

5/21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS."
AHORRO DE ENERGIA EN UN PROYECTO DE
ILUMINACION.

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
BERNARDO DELGADO ANDRADE

ASESOR: ING. CASILDO RODRIGUEZ ARCINEGA.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Iluminación e Instalaciones Electricas: Ahorro de
Energia en un Proyecto de Iluminación.

que presenta el pasante: Bernardo Delgado Andrade
con número de cuenta: 8306402-5 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el
EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 2 de Septiembre de 1997

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
I	Ing. Jaime Rodriguez Martinez	<i>Jaime</i>
II	Ing. Pedro Guzman Tinajero	<i>Pedro</i>
III	Ing. Casildo Rodriguez Arciniega	<i>Casildo</i>
IV	Ing. Benjamin Contreras Santa Cruz	<i>Benjamin</i>

DEP/VOB0SEM

DEDICATORIA

En la vida existen aspiraciones y anhelos y en la realización de estos intervienen personas y seres queridos quienes hacen posible el llegar a esté fin. A ellos dedico este trabajo y esté pensaminto:

Privilegiados sean aquellos que han logrado sembrar la semilla del recuerdo en un ser humano pues asi no sera olvidado aun en la distancia, por grande que está sea y permanecerán vivos en la historia de esos seres, como vivirán en mi pequeña pero agradecida historia.

Agradesco por su apoyo a: Mis Padres
Mi Familia
y Mi Esposa.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1; CONCEPTOS UTILIZADOS EN INGENIERIA DE ILUMINACION	
1.1 LA LUZ	3
1.2 UNIDADES DE MEDIDA	4
1.3 TERMINOLOGIA DE ILUMINACION	4
1.4 ANGULO SOLIDO Y ESTEREORRADIAN	6
1.5 INTENSIDAD LUMINOSA	6
1.6 LUMINANCIA	7
1.7 EL COLOR	8
1.8 TEMPERATURA DEL COLOR	8
1.9 REFLEXION	8
1.10 REFRACCION	8
1.11 POLARIZACION	9
CAPITULO 2; LUZ NATURAL	
2.1 MOVIMIENTOS DE LA TIERRA	10
2.1.1 MOVIMIENTO DE ROTACION	10
2.1.2 MOVIMIENTO DE TRASLACION	10
2.2 ESTACIONES	11
2.3 LUZ NATURAL	13
2.4 ORIGEN DE LA LUZ NATURAL Y SU DISTRIBUCION	13
2.5 EL SOL COMO UNA FUENTE DE LUZ	13
2.6 LA TIERRA COMO UNA FUENTE DE LUZ	16
2.7 DISPONIBILIDAD DE LUZ NATURAL	16
2.8 LA DISPONIBILIDAD COMO UNA FUNCION DE LA POSICION SOLAR	16
2.9 LA DISPONIBILIDAD COMO UNA FUNCION DEL SITIO DE LOCALIZACION Y ORIENTACION	19

CAPITULO 3; ILUMINACION Y CONSTRUCCION

3.1	DISEÑO DE ILUMINACION EN LAS CONSTRUCCIONES	21
3.2	ORIENTACION DE LA VENTANA	24
3.3	MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONTROL	24
3.4	MATERIALES DE BAJA TRANSMITANCIA	24
3.5	MATERIALES DE ALTA REFLECTANCIA	25
3.6	MATERIALES DE ALTA REFLECTANCIA, BAJA TRANSMITANCIA	25
3.7	MATERIALES DIFUSORES	25
3.8	MATERIALES TRANSMISORES DIRECCIONALES	26
3.9	MATERIALES TRANSMISORES ESPECULARES SELECTIVOS.	26
3.10	MARQUESINAS	26
3.11	ELEMENTOS VERTICALES	26
3.12	PANTALLAS Y CORTINAS	26
3.13	PERSIANAS	26
3.14	TIPOS DE CONSTRUCCION	26
3.15	OFICINAS E INSTALACIONES EDUCATIVAS	27
3.16	CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES	27
3.17	MANTENIMIENTO	28
3.18	METODO DE LUMEN PARA ILUMINACION ARTIFICIAL	28
3.19	TEORIA DEL METODO DE CAVIDAD ZONAL	29
3.21	CALCULOS EN ILUMINACION NATURAL	30

CAPITULO 4; PRINCIPIOS DE ILUMINACION ARTIFICIAL

4.1	NEGLIGENCIA EN LA ILUMINACION ARTIFICIAL	34
4.2	EL PROCESO DE LA VISION	34
4.3	LOS DOS MEDIOS DE ILUMINACION	35
4.4	ASPECTOS DE VISIBILIDAD	36

4.5	GENERACION DE LA LUZ	36
4.6	LAMPARAS NAV-ALTA PRESION	38
4.7	LAMPARAS HQL (VAPOR DE MERCURIO)	39
4.8	LAMPARAS DE VAPOR DE ADITIVOS METALICOS-HQM.	41
4.9	LAMPARAS DE LUZ MIXTA-HWL.	42
4.10	CURVAS FOTOMETRICAS DE DISTRIBUCION DE LUZ	43
4.11	COMODIDAD EN LA ILUMINACION	44
4.12	CONTROL DE LA LUZ	44
4.13	NIVELES DE ILUMINACION EN MEXICO	45
4.14	LAMPARAS AHORRADORAS	48
4.15	BALASTRA AHORRADORA	50
CAPITULO 5; EJEMPLO DE APLICACION		51
CONCLUSIONES		61
BIBLIOGRAFIA		62

INTRODUCCION

Durante miles de años los hombres estudiaron y observaron acontecimientos dramáticos en edificios proyectados sólo para desempeñar actividades durante el día. En épocas más recientes, la iluminación artificial extendió el uso de las construcciones industriales y comerciales hasta en las horas de la oscuridad. Pero en sus principios, las técnicas de iluminación se aplicaron con ignorancia de los requisitos visuales humanos.

Los medios por los cuales la luz útil llega a los ojos están relacionados con la dualidad de la percepción visual por los bastones y los conos, que son las células fotosensibles en los ojos.

Un sistema de alumbrado bien proyectado, proporciona iluminación suficiente de la propia tarea visual, para una visión sostenida adecuada y una iluminación propiamente balanceada de los alrededores para dar un sentido de comodidad, bienestar y seguridad.

La luz es una banda especial y estrecha de la energía electromagnética, existe en la forma de ondas repetidas que marchan por caminos estrechos, rayos, en todas las direcciones a partir de la fuente.

El Sol y las lámparas se consideran como fuentes de luz porque transforman - otras formas de energía en longitudes de onda de energía radiante que llamamos luz.

La cantidad de energía solar que llega a la Tierra depende de varios factores entre los que podemos mencionar: tiempo, distancia Tierra-Sol, ángulo de incidencia de los rayos solares, transparencia de la atmósfera y continuidad de la radiación solar.

El Sol es una abundante fuente de energía radiante; sin embargo sólo la mitad de esta energía alcanza la superficie terrestre como luz solar o radiación visible, la otra mitad de la energía solar radiante contiene componentes de longitud de onda invisible y onda larga. Cuando se absorbe virtualmente toda la energía radiante del Sol es convertida a calor. Por lo tanto, la energía solar, luz solar y calor solar, son sólo diferentes nombres de energía solar radiante.

Con respecto a las lámparas es importante que desde el primer día en que se pone a funcionar el alumbrado, la iluminación va cambiando conforme las lámparas envejecen. Además la suciedad acumulada en las luminarias y otros factores contribuyen a la pérdida de luz. El factor de pérdidas totales es el resultado final por la presencia de todos los factores parciales. Algunos de ellos sólo pueden estimarse de manera aproximada; otros pueden evaluarse a través de pruebas o ensayos. Algunos son: Características de funcionamiento de balastro o reactor, tensión de alimentación de luminarias, variaciones de reflectancia de la luminaria, lámparas fundidas, temperatura ambiente, luminarias con intercambio de calor (existen luminarias cuyo diseño permite que se utilicen como parte del sistema de ventilación o aire acondicionado),

degradación luminosa de la lámpara (la reducción gradual de la luminosidad producida por el paso del tiempo es diferente para cada tipo y calidad de lámpara) y disminución de emisión luminosa por suciedad (este factor varía con el tipo de luminaria y el ambiente en que trabaja).

En virtud de la importancia en la utilización de la luz solar como una fuente de ahorro energético el presente trabajo se refiere a una pequeña nave industrial, en donde es importante tomar en cuenta varios factores de mantenimiento y los mencionados anteriormente.

CAPITULO 1

CONCEPTOS UTILIZADOS EN INGENIERIA DE ILUMINACION

1.1 LA LUZ

A fines del siglo XIX Jacobo Clerk Maxwell, demostró que la luz puede ser considerada como un movimiento ondulatorio electromagnético del éter. Maxwell imaginó la luz como una combinación de ondas eléctricas y magnéticas transversales que se mueven a una velocidad de 300 000 Km por segundo.

En 1886, Enrique Hertz demostró la existencia de tales ondas y su gran parecido a las ondas de luz. Ocho años más tarde logró reproducirlas artificialmente en el laboratorio y comprobó que dichas ondas electromagnéticas son susceptibles de reflejarse, refractarse y polarizarse. Determinó además la velocidad de las mismas, que resultó ser igual a las de la luz.

De esa época a la fecha se ha venido a demostrar que la energía radiante de cualquier clase es siempre de naturaleza electromagnética, desde las ondas de radio, el calor, la luz visible y la luz ultravioleta, hasta los rayos X, y también posiblemente las radiaciones cósmicas. La diferencia esencial entre todas estas clases de radiaciones consiste en la longitud de onda.

La luz o "energía visible" es una banda especial y estrecha de la energía electromagnética. Esta energía existe en la forma de ondas repetidas que marchan por caminos estrechos, rayos en todas direcciones a partir de la fuente (fig.1).

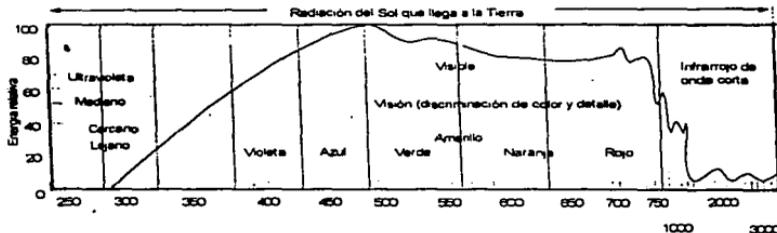


Figura 1: Las tres bandas principales del espectro electromagnético en las que se interesa la ingeniería de iluminación son ultravioleta visible e infrarrojo de onda corta.

El espectro de la onda de energía radiante que llamamos luz es muy estrecho, oscilando su longitud de onda aproximadamente entre los 380 y 760 nm. Fuera de esta banda sólo hay oscuridad, ya que, aunque el ojo queda expuesto a radiaciones de longitudes de onda inferiores o superiores, no es capaz de dar respuesta.

1.2 UNIDADES DE MEDIDA

Vamos a considerar las magnitudes y unidades fundamentales empleadas en la medición de aquéllas.

1.3 TERMINOLOGIA DE ILUMINACION

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

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

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

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

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

$$E \text{ (iluminación en luxes)} = \frac{\text{lúmenes generados} \times Cu}{\text{área considerada en metros cuadrados}}$$

En esta fórmula Cu es un coeficiente combinado relacionado con el tamaño del cuarto, su configuración, reflectancias y la eficiencia del luminario. Los fabricantes de luminarios publican tablas con valores de Cu.

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

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

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

Así pues, si 1000 luxes representan la iluminación sobre un escritorio y éste tiene una reflectancia de 60 %, su brillantez es de 600 "metros lamberts", o sea que se reflejan 600 lúmenes por metro cuadrado, equivalentes a $600 / 10.76$ sean 56 "pie-lamberts" (lúmenes por pie cuadrado). Por lo tanto tenemos: B (en metro lamberts) = E (luxes) X R (factor de reflexión).

