, 401 pp.
- [3] FIDE, FIDEICOMISO DE APOYO AL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA DEL SECTOR ELECTRICO "Recomendaciones para el Ahorro de Energía Eléctrica en Edificios".
- [4] "IES Lighting Handbook" 1987 Application Volume, ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 345 East 47th Street, New York, N.Y. 10017.
- [5] "IES Lighting Handbook" 1984 Reference Volume, ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 345 East 47th Street, New York, N.Y. 10017.
- [6] ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA "Curso Básico de Iluminación", Publicado en México D.F. por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación, A.C. (SMII), primera edición , 1976.
- [7] INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS) "Normas de Diseño de Ingeniería" Tomo III "Instalaciones Eléctricas", 1993.
- [8] INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS) "Especificaciones Generales de Construcción" Tomo II "Instalaciones Eléctricas, Telefonía y Sonido".
- [9] NORMA OFICIAL MEXICANA, PROYECTO NOM-082-SCFI-1994 "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios No Residenciales", septiembre 1994.
- [10] PHILIPS "Manual de Alumbrado", Editorial PARANINFO, S.A., 1988, 327 pp.
- [11] RAMIREZ VAZQUEZ JOSE "Luminotecnia", Ediciones CEAC, S.A., 1990.
- [12] RAMIREZ VAZQUEZ JOSE "Sistemas de Iluminación Proyectos de Alumbrado", Ediciones CEAC, S.A., cuarta edición, 1987, 226 pp.
- [13] WESTINGHOUSE "Manual del Alumbrado", Editorial DOSSAT, S.A., tercera edición, 1985, 255 pp.

CATALOGOS

[14] Catálogos de Luminarias "HOLOPHANE" y "NOVALUX".

[15] Catálogos de Lámparas "OSRAM" y "PHILIPS".

[16] Catálogos de Balastos "LUMISISTEMAS" y "MANUFACTURERA DE REACTORES".