La iluminación "luxes" puede ser medida también en "lúmenes por metro cuadrado". Por ejemplo si unos luminarios generan en total 100,000 lúmenes, y en virtud de la eficiencia de los luminarios y de la absorción de la luz por las paredes del cuarto el 60% de los lúmenes caen sobre los cuarenta metros cuadrados del área de trabajo, la iluminación promedio es:

$$E \text{ (LUX) } = \frac{100\,000 \text{ (lúmenes) } \times 0.60}{40 \text{ m}} = 1,500 \text{ luxes}$$

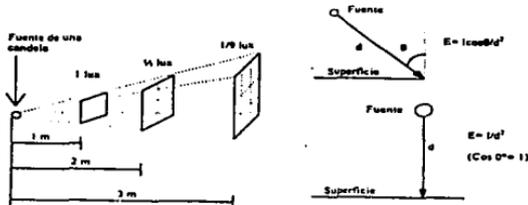


Fig. 2 Iluminación desde una "fuente punto". Un lux (lumen por metro cuadrado) es la iluminación de una vela patrón sobre una superficie de un metro cuadrado situada a una distancia de un metro de la fuente luminosa. A dos metros de distancia los mismos rayos tendrían que cubrir un área cuatro veces más grande. En la fórmula básica la superficie receptora es normal al rayo de luz. Si está superficie está inclinada en "θ" grados de la normal, entonces:

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

d^2

1.4 ANGULO SOLIDO Y ESTEREOERRADIAN

El concepto de ángulo sólido (ω) se emplea constantemente en iluminación y se trata de una generalización en el espacio de la noción del ángulo plano. El ángulo plano sirve para definir la abertura de un cono que en el caso más general, no es necesariamente de revolución.

Si trazamos una esfera de radio unidad cuyo centro sea el vértice del cono, éste recorta una cierta superficie sobre la esfera. El área de esta superficie es el ángulo sólido del cono (fig. 3).

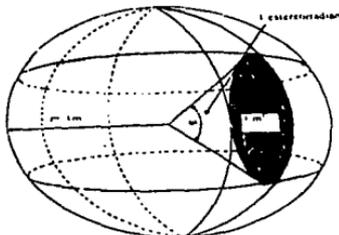


Fig. 3 El ángulo sólido.

La unidad del ángulo sólido es el estereorradián (sr). De acuerdo con lo expuesto, es el ángulo sólido de un cono que recorta una superficie de un metro cuadrado sobre una esfera de 1 m de radio.

1.5 INTENSIDAD LUMINOSA

Se conoce como intensidad luminosa (I), a la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente puntual o, por unidad de ángulo sólido ω , es decir:

$$I = \Phi / \omega \quad (\text{fig. 4})$$

La unidad de intensidad luminosa es la candela (cd), que se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual, que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián:

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / 1 \text{ sr}$$

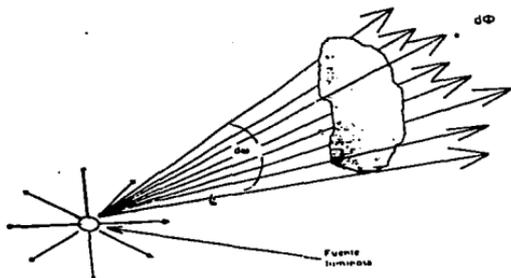


Fig. 4 Intensidad luminosa

1.6 LUMINANCIA

La iluminancia es una magnitud fotométrica de gran importancia pues se trata de la variable que aprecia el ojo cuando se observa fuentes extensas. La sensación visual que se denomina claridad varía con la luminancia que presenten los objetos observados, de forma que luminancias iguales no producen la misma claridad subjetiva.

Supongamos una fuente luminosa de superficie S . Se conoce como luminancia de esta fuente en una dirección determinada (fig. 5), la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la sección aparente S' de la superficie en cuestión, para un observador situado en la citada dirección. Recordando que la sección aparente S' es la proyección de la superficie S sobre un plano perpendicular a la dirección determinada, y por lo tanto:

$$S' = S \cos \alpha$$

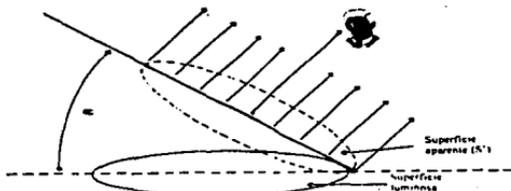


Fig. 5 Definición de luminancia

1.7 EL COLOR

El color es un término que describe un desequilibrio de la energía radiante visible que llega al ojo proveniente de las fuentes de luz y de los objetos, es decir, con desviaciones respecto a un valor medio en cada una de las longitudes de onda, lo que da lugar a innumerables combinaciones. El color no es una propiedad física de las cosas que vemos, el color es el efecto de las ondas de luz rebotando o pasando a través de varios objetos. Por ejemplo para un objeto que sea de color rojo, lo que sucede en realidad es que únicamente refleja las ondas del espectro visible que caracterizan a ese color, pero las demás son absorbidas.

1.8 TEMPERATURA DEL COLOR

La temperatura del color es un término que se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con la de un cuerpo negro o radiador completo; ésta se proporciona en grados kelvin.

La temperatura de color no es una medida de la temperatura real, ya que define el color solamente, y que se puede aplicar únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro. Las lámparas fluorescentes, de mercurio, de sodio y las más intensamente coloreadas no se igualan con el cuerpo negro a ninguna temperatura. Sin embargo, para éstos tipos de lámparas, se emplea el término "temperatura" de color correlacionado o aparente. La temperatura de color correlacionada es la temperatura del cuerpo negro tal que su color se parece lo más posible al de la fuente.

1.9 REFLEXION

Es el fenómeno que tiene lugar cuando las ondas, que avanzan por un medio, chocan contra un obstáculo que las hace retroceder cambiando de dirección o sentido, de tal modo que los rayos incidente y reflejado forman con la perpendicular en el punto de incidencia, ángulos iguales y situados en un mismo plano perpendicular a la superficie de separación de los dos medios.

1.10 REFRACCION

Al pasar un rayo de luz de un medio a otro, además de producirse un cambio de dirección, se efectúa una disminución en su intensidad debida a una cierta absorción de la energía radiante por parte de los átomos del pigmento o de la sustancia de la que ésta formada el medio. El grado de difusión de los rayos transmitidos depende del tipo y densidad del material originándose así, distintos tipos de transmisión entre los que podemos mencionar: pura, difusa, dirigida, etc. (fig. 6)

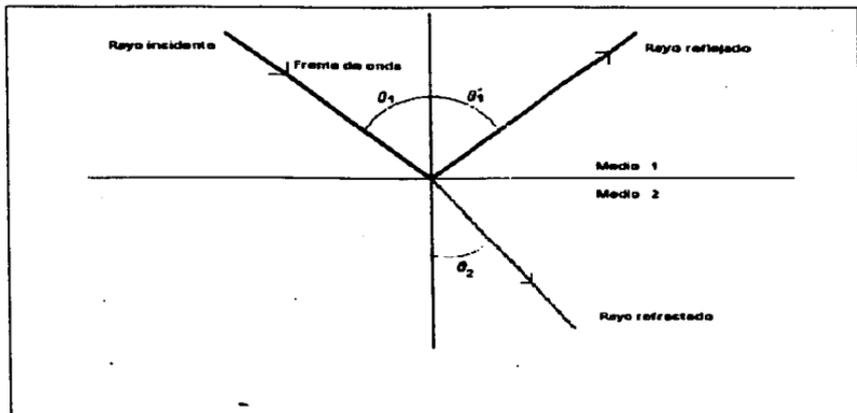


Fig. 6 Muestra el fenómeno de refracción.

1.11 POLARIZACION

La luz cuyas ondas vibran solamente en un plano se denomina luz polarizada. Las vibraciones que originan el movimiento de las ondas de un rayo de luz tiene lugar perpendicularmente a la dirección en que se desplaza la luz, y en un haz de luz ordinaria dichas vibraciones se efectúan según todas las direcciones posibles en el plano perpendicular al mismo. Haciendo pasar la luz a través de un material de estructura cristalina, tal que sólo transmita ondas vibrando en una sola dirección, se puede reproducir luz polarizada, cuyas vibraciones son todas paralelas.

CAPITULO 2

LUZ NATURAL

La cantidad de energía que llega a la Tierra depende de varios factores, entre los que podemos mencionar: Tiempo (en que el Sol está sobre el horizonte, en la bóveda celeste, en una determinada latitud y en determinada época del año), distancia Tierra-Sol, Angulo de incidencia de los rayos solares, Transparencia de la atmósfera y Continuidad de la radiación solar.

2.1 MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

La Tierra presenta varios movimientos, los dos más importantes y que afectan a la cantidad de luz que recibe del Sol son: Rotación y Traslación.

2.1.1. MOVIMIENTO DE ROTACION

La Tierra gira con la misma velocidad alrededor de su propio eje polar en 23 horas, 56 minutos, 4.09 segundos, con una dirección de rotación de Oeste a Este.

2.1.2 MOVIMIENTO DE TRASLACION

Este movimiento es el desplazamiento de la Tierra alrededor del Sol, siguiendo una órbita elíptica en 365 días, 6 horas, 9 minutos y 10 segundos. El movimiento no es uniforme, la Tierra recorre unas partes de su órbita con mayor velocidad que otras.

En realidad, la elipse descrita por la Tierra, es casi una circunferencia; los focos de ésta elipse están relativamente juntos. La forma elíptica de la órbita terrestre y la posición del Sol ocupando uno de los focos, hacen que la distancia de la Tierra al Sol varíe continuamente. El punto de la órbita más próxima al Sol, el perihelio (147 millones de Km), ocurre el 3 de enero; el más distante, el afelio (152 millones de Km), ocurre el 4 de julio.

El eje de la Tierra no es perpendicular al plano de su órbita, forma con la perpendicular a éste plano, un ángulo de $23^{\circ}27'$. Por esta causa, el plano del ecuador no coincide con el plano de la órbita, sino que forma también un ángulo de $23^{\circ}27'$.

Debido a la gran distancia entre el Sol y la Tierra, los rayos solares que llegan a ésta se consideran paralelos entre sí y puesto que la Tierra es redonda, la vertical varía en sus diferentes puntos (Fig.7).

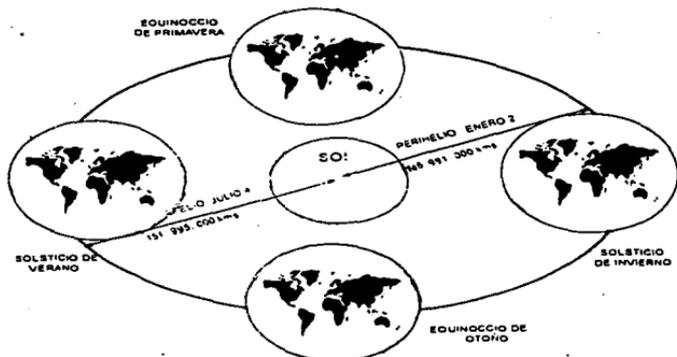


FIGURA 7 Posiciones de la tierra en su movimiento de translación anual, al ocurrir los equinoccios y los solsticios en el hemisferio septentrional. Al sur del ecuador las estaciones están invertidas

Por la razón anterior, el calentamiento y la iluminación de la superficie terrestre no son uniformes, siendo mayores en lugares donde el ángulo de incidencia es menor y disminuyen a medida que el ángulo de incidencia de los rayos solares aumenta.

Debido a esta posición inclinada del eje de rotación terrestre, el área que recibe la máxima intensidad se desplaza de norte a sur (fig. 8).

2.2 ESTACIONES

Solsticio de verano para el hemisferio norte (invierno para el sur), 21 de junio. En los meses de verano el hemisferio norte está inclinado hacia el Sol. Por esta razón la trayectoria aparente del Sol pasa por el cenit en lugares ubicados a una latitud de $23^{\circ}27' N$ (Trópico de Cáncer) y se experimenta ahí, el periodo más largo de luz diurna y radiación máxima. Al mismo tiempo en la latitud de $23^{\circ}27' S$, se experimenta el día más corto y la radiación mínima.

Solsticio de invierno para el hemisferio norte (de verano para el sur), 21 de diciembre. En el invierno, el hemisferio norte se inclina, apartándose del Sol. Entonces, el hemisferio norte recibe menos luz que el sur, siendo su periodo mínimo de iluminación; por consiguiente, las noches en el hemisferio norte son más largas que los días. En el hemisferio sur la situación se invierte.

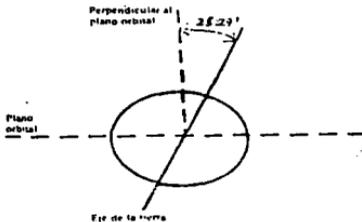


Fig. 8: Inclínación del eje de la tierra

Equinoccios de primavera y otoño, 21 de marzo/21 de septiembre. Ocurren cuando los rayos solares son perpendiculares en áreas a lo largo del ecuador y el Sol pasa por el cenit. En todos lugares de la Tierra, los días y las noches tienen la misma duración (fig 9).



Fig. 9: Incidencia de los rayos solares en las distintas estaciones.

2.3 LUZ NATURAL

Para aprovechar los beneficios de la luz natural, los siguientes factores de diseño deberán ser tomados en consideración:

- 1.- Variaciones en la cantidad de luz y dirección de la luz natural incide.
- 2.- Luminancia y distribución de luminancia del cielo despejado, parcialmente nublado y nublado.
- 3.- Variaciones en la intensidad y dirección de luz solar.
- 4.- Efecto del terreno local, paisajes y edificios cercanos a la luz disponible.

2.4 ORIGEN DE LA LUZ NATURAL Y SU DISTRIBUCION

Los movimientos diario y estacional con respecto a la posición de una construcción en particular, producen un patrón regular y predecible de la variación gradual en la cantidad y dirección de luz disponible. Suponiendo también ésta como un patrón variable ocasionada, en menor medida, por los cambios regulares en el tiempo, particularmente el grado de nubosidad.

2.5 EL SOL COMO UNA FUENTE DE LUZ

El Sol es una abundante fuente de energía radiante; sin embargo, sólo la mitad de ésta energía alcanza la superficie terrestre como luz solar o radiación visible. La otra mitad de energía solar radiante contiene componentes de longitud de onda invisibles (ultravioleta) y componentes invisibles de onda larga (infrarroja). Cuando absorbe, virtualmente toda la energía radiante del Sol es convertido a calor. Por lo tanto, la energía solar, luz solar y calor solar, son sólo diferentes nombres de energía solar radiante. La cantidad de energía visible útil en el espectro solar varía dependiendo de la atmósfera que atraviesa. Esto depende de la elevación del Sol por encima del horizonte y de las condiciones atmosféricas variables, tales como humedad y polvo.

La rotación de la Tierra sobre su propio eje, lo mismo que su rotación alrededor del Sol, produce un movimiento continuo aparente del Sol con respecto a cualquier punto de referencia sobre la superficie terrestre. La posición del Sol con respecto a tal punto de referencia en cualquier instante, es usualmente expresada en términos de dos ángulos: la altitud solar, que es el ángulo vertical del Sol sobre el horizonte, el acimut solar, que es usualmente tomado como el ángulo horizontal del Sol desde la línea sur (fig.10 y 11).

La luminancia producida por el Sol sobre una superficie exterior es, influenciada por el ángulo de altitud del Sol, la cantidad de neblina y polvo de la atmósfera y el ángulo de incidencia entre la luz solar y la superficie en que la luz cae.

La cantidad de luz recibida desde un cielo nublado incidiendo en las ventanas de un edificio depende del modelo de nubes del cielo; este modelo de nubes define la distribución del flujo luminoso. La distribución de luminancia y flujo luminoso varía con la localización geográfica, hora, densidad y uniformidad de nublado. Los cielos "uniformemente" nublados son 2.5 a 3 veces más claros en el cenit que en el horizonte. Sin embargo para propósitos de diseño, un sólo valor representando equivalente de la luminancia del cielo puede ser usado.

País, Ciudad	Latitud		Longitud	
	grados	radianes	grados	radianes
Canada				
Otawa, ON	45	0.79	76	1.33
Montrea, IPQ	46	0.80	74	1.29
Toronto, ON	44	0.77	79	1.38
Vancouver, BC	49	0.85	123	2.15
Winnipeg, MB	50	0.87	97	1.69
México				
México, D.F.	19	0.33	99	1.73
Estados Unidos				
Anchorage, AK	61	1.06	150	2.62
Big Rapids, MI	44	0.77	85	1.48
Boulder, CO	40	0.70	105	1.83
Chicago, IL	42	0.73	88	1.54
Cleveland, OH	41	0.72	82	1.43
Dallas, TX	33	0.58	97	1.69
Los Angeles, CA	34	0.59	118	2.06
Miami, FL	26	0.45	80	1.40
New York, NY	41	0.72	74	1.29
Philadelphia, PA	40	0.70	75	1.31
Seattle, WA	48	0.84	122	2.13
Washington, DC	39	0.68	77	1.34

Fig. 10 Muestra la latitud y longitud de algunas ciudades de Norte América.

Latitud	fecha	Tiempo solar							
		AM	6	7	8	9	10	11	12
		PM	6	5	4	3	2	1	12
30° N									
Altitud	21 junio		12	24	37	50	63	75	83
	21 mar/sep		-	13	26	38	49	57	60
	21 dic		-	-	12	21	29	35	37
Acimut	21 junio		111	104	99	92	84	67	0
	21 marzo/sep		-	83	74	64	49	28	0
	21 dic		-	-	54	44	32	17	0
34° N									
Altitud	21 junio		13	25	37	50	62	74	79
	21 mar/sep		-	12	25	36	46	53	56
	21 dic		-	-	9	18	26	31	33
Acimut	21 junio		110	103	95	90	78	58	0
	21 mar/sep		-	82	72	61	46	26	0
	21 dic		-	-	54	43	30	16	0

Latitud	fecha	Tiempo solar							
		AM PM	6	7	8	9	10	11	12
			6	5	4	3	2	1	12
38° N									
Altitud	21 junio		14	16	37	49	61	71	75
	21 mar/sep		-	12	23	34	43	50	52
	21 dic		-	-	7	16	23	27	28
Acimut	21 junio		109	101	90	83	70	46	0
	21 mar/sep		-	81	71	58	43	24	0
	21 dic		-	-	54	43	30	16	0
42° N									
Altitud	21 junio		16	26	38	49	60	69	71
	21 mar/sep		-	11	22	32	40	46	48
	21 dic		-	-	4	13	19	23	25
Acimut	21 junio		108	99	89	78	63	39	0
	21 mar/sep		-	80	69	56	41	22	0
	21 dic		-	-	53	42	29	15	0
46° N									
Altitud	21 junio		17	27	37	48	57	65	67
	21 mar/sep		-	10	20	30	37	42	44
	21 dic		-	-	2	10	15	20	21
Acimut	21 junio		107	97	88	74	58	34	0
	21 mar/ sep		-	79	67	54	39	21	0
	21 dic		-	-	52	41	28	14	0
50° N									
Altitud	21 junio		17	27	37	47	56	63	65
	21 mar/sep		-	10	20	29	36	40	42
	21 dic		-	-	1	8	14	17	19
Acimut	21 junio		106	95	85	72	55	31	0
	21 mar/sep		-	79	67	53	38	20	0
	21 dic		-	-	52	41	28	14	0

Fig. 11 Cuadro que muestra la altitud y acimut solar para diferentes latitudes.

En días claros, la iluminancia del cielo varía con la posición del Sol. Excepto muy cerca del horizonte, un cielo despejado es normalmente tan brillante en cualquier otra posición como el cenit. Para propósitos de diseño, el concepto de iluminancia equivalente del cielo puede ser usado para cielos despejados. En cálculos de luz natural para días despejados, solo se incluye la luz del cielo para exposiciones sin-Sol, mientras la luz de ambos, Sol y cielo, es incluida en cálculos para exposiciones de Sol.

2.6 LA TIERRA COMO UNA FUENTE DE LUZ

La luz reflejada desde el suelo o desde otras superficies exteriores es importante en el diseño de iluminación natural. En elevaciones expuestas al Sol, la luz reflejada desde el terreno puede representar de 10 a 15% al total de la luz natural que llega a una ventana. Frecuentemente se excede estas proporciones con luz de color, suelos arenosos, luz reflejada de la vegetación o suelos cubiertos de nieve. En exposiciones sin Sol, la luz reflejada desde el suelo que alcanza una ventana, debe considerarse más de la mitad del total

La dirección desde la cual la luz reflejada del suelo es recibida en un ventanaje es tal que puede ser utilizada más eficazmente en el interior de la habitación, particularmente en los puntos más distantes a la ventana.

2.7 DISPONIBILIDAD DE LUZ NATURAL

La disponibilidad de luz natural es la cantidad de luz que se puede disponer del Sol y del cielo en un lugar específico, hora, fecha y condición del cielo. Las medidas de iluminación natural por diversos investigadores en numerosas partes del mundo en más de 60 años tienen como resultado similares tendencias en las curvas promedio. La luz natural disponible es determinada del conjunto de estadística en las tendencias de las curvas promedio.

El uso frecuente de las curvas o tablas utilizadas para expresar la disponibilidad de luz natural, más que representar varios valores instantáneos, representa, más bien, valores promedio.

2.8 LA DISPONIBILIDAD COMO UNA FUNCIÓN DE LA POSICIÓN SOLAR

La figura 12 muestra la disponibilidad de luz natural como una función de la altitud y acimut solar con respecto al meridiano solar. La figura 12 proporciona la disponibilidad de luz solar directa para cielos despejados y parcialmente nublados respectivamente. No hay gráfica de la luz solar directa para un cielo nublado, asumiéndose que el Sol es oscurecido en este caso.

Las figuras 13 a 15 proporcionan las iluminancias sobre superficies horizontales.

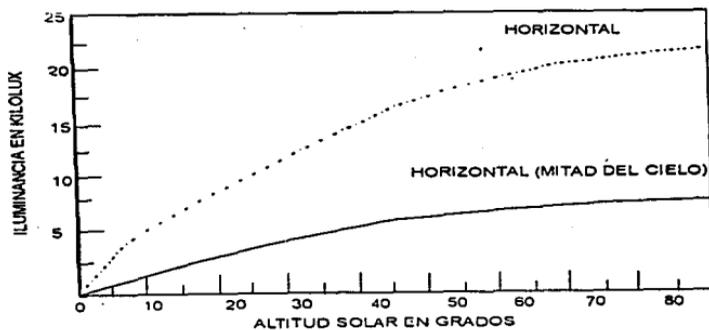


fig. 12 Iluminancia en superficies horizontales con condiciones de cielo despejado y en función de la altitud solar y el acimut.

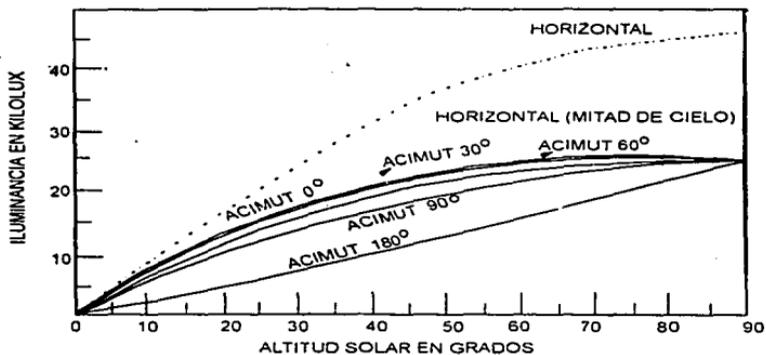


Figura 13 Iluminancia en superficies horizontales bajo condiciones de cielo semi nublado en función de la altitud solar y el acimut

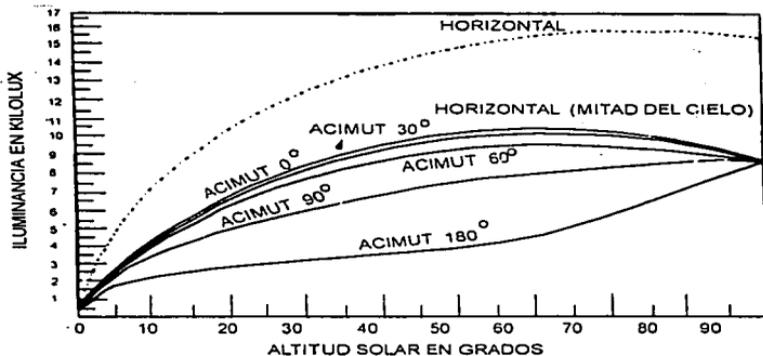


Figura 14 Iluminancia en superficies horizontales con condiciones de cielo despejado y en función de la altitud solar y el acimut

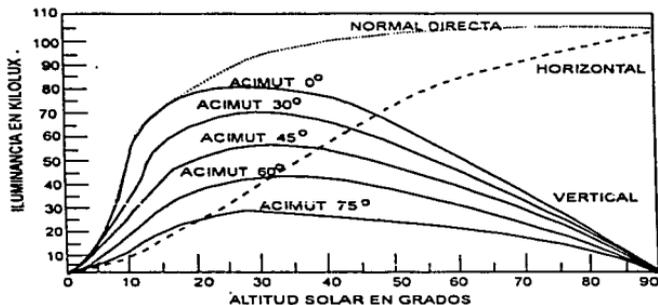


Figura 15 Iluminancia del sol bajo condiciones de cielo despejado en función de la altitud solar y el acimut

Figura 15: Iluminancia del sol bajo condiciones de cielo despejado en función de la altitud solar y el acimut.

2.9 LA DISPONIBILIDAD COMO UNA FUNCION DEL SITIO DE LOCALIZACION Y ORIENTACION.

Aunque las figuras 12 a 15 proveen un método general para determinar la disponibilidad de la luz natural, es posible eliminar los pasos intermedios del cálculo de la altitud y acimut solar si el sitio de localización, orientación, hora, fecha y condición del cielo son predeterminados.

La figura 16 suministra directamente la disponibilidad de la luz natural para muchas situaciones comunes. Las iluminancias horizontales exteriores en días despejados, parcialmente nublados y nublados - pueden ser determinados de la tabla 16.

latitud (grados norte)	componente	Diciembre 21			Mar/Sep 21			Junio 21		
		8 AM	10 AM	12 AM	8 AM	10 AM	12 AM	8 AM	10 AM	12 AM
30	directa	4	2	12	4	2	12	4	2	12
	difusa	9	42	55	34	72	87	52	86	99
	total	8	12	13	11	14	15	13	15	16
34	directa	17	54	68	45	86	102	65	101	115
	difusa	5	35	48	32	68	82	52	86	98
	total	7	11	12	11	14	15	13	15	16
38	directa	12	46	60	43	82	97	65	101	114
	difusa	3	29	41	29	64	77	55	84	96
	total	6	10	12	11	14	15	13	15	16
42	directa	9	39	53	40	79	92	66	99	112
	difusa	1	22	33	27	59	71	53	83	94
	total	5	10	11	10	13	14	13	15	16
46	directa	6	32	44	37	72	85	66	98	110
	difusa	0	16	25	24	54	65	53	80	91
	total	4	9	10	10	13	14	13	15	16
50	directa	4	25	35	34	67	79	66	95	107
	difusa	0	10	18	21	49	59	52	78	87
	total	0	8	9	10	12	13	13	15	15
		0	18	27	31	61	72	65	93	102
		DIA DESPEJADO								
30	directo	0	13	20	9	33	44	19	44	55
	difusa	9	22	27	20	34	39	27	44	45
	total	9	35	47	29	67	83	46	84	100
34	directa	0	9	16	8	30	40	20	44	54
	difusa	4	15	19	17	29	34	28	39	43
	total	4	19	27	23	53	66	48	81	93
46	directa	0	2	5	4	20	28	20	40	48
	difusa	2	12	16	16	27	32	28	38	42
	total	2	14	21	20	47	60	48	78	90
50	directa	0	1	2	3	17	24	19	38	45
	difusa	0	10	13	15	25	29	27	37	41
	total	0	11	15	18	42	53	46	75	86
		DIA PARCIALMENTE NUBLADO								
30	directa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	difusa	4	11	13	9	16	18	13	19	21
	total	4	11	13	9	16	18	13	19	21
34	directa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	difusa	4	9	12	9	15	18	13	19	21
	total	4	9	12	9	15	18	13	19	21
38	directa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	difusa	3	8	10	9	15	17	13	19	21

	total	3	8	10	9	15	17	13	19	21
42	directa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	difusa	2	7	9	8	14	16	13	18	20
	total	2	7	9	8	14	16	13	18	20
46	directa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	difusa	1	6	8	8	13	15	13	18	20
	total	1	6	8	8	13	15	13	18	20
50	directa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	difusa	0	5	6	7	12	14	13	17	19
	total	0	5	6	7	12	14	13	17	19

Fig. 16: Muestra la iluminancia horizontal exterior en kilolúxes.

ILUMINACION Y CONSTRUCCION

3.1 DISEÑO DE ILUMINACION EN LAS CONSTRUCCIONES

UNILATERAL. Este diseño se presta para un ventanaje continuo con paneles en la construcción. Las ventanas son usualmente colocadas cerca de la línea del techo. Para una buena distribución de luz natural, la distancia de la pared interior a la pared exterior tiene que ser limitada a 2 o 2.5 veces la altura de la ventana, midiendo desde el piso a la terminación superior de la ventana. La iluminancia extrema en la ventana debida al Sol o cielo, tiene que ser reducida sombreando o usando vidrio oscuro. (fig. 17)

BILATERAL. El diseño bilateral de iluminación permite el doble de ancho de una habitación. El segundo conjunto de ventanas frecuentemente ocupan sólo la parte alta de la pared. Un techo reflectante debajo de las ventanas secundarias, actúa como luz de suelo y contribuye materialmente a la entrada de luz en la habitación. Por lo menos una parte de la superficie de las ventanas expuestas al Sol necesita control de brillo. Inclinando los techos, a veces empleados con este diseño, generalmente tiene poco efecto sobre la cantidad o distribución de iluminación. Materiales de alta reflectancia son usados en el techo para contribuir a la utilización de la luz que entra al área (fig. 18).

TECHO MONITOR. Este sistema de ventanaje es más frecuentemente utilizado en diseños industriales donde la nave central es alta y está entre dos naves bajas. Los controles de brillo pueden ser necesarios. (fig. 19)

UN SOLO DIENTE DE SIERRA. El ventanaje adicional sobre el techo, en la misma dirección de frente a la ventana principal, ayuda a superar las limitaciones del ancho de la habitación en el diseño unilateral. El control de brillo no es problema importante como en los diseños bilaterales. (fig. 20)

DIENTE DE SIERRA. En techo bajo a área larga en construcciones industriales. Las ventanas son usualmente orientadas hacia el norte en latitudes al norte; controles de brillo no son requeridos. Inclinando las ventanas se incrementa la admisión de luz natural, pero puede incrementarse la recolección de suciedad sobre los cristales, además de incrementar el esfuerzo térmico en los cristales oscuros cuando se usen éstos. (fig. 21)

DOMOS. Son paneles con Sol integral y control de brillo, de fibra de vidrio reforzados con plástico y persianas de tablillas para el control de calor y brillo. Además proporcionan una efectiva distribución de luz. (fig. 22)

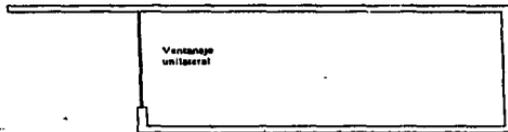


Figura 17: Diseño de iluminación unilateral

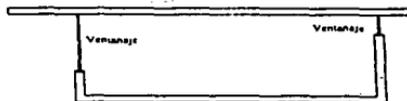


Figura 18: Diseño bilateral de iluminación

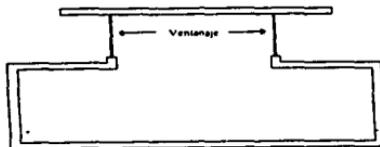


Figura 19: Diseño de iluminación tipo techo monitor

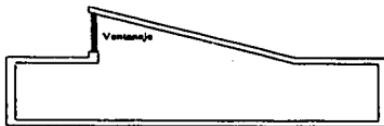


Figura 20: Diseño de iluminación con un sólo diente de sierra

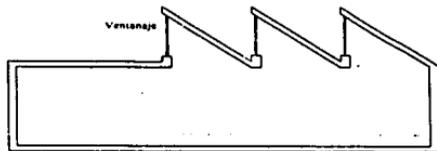


Figura 21: Iluminancia con diseños de sierra



Figura 22: Diseño de iluminación con domos

TRAGALUCES EN TECHOS DE DOS AGUAS.-Este tipo de techo luminoso necesita pequeñas áreas iluminadas ~~adaptadas~~ con pequeñas láminas ~~transparencias~~ o acrílicas. La pérdida de calor en invierno es compensada a través de este diseño; en días calurosos puede incrementar la temperatura interior del local, aunque con una altura adecuada esto es mínimo. El inconveniente que puede tener este diseño, es la acumulación de suciedad de los elementos ópticos debido a su posición, disminuyendo la transmisión de luz. (fig. 23)

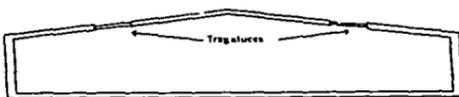


Figura 23: Iluminación con tragaluces en techos de dos aguas.

3.2 ORIENTACION DE LA VENTANA

En latitudes al norte, las ventanas orientadas al sur son usualmente preferidas. Esta orientación no sólo ofrece altos niveles de luz natural, particularmente en los meses de invierno, permite el uso de calor solar como una ayuda al calentamiento de la habitación.

3.3. MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONTROL

Los diversos materiales y elementos de control usados en iluminación natural - son seleccionados por su habilidad para transmitir, absorber, reflejar, difundir o refractar la luz. (fig. 24)

3.4 MATERIALES DE BAJA TRANSMITANCIA

Los vidrios y plásticos de baja transmitancia ofrecen una medida de control de brillo la cual se incrementa cuando su transmitancia es disminuida. La reducción del calor solar radiante acompañada de una reducción de luz visible. Durante las horas de luz de día con tales materiales, la visión dentro de la habitación es reducida, mientras la visión al exterior desde la habitación no es totalmente afectada. En la noche la visión dentro del local es clara mientras la visión desde la habitación al exterior es reducida.

MATERIAL	REFLECTANCIA (%)
Sulfato de cobre, arenisca	18
ladrillo	
amarillo claro	48
amarillo oscuro	40
rojo oscuro brillante	30
Cemento	27
Concreto	40
Mármol blanco	45
Pintura blanca	
reciente	75
vieja	55
Vidrio	
claro	07
reflectivo	20-30
oscuro	07
Asfalto (libre de polvo)	07
Tierra húmeda cultivada	07
Pavimento de granulita	17
Hierba verde oscuro	06
Grava	13
Macadán	18
Pizarra	08
Nieve	
reciente	74
vieja	64
Vegetación media	25

Fig. 24 Cuadro que presenta las reflectancias de construcción y superficies exteriores.

3.5 MATERIALES DE ALTA REFLECTANCIA (TRANSPARENTES).

Estos incluyen hojas de vidrio, revestimiento púldo y vidrio moldeado liso, - también materiales plásticos rígidos y paneles moldeados, los cuales transmiten luz sin cambios apreciables en dirección o color y permiten la visión en - cualquier dirección. Algunas de estas unidades de materiales son dispuestas en - doble vidrioado selladas por lo cual reducen el flujo de conducción de calor.

3.6 MATERIALES DE ALTA REFLECTANCIA, BAJA TRANSMITANCIA (REFLECTANTES).

Vidrios y plásticos reflectantes también ofrecen una medida de control de brillo, el cual se incrementa si su reflectancia es aumentada. Estos materiales actúan como espejos de una dirección, influyendo sobre las proporciones de - los niveles de luz del interior al exterior. También pueden reflejar más calor, mientras transmiten más luz que los materiales no reflectantes de baja transmitancia.

3.7 MATERIALES DIFUSORES

Incluyen vidrios traslúcidos, superficies revestidas, vidrio estampado, acrílicos y blocks de vidrio difusores. La transmitancia es direccionalmente no selectiva. La cantidad de difusión varía sobre un amplio rango dependiendo del material y superficie. El brillo de estos materiales altamente difusores es aproximadamente constante desde todos los ángulos de visión.

3.8 MATERIALES TRANSMISORES DIRECCIONALES.

Incluyen superficies prismáticas de vidrio y plásticos para obtener el control direccional de luz y brillo deseados. Son usados en cualquier panel horizontal o vertical.

3.9 MATERIALES TRANSMISORES ESPECULARES SELECTIVOS.

Estos incluyen varios materiales absorbentes de calor y reflectantes, los cuales son diseñados para introducir luz visible, pero absorben o reflejan una porción de calor. El calor absorbido es entonces irradiado en proporciones - aproximadamente iguales dentro y fuera del edificio. Los vidrios tintados están bajo esta clasificación ya que son selectivos en la porción visible del espectro. Sin embargo su uso es más estético.

3.10 MARQUESINAS

Estas protegen la ventana contra la luz directa del Sol y reducen la luminancia de la parte superior de la ventana, sacrificando la cantidad de luz que inside en esa parte de la ventana. Aleros de un ancho práctico no proporcionan completamente sombra en todo momento. Pueden ser diseñados para sombrear la ventana en verano y dejar pasar el calor solar durante el invierno.

3.11 ELEMENTOS VERTICALES

Los elementos verticales opacos son efectivos en paredes orientadas al este y oeste como controles de Sol. Texturas mate y apropiadas reflectancias deberán ser usadas.

3.12 PANTALLAS Y CORTINAS

Incluyen viséras y cortinas opacas o difusoras sirven para no admitir o moderar la luz y energía solar.

3.13 PERSIANAS

Estas son ampliamente usadas como elementos protectores en diseños de iluminación natural. Las tablillas pueden ser fijas o ajustables, horizontales o verticales. Impiden la entrada de luz solar directa y reducen el calor solar radiante, mientras reflejan una alta proporción de luz proveniente del Sol, - cielo y suelo.

3.14 TIPOS DE CONSTRUCCIONES

Los vanos, la posición de ventanas y las entradas de los edificios:

- 1.- Suministran la admisión, control y distribución de la luz natural.
- 2.- Proporcionan un enfoque distante para los ojos que reflejan los musculos oculares.
- 3.- Eliminan el descontento que mucha gente experimenta en áreas completamente cerradas.
- 4.- Pueden suministrar salidas o entradas para emergencias, y
- 5.- Pueden ser usadas para ventilación o conservación de energía.

3.15 OFICINAS E INSTALACIONES EDUCATIVAS

En oficinas e instalaciones educativas, la visión crítica se mide sobre prolongados periodos de tiempo desde posiciones fijas implicando inspección frecuente del ventanaje. En salones de clase, para satisfacer las sesiones docentes es necesario suministrar una luminancia confortable en el ventanaje para cualquier orientación de los ocupantes a lo largo de los 360 grados.

Cuando sean usados paneles direccionales de luz, deben estar aproximadamente 1.8 m (6 pies) por encima del piso. Conjuntamente con el panel direccional de luz, una banda de visión tiene que ser incorporada abajo. La disposición debe ser hecha para el control de brillo en esta área de visión, usando cortinas, perianas u otros dispositivos de protección contra la luz solar. Otros diseños proporcionan a nivel del ojo en la ventana un área de vidrio de baja transmitancia para la visión exterior y arriba una área de vidrio claro de alta transmitancia para admitir la luz terrestre. El brillo del cielo a través de la área alta puede ser atenuado por persianas o por aleros.

3.16 CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES

La discusión detallada de calidad y cantidad de iluminación para la amplia variedad de tareas visuales que se realizan en la industria pueden consultarse en tablas ya establecidas. Una variedad de tratamientos de ventanajes para edificios industriales y dispositivos de control de brillo son utilizados.

(fig. 25)

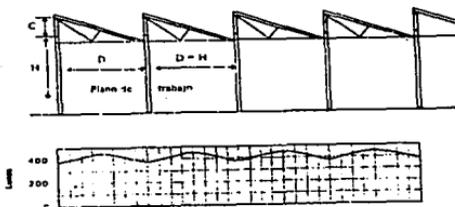


Fig. 25: Distribución de iluminación desde ventanas en techo de sierra, proporcionada sin reflexión, cristal limpio, 3430 candelas/m², luminancia de cielo uniformes, espaciamiento igual que la altura de montaje $D=H=6.1m$ $C=1.65m$.

3.17 MANTENIMIENTO

Si las rutinas planeadas del sistema de iluminación natural son permanentemente realizadas, el mantenimiento será requerido. Esto involucra un programa periódico de limpieza para satisfacer las demandas y criterios del lugar interior. (fig. 26)

Condición del lugar	factor de pérdida de luz a la posición de los cristales.		
	vertical	inclinada	horizontal
Áreas limpias	0.9	0.8	0.7
Áreas industriales	0.8	0.7	0.6
Áreas muy sucias	0.7	0.6	0.5

Fig. 26 Cuadro que muestra los factores típicos de pérdidas de luz para diseños de luz natural.

3.18 METODO DE LUMEN PARA ILUMINACION ARTIFICIAL.

Este es el nivel esperado de iluminación sobre un plano horizontal a partir de una combinación específica de lámpara-luminaria. Se basa en la premisa de que cada área recibe un determinado flujo o cantidad de luz. En este caso el flujo lumínico se expresa en lúmenes.

La fórmula para calcular los niveles esperados de luz por el método del lúmen es:

$$E = \frac{N \times LL \times C.U. \times F.M.}{\text{AREA}}$$

donde:

E= iluminación

N= número de luminarios

LL= lúmenes de lámparas iniciales

C.U= coeficiente de utilización

F.M= factor de pérdida de luz (de mantenimiento)

AREA= tamaño del área que debe ser iluminada

Niveles de iluminación (E). Los niveles de iluminación recomendados pueden obtenerse de tablas.

Número de luminarios (N). Es la cantidad de luminarios que operan en el local.

Lúmenes de lámpara (LL). Esta es la potencia luminosa inicial de las lámparas. Este valor lo proporcionan los fabricantes.

Coefficiente de utilización (C.U.). Es la relación de lúmenes que llegan al plano de trabajo entre los lúmenes generados por la lámpara. El C.U toma en cuenta las interreflecciones de la luz en el local. La eficiencia y la distribución de la luminaria, la altura de montaje y las proporciones del lugar.

Factor de pérdida de luz (F.M.). Los factores de pérdida de la luz son aquellos que al cabo de un tiempo, contribuyen a disminuir la producción de luz de una combinación dada de lámpara-luminaria-balaustrada.

El factor de pérdida de luz generalmente esta constituido por:

L.L.D.= (lúmen lámpara depreciación). Depreciación de lúmenes de la lámpara. Es un valor proporcionado por el fabricante que compensa las pérdidas de lúmenes de salida de la lámpara conforme ésta envejece.

L.D.D.= Depreciación por suciedad en el luminario. Este valor expresa las pérdidas de luz debidas a la acumulación de polvo en las lámparas y los luminarios; de-

pende del diseño del luminario y las condiciones ambientales; se determina mediante gráficas.

Para obtener el factor de mantenimiento (F.M) se multiplican los anteriores, es decir:

$$F.M. = L.L.D \times L.D.D.$$

El método divide el local en 3 cavidades que son:

1.- Altura de cavidad de techo (hcc). Es el espacio desde el plano del luminario al techo. Para luminarios colgantes existirá una cavidad de techo; para luminarios colocados directamente en el techo o empotrados no existirá cavidad de techo.

2.- Altura de cavidad del local (hrc). 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 de piso. En algunos casos donde el plano de trabajo es considerado a nivel de piso, el espacio desde el luminario al piso se considera como cavidad de local. 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.- Altura de cavidad de piso (hfc). Se considera desde el piso hasta la parte superior del plano de trabajo. Para áreas de oficinas esta distancia es aproximadamente 76 cm. Para bancos de trabajo en industrias deberán considerarse 92 cm aproximadamente.

3.19 TEORIA DEL METODO DE CAVIDAD ZONAL

La teoría básica considerada en este método de cálculo de iluminación establece que la luz producida por una lámpara o luminario es reflejada por todas las superficies del área. Debido a este hecho es muy importante determinar:

- a) Las dimensiones del local
- b) Las reflectancias del local referente a:
 - 1.- techo
 - 2.- paredes
 - 3.- piso
- c) Características de la lámpara
- d) Características del luminario
- e) Efectos ambientales
 - 1.- Polvo
 - 2.- Suciedad
 - 3.- Temperatura
- f) Mantenimiento planeado del sistema de iluminación.

El método de cálculo está basado en la definición de la unidad de iluminación, el lux:

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ m}^2}$$

Tomando en cuenta estos factores la ecuación se modifica de la siguiente forma:

$$\text{luxes} = \frac{\text{No.de luminarios} \times \text{lámparas} \times \text{lámparas/luminarios} \times \text{lúmenes/lámpara}}{\text{C.U} \times \text{f.m}} \times \frac{1}{\text{AREA}}$$

donde:

C.U= coeficiente de utilización
 m.f= factor de mantenimiento= L.L.D. x L.D.D.
 L.L.D= Depreciación de lúmenes de la lámpara.
 L.D.D= Depreciación por suciedad en el luminario.

Las fórmulas para el cálculo de las relaciones de cavidad son:

$$\text{Relación de cavidad del local (RCR)} = \frac{5 \text{ hrc } (L + W)}{L \times W}$$

$$\text{Relación de cavidad de techo (CCR)} = \frac{5 \text{ hcc } (L + W)}{L \times W}$$

$$\text{Relación de cavidad de piso (FCR)} = \frac{5 \text{ hfc } (L + W)}{L \times W}$$

donde:

hcr= altura de la cavidad del local

hcc= altura de la cavidad de techo

hfc= altura de cavidad de piso

L= largo

W= ancho

La fórmula de cavidad zonal es la siguiente:

$$\text{No. de luminarios} = \frac{\text{área} \times \text{luxes}}{\text{No. de lámparas/luminario} \times \text{lúmenes/lámpara} \times \text{c.u} \times \text{f.m.}}$$

La localización de los luminarios se determinará de acuerdo con las limitaciones físicas del espacio en el local.

Normalmente la máxima relación S/M.H. (S es la separación recomendable entre luminarios y M.H. es la altura del montaje) no debe ser mayor a 1.5 o sea que el espaciamiento entre luminarios no debe ser mayor que 1.5 veces la altura del montaje. depende del tipo de curva.

3.20 INSTRUMENTOS. Las mediciones de luminancia pueden ser tomadas por medio de una comparación visual o por un instrumento fotoeléctrico de color corregido. Las lecturas de iluminancia pueden ser tomadas con un aparato de color y coseno corregido o con un medidor de iluminancia y una placa de prueba de reflectancia conocida. Las reflectancias pueden ser obtenidas con un medidor de luminancia y una placa de prueba ó también por la comparación de placas tipo de colores.

3.21 CALCULOS EN ILUMINACION NATURAL

A) **ILUMINANCIA.** Los procedimientos del cálculo de iluminación comprenden:

1.- Determinación de la iluminancia de la luz natural (luz del Sol, cielo y suelo).

2.- El flujo de luz que actualmente entra en el espacio iluminado.

3.- La iluminancia producida sobre las superficies de interés.

B) **ILUMINANCIAS EXTERIORES.**

Ventanas horizontales. Por varios días al año y varias horas al día, la iluminancia solar directa y de cielo difuso sobre el plano horizontal puede ser encontrada en la fig. 16 para un día despejado, parcialmente nublado y nublado.

Ventanaje vertical. Para un ventanaje vertical que este orientado en uno de los 4 puntos cardinales, y para varios días del año y varias horas al día, la iluminación solar directa y de cielo difuso sobre el plano vertical puede ser

C) ILUMINANCIA DE INTERIORES.

Las iluminancias interiores desde ventanas o tragaluces generalmente son calculados por uno de los 2 métodos siguientes: método del lumen para iluminación de techos (tragaluces) y método de lumen para iluminación lateral (ventanas).

Método del lumen para iluminación por techos.- Para los sistemas de iluminación natural empleando elementos horizontales (tragaluces) a nivel de techo o ligeramente arriba, un procedimiento muy similar al método de cavidad zonal diseñado para iluminación eléctrica interior, puede ser usado para calcular el promedio de iluminación horizontal sobre un plano de trabajo. La fórmula básica es..

$$E_t = E_h \times \frac{A_t}{A_w} \times K_u \times K_m$$

Donde:

E_t = iluminancia promedio sobre el plano.

E_h = iluminancia horizontal en el exterior de los tragaluces.

A_t = Area total de los tragaluces.

A_w = Area del plano de trabajo.

K_u = coeficiente de utilización.

K_m = factor de pérdida de luz.

El procedimiento de cálculo puede ser dividido en 4 pasos..

- 1.- Determinación de la iluminancia horizontal en los exteriores de los tragaluces.
- 2.- Determinación de las transmitancias totales, directa y difusa de los tragaluces.
- 3.- Determinar el coeficiente de utilización y el factor de pérdida de luz.
- 4.- Determinar:
 - A) El promedio de iluminación horizontal sobre el plano de trabajo (si el número y tamaño de los elementos de iluminación natural son especificados), o
 - B) El número y tamaño de los elementos de iluminación natural (si el promedio de la iluminancia horizontal es especificada).

Hay dos transmitancias a considerar cuando se trata con tragaluces. Una es la transmitancia directa (TD), la cual es usada siempre que la luz solar directa incide sobre el tragaluz y que varía con el ángulo de incidencia de la radiación solar, disminuyendo rápidamente para las láminas planas en valores altos de este ángulo. La segunda es la transmitancia difusa (Td), que es usada con la iluminancia de cielo y la cual no varía con el ángulo de incidencia. Generalmente, los fabricantes proporcionan la información de transmitancia para las láminas planas de vidrio o plástico de un sólo valor de Td y una curva mostrando la variación de TD con el ángulo.

La mayoría de los tragaluces son domos y esto afecta a la transmitancia de tres maneras. Primero el diseño de los domos reduce significativamente el grosor de las láminas en el centro de este. Segundo, el ángulo de incidencia de la luz solar varía sobre la superficie del domo. Tercero, como consecuencia de que el domo se extiende por encima de la línea del techo tiene una mayor superficie de recolección de luz que una lámina plana. El primero de estos factores puede ser incluido modificando la transmitancia de la lámina plana a:

$$TDM = 1.25 \text{ TFS } (1.18 - 0.416 \text{ TFS })$$

donde TDM es la transmitancia del domo y TFS es la transmitancia de la lámina plana.

Esta ecuación no cambia la transmitancia de una lámina transparente (TFS= 92%), - pero aumenta la transmitancia de una lámina traslúcida (TFS= 44%) a aproximadamente el 25%, de acuerdo con lo que actualmente sucede en la práctica. El segundo y tercer factor pueden ser considerados juntos notando que el diseño del domo es la causa de que TD llegue a ser constante dentro del 10% para todos los ángulos de incidencia menores a 70 grados (ángulos solares mayores de 20 grados). Así, para la mayoría de las aplicaciones de domos, un sólo número para TD, igual a su valor a un ángulo de incidencia de 0 grados, puede ser usado.

Los coeficientes de utilización de cuarto (RCU), indican la fracción del flujo luminoso entrante en una habitación y que alcanza el plano de trabajo, éstos son proporcionados en la figura 27. Están basados sobre una proporción de espaciamiento a altura de montaje de 1.5 y un 20% de reflectancia de piso. Para otros - valores de reflectancia de piso, los valores de multiplicación pueden ser obtenidos de otra figura (no proporcionada).

Las relaciones de cavidad de cuarto (RCR) en la figura anterior son obtenidas de la ecuación:

$$RCR = \frac{5hc \text{ (longitud del cuarto + ancho del cuarto)}}{\text{longitud del cuarto} \times \text{ancho del cuarto}} = \frac{5hc \text{ (L+W)}}{L \times W}$$

donde:

hc= altura del cuarto - altura del plano de trabajo.

El coeficiente de utilización (Ku) es la fracción del flujo luminoso incidente sobre el tragaluz y que alcanza el plano de trabajo. Este es obtenido de:

$$Ku = RCU \times T_n$$

El número de tragaluces será N y el área total de cada tragaluz sera A. Entonces el área total de todos los tragaluces es: At= N X A

En un día nublado el promedio de iluminancia horizontal para una fecha, hora y latitud es:

$$E_{to} = E_{ho} \times \frac{N \times A}{A_w} \times K_{ud} \times K_m$$

donde la "o" denota nublado y la "d" denota que la transmitancia difusa es usada en el cálculo del coeficiente de utilización.

Para un día con cielo despejado y Sol directo, la ecuación de la iluminancia se convierte en:

$$E_{tcs} = \left[E_{hc} \times \frac{N \times A}{A_w} \times K_{ud} \times K_m \right] + \left[E_{hs} \times \frac{N \times A}{A_w} \times K_{ud} \times K_m \right]$$

donde "cs" denota cielo despejado más Sol directo, "s" denota Sol directo, y "d" denota que la transmitancia difusa fué utilizada en el cálculo del coeficiente de utilización por la contribución del cielo despejado a la iluminancia y, la transmitancia directa fué usada en el cálculo del coeficiente de utilización por la contribución de luz solar directa.

Para un cielo parcialmente nublado y Sol directo, se usa la misma ecuación como para cielo despejado y Sol directo, con la excepción de sustituir "p" por "c". Los datos de disponibilidad de luz natural en un día parcialmente nublado para ambos componentes, cielo y Sol, pueden ser usadas.

El factor de pérdida de luz (Km) es el producto de la depreciación por suciedad del tragaluz. Puede ser obtenido de la figura 26 o, a falta de información, puede ser calculado:

$$K_m = RSDD \times SDD$$

Fig. 27. Coeficientes de utilización de cuarto (RCU) para iluminación natural (basados en 20% de reflectancia de piso).

Reflectancia de techo (%)	R/R	Reflectancia de pared		
		50%	30%	10%
80	0	1.19	1.19	1.19
	1	1.05	1.00	0.97
	2	0.93	0.86	0.81
	3	0.83	0.76	0.70
	4	0.75	0.67	0.60
	5	0.67	0.59	0.53
	6	0.62	0.53	0.47
	7	0.57	0.49	0.43
	8	0.54	0.47	0.41
	9	0.53	0.46	0.41
10	0.52	0.45	0.40	
50	0	1.11	1.11	1.11
	1	0.98	0.95	0.92
	2	0.87	0.83	0.78
	3	0.79	0.73	0.68
	4	0.71	0.64	0.59
	5	0.64	0.57	0.52
	6	0.59	0.52	0.47
	7	0.55	0.48	0.43
	8	0.52	0.46	0.41
	9	0.51	0.45	0.40
10	0.50	0.44	0.40	
20	0	1.04	1.04	1.04
	1	0.92	0.90	0.88
	2	0.83	0.79	0.76
	3	0.75	0.70	0.66
	4	0.68	0.62	0.58
	5	0.61	0.56	0.51
	6	0.57	0.51	0.46
	7	0.53	0.47	0.43
	8	0.51	0.45	0.41
	9	0.50	0.44	0.40
10	1.49	1.44	1.40	

CAPITULO 4
PRINCIPIOS DE ILUMINACION ARTIFICIAL

4.1 LA NEGLIGENCIA EN LA ILUMINACION ARTIFICIAL

Durante miles de años los hombres gobernaron, comerciaron, etc. sólo durante el día. La iluminación artificial extendió el uso de las construcciones industriales y comerciales hasta en las horas de oscuridad.

Todas las fuentes de luz artificial, anteriores al foco eléctrico, eran en realidad llamas poco luminosas. Era necesario colocarlas, no donde podían dar los mejores resultados de iluminación, sino donde su humo, calor y goteo podían causar el mínimo de molestias a los habitantes. Desgraciadamente, los proyectistas de las primeras instalaciones eléctricas tomaron por sentado - que los soportes en paredes y candiles colgantes tenían reales méritos de iluminación y esto atrasó por 50 años más la madurez arquitectónica del alumbrado artificial. Varios métodos eran típicos en la práctica de la iluminación, hasta que los arquitectos se dieron cuenta de que la iluminación podía ser un factor positivo en la función y la forma de un edificio, más bien que un elemento secundario o una idea posterior para una construcción perfectamente bien diseñada. Fué sólo durante las dos últimas décadas que estos conceptos echaron raíces.

4.2 EL PROCESO DE LA VISION

La mayor dificultad en la iluminación arquitectónica se debe a la escasez de conocimientos sobre el funcionamiento o proceso de la visión. El ojo es esencialmente un mecanismo que recoge y enfoca la luz. Los rayos luminosos que entran en el cristalino a través de la pupila caen sobre unas células fotosensibles, localizadas en el fondo de la superficie interna del globo ocular, que forma lo que se conoce como retina (fovea). Hay, en realidad, dos tipos de estas células: bastones y conos, cuyas funciones están perfectamente definidas unas de las otras. Cualquiera mal entendido en estas diferencias, lanza al proyectista hacia un alumbrado deficiente.

La mayoría de los conos están agrupados en una pequeña área cerca del centro de la retina, donde los rayos luminosos enfocados por el cristalino forman - una imagen como la de una cámara fotográfica. Su agrupamiento se hace menos denso a medida que se aumenta su distancia a la fovea. Su fina disposición en mosaico permite que se vaya formando una imagen clara y nítida, la que es transmitida por el nervio óptico al cerebro que la percibe como una idea - conciente. Los conos nos permiten leer, inspeccionar objetos cercanos, distinguir colores y hacer comparaciones visuales precisas.

La concentración de los conos disminuye a medida que se aumenta su distancia a la fovea. Esto significa que fuera de la pequeña abertura del pequeño ángulo visual dominada por los conos, la claridad y agudeza visual disminuyen rápidamente. En realidad el tamaño del campo visual en el que predomina la acción de los conos es aproximadamente del tamaño de una moneda de 5 centa-

vos a la distancia normal de lectura. El pequeño ángulo de visión, requiere el funcionamiento especial del ojo; moviéndose, deteniéndose, escudriñando, etc. sobre una página impresa lo cual exige altos niveles de iluminación para una visión rápida y precisa.

Los bastones, por otra parte, desempeñan otro papel de la visión. Están mucho menos densos que los conos y están dispersos sobre toda la superficie interna del globo ocular.

Son mucho más sensibles a la luz que los conos, pero por su tosca disposición en mosaico no producen una imagen finamente enfocada. Además, muchos bastones están conectados por nervios, no al cerebro, sino directamente a los músculos en distintas partes del cuerpo.

A los bastones corresponde toda la visión fuera del área del tamaño de una moneda de 5 centavos sobre la página. Su papel es tan importante que en algunos países una persona con una visión defectuosa de los bastones, está legalmente considerada como ciega aunque pueda leer, emplear herramientas y distinguir los colores. La mayoría de las personas ignoran la importancia de la visión de los bastones en detrimento de sus proyectos de alumbrado.

Los bastones hacen posible la visión a muy bajos niveles de iluminación. Producen reflejos automáticos musculares para la protección del cuerpo o de los propios ojos, de objetos en el aire. Determinan el sentido inconsciente de tranquilidad o intranquilidad en un ambiente iluminado.

4.3 LOS DOS MEDIOS DE ILUMINACION

Un sistema de alumbrado bien proyectado, proporciona iluminación suficiente de la propia tarea visual (dibujos, notas, etc.); para una visión sostenida adecuada (conos) y una iluminación propiamente balanceada de los alrededores para dar un sentido de comodidad, bienestar y hasta aún seguridad (bastones).

Por otro lado los arquitectos y constructores deben evitar un sistema de alumbrado que favorezca la visión con los bastones y descuide la acción de los conos. Tales condiciones pueden resultar de un techo totalmente luminoso en combinación con muros y muebles muy claros o blancos. El deseo instintivo de fijar la atención sobre los objetos brillantes dentro del campo de visión, hace que los ojos tengan dificultad para concentrarse y enfocarse sobre la tarea que esté delante de ellos. En un ambiente así, la atención vaga, los objetos pierden precisión en su forma y textura y los detalles arquitectónicos y de embellecimiento tienden a ser monótonos, sin relieve y sin rasgos distintivos.

4. 4 ASPECTOS DE VISIBILIDAD

El más grande defecto de los primeros sistemas de alumbrado artificial era su incapacidad para satisfacer las necesidades humanas de visión.

En lo que se refiere a cantidad de luz se puede afirmar que sin luz, no puede haber visión. Ninguna criatura puede ver en la total oscuridad.

Sin embargo, aún a niveles extremadamente bajos de brillantez, hay un principio de visibilidad. Por ejemplo, en una noche iluminada por la luz de las estrellas y cuando se ha tenido el tiempo necesario para la adaptación a esta oscuridad. Nuestra visión se hace más aguda a medida que se aumenta la iluminación sobre los objetos.

Este aumento en la visión se debe al incremento de la magnitud de las señales visuales sobre los conos de la retina en forma tal, que los contrastes entre luz y sombra, que hacen la imagen perceptible, llegan a ser más agudamente definidos. La visibilidad se mejora proporcionando suficiente iluminación sobre la tarea visual para permitir una percepción adecuada de los pequeños detalles.

4. 5 GENERACION DE LA LUZ

Desde el punto de vista de los arquitectos y constructores, predominan dos métodos de generación de luz eléctrica: incandescencia y descargas eléctricas.

El primer método es simplemente una fuente incandescente que produce luz por incandescencia de un alambre de tungsteno, dentro de un bulbo de vidrio.

Los principales inconvenientes de la lámpara incandescente son : vida corta y una baja incandescencia. Sin embargo, hay ventajas que las compensan y sostienen el uso de la lámpara incandescente. Estas ventajas son:

- 1.- tamaño
- 2.-Bajo costo inicial
- 3.- Insufectable por la temperatura circundante.
- 4.- No necesita accesorios de arranque o reactores.
- 5.- Color cálido, que da a los objetos un aspecto familiar.
- 6.- Flujo luminoso fácilmente controlable en una gran variedad de distribuciones luminosas.
- 7.- Opera indistintamente en corriente alterna o en continua.

De los 2 tipos de descarga eléctrica más usuales, fluorescente y vapor de mercurio, el primero ha llegado a ser el normal en la iluminación comercial institucional, y el último en la iluminación industrial y exterior. Aunque en la actualidad el vapor de mercurio ha sido substituido por el vapor de mercurio alta presión y las de aditivos metálicos.

Cuando se aplica un voltaje apropiado a las terminales de una lámpara fluorescente, los vapores gaseosos dentro del tubo emiten radiaciones ultravioleta. Estas son invisibles y nocivos rayos son convertidos en luz visible e inofensiva al pasar a través de los polvos fluorescentes en la superficie interna de los tubos.

Los principales inconvenientes de esta lámpara son su gran tamaño físico en relación con su wattaje (una lámpara de 1.22 mts. consume 40 watta), la necesidad de un reactor que le proporcione una corriente y un voltaje adecuado de operación y una gran reducción de su flujo luminoso a bajas temperaturas. Estos factores adversos están compensados por las siguientes ventajas:

- 1.- Alta eficiencia luminosa, más de 67 lúmenes por watt.
- 2.- Producción de buenos colores.
- 3.- Vida más larga, aproximadamente 12,000 horas en comparación con las 750 a 1,000 horas de las lámparas incandescentes.

El otro tipo de lámpara de descarga gaseosa es la de vapor de mercurio de alta intensidad. Esta genera la luz directamente de la luminosidad producida por el arco eléctrico. Esta lámpara tiene una emisión de luz característica azul-verde. Su calidad en el color ha sido mejorada para igualar la de las de más lámparas fluorescentes, por una acción de fluorescencia parcial por medio de polvos fluorescentes en la superficie interna del bulbo de vidrio.

Sus características la hacen una fuente ideal para gimnasios, grandes campos deportivos, instalaciones industriales y en general en todas las áreas al aire libre.

Además de necesitar un reactor, otro inconveniente de las lámparas de vapor de mercurio es que, después de aplicarle corriente, se necesitan varios minutos para obtener su máxima emisión luminosa, y si se ha apagado, es necesario un enfriamiento de 3 a 5 minutos antes de tener su total emisión nuevamente.

Estos inconvenientes son insignificantes en lugares donde las lámparas están en uso constante durante un tiempo determinado (como en fábricas o del crepúsculo hasta el amanecer en alumbrado público). Resumiendo sus ventajas son las siguientes:

- 1.- larga vida económica, más de 16,000 horas con muy baja depreciación.
- 2.- fuente luminosa concentrada que facilita un control preciso de los rayos luminosos.
- 3.- Alta eficiencia luminosa, más de 80 lúmenes por watt.
- 4.- flujo luminoso inalterable por los cambios de temperatura.
- 5.- más robusta que las lámparas incandescentes y fluorescentes, y no se ve afectada por las vibraciones o el trabajo rudo.

Además de estas fuentes convencionales de luz hay numerosos tipos especializados. Antes de emplear cualquiera de estas lámparas, el arquitecto o constructor debe comparar su economía en operación, facilidad de obtención de respuesta, facilidad de manipulación y almacenamiento, etc.

4.6 LAMPARAS NAV-ALTA PRESION

Esta lámpara y su superproducción luminosa se basa en el fenómeno de la radiación eléctrica. Todo ocurre entre dos electrodos dentro de un tubo de descarga lleno de una mezcla de gases (xenón o argón) y de substancias metálicas (basicamente sodio). En el encendido, después de aproximadamente 3 minutos y 6 en caliente, aumenta la presión en el tubo, bajo el efecto de descarga iniciado por el arrancador. Y el metal comienza a evaporarse mientras que sus átomos liberan electrones. Esta excitación de los átomos en el vapor metálico es el origen del arco eléctrico y de la luz producida. El bulbo exterior de esta lámpara es de vidrio duro y en su interior se encuentra alojado el tubo de descarga en donde se encuentran los componentes: sodio, mercurio y un gas noble (xenón o argón), de los cuales el sodio es el principal productor de luz.

La principal característica que diferencia a las lámparas de vapor de sodio baja presión con las lámparas vapor de sodio alta presión, es que aquellas proporcionan una luz netamente amarilla, lo cual distorsiona los colores, es decir, que los colores no se distinguen tal como son. Por el contrario en las lámparas de alta presión debido a esta tan intensa deja destacar en el espectro luminoso otros colores obteniéndose un espectro mas continuo de color blanco dorado. El bulbo de estas lámparas es de un vidrio duro, y el tubo de descarga donde se lleva a cabo la producción de luz es de un material compuesto de óxido de aluminio, que además de resistir temperaturas muy altas (aproximadamente de 1000°C), también resiste las reacciones químicas del sodio y posee a la vez una transmisión de luz de más del 90 %.

El mercurio evaporado reduce la conducción del calor del arco de descarga a la pared del tubo de descarga y con esto se consiguen mayores potencias en tubos de descarga de menor tamaño.

El gas Xenón es agregado para obtener un encendido seguro de la lámpara con bajas temperaturas ambiente, tanto en interiores como en exteriores.

En ambos extremos del tubo de descarga se encuentran dos tapones de corindón sinterizado que cierran herméticamente el tubo y al mismo tiempo soportan los electrodos.

- 1.- base
- 2.- tubo de arco de cerámica de óxido de aluminio
- 3.- bulbo resistente a la interperie

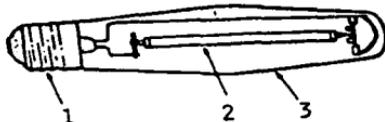


fig.

En la figura anterior podemos apreciar los componentes que constituyen a las lámparas de vapor de sodio alta presión.

Estas lámparas han constituido una nueva etapa en la iluminación por sodio, debido a su elevado rendimiento y a su tono de luz se han ampliado sus aplicaciones en el alumbrado público e industrial. Es por eso que su aplicación

se ha generalizado en una forma tan impresionante, por lo que las grandes ciudades actualmente ya se ven iluminadas con el color dorado típico del vapor de sodio, y los grandes consumidores industriales, según sus requerimientos, también están cambiando a estas fuentes de luz, que definitivamente son las más económicas, por su rendimiento y su calidad de luz. En la siguiente tabla, vemos las diferentes lámparas de vapor de sodio alta y baja presión..

watts	flujo luminoso lm	diámetro D mm	longitud L mm	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. x caja
Acabado claro							
35	2500	54	138	BD17A	E-26	16000	12
50	4000	75	189	ED-23 1/2	E-26	24000	12
70	5800	75	189	ED-23 1/2	E-40	24000	12
100	9500	75	189	ED-23 1/2	E-40	24000	12
150	16000	75	189	ED-23 1/2	E-40	24000	12
250	27500	60	243	E18-Y1C	E-40	24000	12
400	50000	60	243	E18-Y1C	E-40	24000	12

Alta presión fig. 29

watts	flujo luminoso lm	diámetro D mm	longitud L mm	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. X caja
Acabado claro							
18	1800	53	216	T54(T17)	BY22d	12000	25
35	4800	52	310	T54(T17)	BY22d	12000	25
55	8000	52	425	T54(T17)	BY22d	12000	25
90	13500	66	528	T68(T22)	BY22d	12000	12
135	22500	66	775	T68(T22)	BY22d	12000	12
180	33000	66	1120	T68(T22)	BY22d	12000	9

Baja presión fig. 30

4. 7 LAMPARAS HQL (VAPOR DE MERCURIO)

La producción de luz en estas lámparas se basa en el principio de la luminiscencia que se obtiene por la descarga eléctrica a través del mercurio gasificado, dentro de un tubo de descarga.

Estas lámparas emiten una luz blanco-azulado porque carece de radiaciones rojas y esto es debido primordialmente al mercurio que se encuentra presente dentro del tubo de descarga junto con el gas argón.

El tubo de descarga está construido de cuarzo debido a que por él circula una intensidad de corriente grande y está sometido a una fuerte presión interna. Fundidos en los extremos del tubo de arco contiene dos electrodos principales de tungsteno, que están impregnados de un material emisor de electrones y uno auxiliar de encendido, conectado a través de una resistencia ohmica de gran valor. También contiene unos miligramos de mercurio puro, exactamente graduados y el gas argón que facilitará la descarga.

La ampolla o bulbo exterior esta construida por vidrio resistente a los cambios bruscos de temperatura; éste bulbo tiene una forma elipsoidal.

Este bulbo en su parte interior esta recubierto de una sustancia fluorescente denominada vanadato de litio, que activada por las radiaciones ultravioleta del arco de mercurio, emite radiaciones rojas, corrigiendo así el color de su luz.

El espacio comprendido entre el tubo de descarga y el bulbo exterior esta ocupado por un gas neutro (nitrogeno + argón) a una presión inferior a la atmosférica, evitando así la formación de arco entre las partes metálicas en el interior del bulbo.

La siguiente tabla muestra las características de las lámparas, de vapor de mercurio

watts	flujo luminoso lm	diámetro D mm	longitud L mm	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. X caja
Acabado blanco de lujo							
100	3650	75	172	BF-75	E-40	24000	12
125	6300	75	172	BF-75	E-27	24000	12
175	8500	88	224	ED-28	E-40	24000	12
250	12260	88	224	ED-28	E-40	24000	12
400	22500	118	277	ED-37	E-40	24000	12

fig.31

En el siguiente dibujo se aprecia los componentes de las lámparas de vapor de mercurio..

- 1.- casquillo
- 2.- resistencia ohmica
- 3.- bulbo
- 4.- electrodo principal
- 5.- electrodo auxiliar
- 6.- pintura interior fluorescente
- 7.- tubo de cuarzo

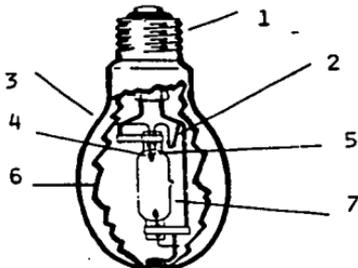
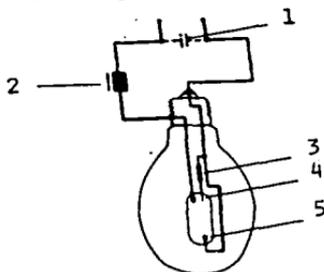


fig. 32

En la siguiente figura se observa como se conectan estas lámparas, utilizando el balastro correspondiente..



- 1.- Condensador de compensación.
- 2.- Balastro
- 3.- Resistencia de encendido
- 4.- Electrodo auxiliar de encendido.
- 5.- Electrodo principal

fig. 33

La primera ionización (descarga) del argón se produce entre el electrodo auxiliar y el principal junto a él.

El calor generado por esta descarga vaporiza al mercurio, que posteriormente actúa como conductor principal de la descarga estas lámparas para su funcionamiento, necesitan un balastro que limita la corriente eléctrica.

Al transcurrir un tiempo de 4 a 5 minutos la lámpara de vapor de mercurio alcanza sus valores máximos. Al apagarse la lámpara, no puede volver a encenderse hasta pasado un tiempo de enfriamiento, que generalmente es igual al de calentamiento, ya que en el tubo de descarga la presión del mercurio tiene que disminuir.

Estas lámparas deben conectarse a redes de alimentación a través de equipos auxiliares (balastros), ya que por tratarse de lámparas de descarga resulta indispensable el equipo auxiliar que controle tanto el voltaje como la corriente en el encendido y en la operación normal.

4.8 LAMPARAS DE VAPOR DE ADITIVOS METALICOS-HQM.

watts	flujo luminoso lm	diámetro D mm	longitud L mm	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. caja
175	14000	88	224	ED-28	E-40	7500	12
250 a,b	20500	88	224	ED-28	E-40	10000	12
400 a,b	34000	118	227	BT-37	E-40	20000	12
1000	110000	179.8	390	BT-56	E-40	12000	12

a) claro , b) fosforado

fig. 34

Son lámparas de descarga de alta presión, su construcción se basa en una ampolla de vidrio duro en la que se encuentra alojado un volumen de gas noble con compuestos metálicos de mercurio y algunos otros elementos, de donde reciben el nombre de aditivos metálicos. Son lámparas de la familia de vapor de mercurio por lo que ofrecen gran cantidad de luz con la característica de que el color se ve modificado por los nuevos compuestos adicionados, obteniéndose una buena reproducción cromática.

4.9 LAMPARAS DE LUZ MIXTA-HWL.

watts	flujo luminoso	diámetro D mm	longitud L mm.	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. x caja
Acabado: color corregido							
160	3100	75	172	BF-75	E-27	6000	12
250	5600	90	225	BF-90	E-40	6000	12
500	14000	118	277	ED-37	E-40	6000	12

fig. 35

Las lámparas de este tipo son una combinación de lámpara de vapor de mercurio a alta presión y lámpara incandescente, corrigiendo la luz azulada de las lámparas de vapor de mercurio, incluyen dentro del mismo bulbo un tubo de descarga de vapor de mercurio, y un filamento incandescente de tungsteno. Se utilizan en instalaciones de alumbrado de interiores y exteriores. En interiores para alumbrado de naves de fábricas, talleres, salas de máquinas y otros lugares de trabajo. Se emplean también en alumbrado exterior de calles, plazas, vías de comunicación, etc. Al ser conectadas directamente a la red, pueden substituir con ventaja a las lámparas incandescentes en instalaciones ya existentes.



fig. 36 Muestra a) foco para lámparas de vapor de aditivos metálicos, y b) foco para lámparas de luz mixta.
L= longitud (mm) D= diámetro (mm)

4.10 CURVAS FOTOMETRICAS DE DISTRIBUCION DE LUZ.

Antes de diseñar un buen sistema de alumbrado, debemos saber interpretar las representaciones gráficas de las intensidades, en distintas direcciones, de un luminario y de las fuentes de luz.

Para tener una gráfica completa de intensidades consideremos que la fuente luminosa está encerrada en una esfera transparente de radio R; que una celda fotoeléctrica (medidor de candelas por metro cuadrado) ha sido colocada en la superficie de la esfera y que ha sido hecha la lectura en cada punto seleccionado. Las lecturas así obtenidas representarían la iluminación producida sobre la superficie interna de la esfera imaginaria.

Mediante la fórmula:

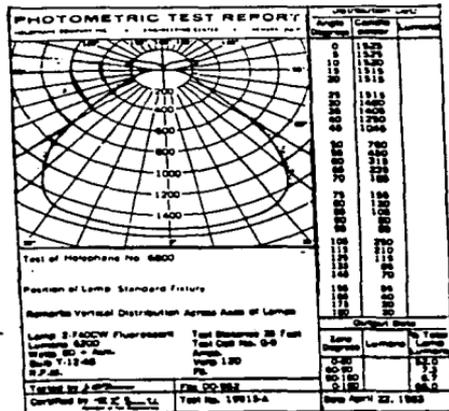
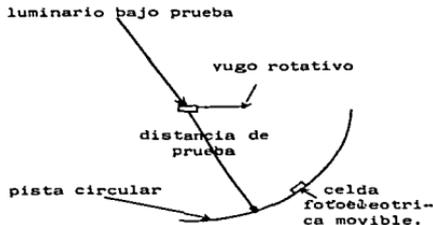
$$I = E \times D^2$$

En la realidad, la esfera imaginaria está substituida por una celda fotoeléctrica calibrada moviéndose a lo largo de una pista radial. Con sólo inclinar y voltear el propio luminario, se puede obtener cada punto de la esfera imaginaria. La curva de distribución fotométrica se toma en un solo plano, en lugar de la esfera entera y nos define el rendimiento del luminario únicamente en ese plano. (fig 37a)

Examínese la curva fotométrica (fig 37b .) para ver como se emplea en un proyecto de iluminación.

Aquí están sus aspectos principales:

1. La descripción en la parte central da el número de catálogo del luminario de tipo normal, y que las mediciones se hicieron en un plano vertical perpendicular a los ejes longitudinales de las lámparas fluorescentes, cuyos datos se indican.
2. En la columna de la derecha, están las lecturas reales en candelas con intervalos de cinco grados a partir de cero (directamente abajo) hasta 180°. Con estos valores es posible computar el rendimiento luminoso en lúmenes del luminario como un total del porcentaje de lúmenes emitidos por las lámparas (66%), o bien para cada zona en particular.



Es posible obtener una información muy útil sobre un luminario, sólo con el estudio de su curva fotométrica. Aquí están algunas indicaciones:

1. Asegurarse de que la curva fotométrica tiene una escala numerica.
2. Asegurarse de que los datos de rendimiento estén indicados en términos de lámparas normales conocidas.
3. Verificar la distancia de medición; tanto más larga tanto mejor. La distancia de medición debiera ser por lo menos cinco veces la más grande dimensión del luminario.

Las curvas de distribución se emplean para calcular los niveles de iluminación por 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 una área general.

4.11 COMODIDAD EN LA ILUMINACION

Es posible obtener altos niveles de iluminación sobre una tarea visual empleando proyectores y reflectores dirigidos hacia abajo. Sin embargo aunque se hayan cumplido todos los aspectos de cantidad de iluminación, la capacidad de una visión sostenida necesita cumplir otras condiciones, generalmente descritas como aspectos de "calidad" de iluminación.

Debemos distinguir dos aspectos de calidad. El primero depende de nuestro sentido de comodidad y de sultura cuando nuestros ojos no están absortos sobre el trabajo. Este aspecto de calidad está relacionado con la cantidad de deslumbramiento directo o luz indeseable, que alcanza nuestros ojos cuando miramos a nuestro alrededor del cuarto. El efecto de deslumbramiento directo se reduce haciendo los siguientes arreglos.

- A) Reduciendo la brillantez de los luminarios en dirección a nuestros ojos.
- B) Colocando los luminarios molestos fuera de nuestra linea de visión directa.
- C) Empleando reflectancias adecuadas en todo el cuarto y en las superficies de los muebles.

El deslumbramiento reflejado se reduce controlando la brillantez del luminario y, cuando sea posible, localizando las fuentes luminosas donde no sean reflejadas (como por un espejo) por la superficie de trabajo. El uso de papel lustroso o brillante debe tomarse en consideración. (las superficies mate no reflejan tanto la luz). En la realidad las superficies brillantes no pueden suprimirse tan fácilmente.

Una gran parte de la solución para el deslumbramiento reflejado descansa en el propio sistema de alumbrado. Por ejemplo si las lámparas desnudas causantes del reflejo, se ocultarán con rejillas, esto no mejoraría las condiciones, ya que los rayos que emiten directamente hacia abajo son las causantes de este efecto.

Si se ocultan las lámparas con una pantalla opalina difusora se logra eliminar las imágenes de las lámparas, pero si se usa un lumimetro, éste mostrará una reducción en la iluminación de un 40%. Es fácil producir un alto nivel de iluminación con poca comodidad

4.12 CONTROL DE LA LUZ

El control de la luz es la técnica para remodelar la distribución de luz de la

propia fuente y producir una iluminación más util sobre las superficies de trabajo y reducir el deslumbramiento directo y reflejado hacia los ojos. Parte de la luz emitida por la fuente va hacia arriba y puede ser redirigido hacia abajo por la acción de la reflexión. Hay dos métodos básicos para reflejar la luz; especular y difusa.

Quando un rayo de luz choca contra una superficie, una parte de luz rebota. La intensidad del rayo reflejado depende del factor de reflexión de la superficie. el color del rayo reflejado tambien puede ser diferente del color del rayo incidente si la superficie tiene propiedades selectivas de color. Por ejemplo un reflector amarillo inpartirá un tinte amarillento a un rayo de color blanco. Las superficies de tipo especular alteran la intensidad y el color del rayo incidente, dependiendo de su eficiencia y su color..

En la reflexión prismática un rayo entra por una cara del prisma y sale por otra cara, o por otra parte de la misma cara y en dirección opuesta, con una insignificante pérdida de intensidad (figura 38). Esto es porque la reflexión se produce en el interior del propio prisma de cristal o plástico transparente. de hecho, el polvo y la suciedad sobre las caras posteriores del prisma no tienen efecto sobre las propiedades de reflexión. Un reflector bien diseñado, redirige los rayos luminosos hacia abajo, en una forma util.

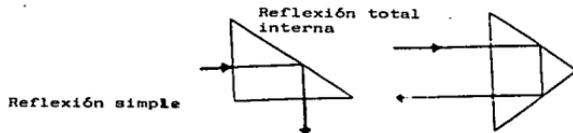


figura 38) Acción de la reflexión prismática.

4. 13 NIVELES DE ILUMINACION EN MEXICO.

Niveles de iluminación, para locales interiores que recomienda la Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación, A.C. (S.M.I.I.) --Illuminating Engineering Society (I.E.S.).

La primera columna lleva por encabezado I.E.S. 99% y esta formada por los niveles de iluminación determinados por la teoría del Dr. H.R. Blakwell, con las dos consiguientes características: un 99% de rendimiento visual y 5 asimilaciones por segundo. Entendiéndose por 5 asimilaciones por segundo, el promedio de percepciones visuales de un objeto, que puede hacer una persona por un segundo. La segunda columna S.M.I.I. 95%, está formada por los niveles de iluminación con un rendimiento visual de 95% y las otras asimilaciones por segundo. Esta columna se determinó por medio de un divisor de conversión, que fue encontrado después de hacer interpolaciones entre curvas dadas por el Dr. Blakwel, para tres asimilaciones por segundo y para 10 asimilaciones por segundo; usando como parámetros valores de brillantez (B) expresados en footlamberts y rendimientos visuales en por ciento. De estos factores se sacaron los valores apropiados de brillante (B) para cada tarea visual, teniendo ya estos valores se tomó como dividiendo común el valor de (B) para 99% de rendimiento visual y como divisores los valores de (B). En este caso se acordó un 95% de rendimiento visual, para recomendar como

valor mínimo en actividades que ocasionalmente se desarrollan bajo iluminación artificial, con lo que se baja la iluminación a valores aplicables en forma económica en México, sin que se provoque con ello niveles de iluminación que causarían cansancio visual a las personas que trabajan en estos locales mermando su eficacia en igual proporción que los rendimientos visuales.

Edificios Industriales	I.E.S. 99%	S.M.I.I. 95%
Auditorios	300	200
Bancos		
vestíbulo	500	300
pagadores, contadores y recibidores	1500	900
Gerencia y Correspondencia	1500	900
Bibliotecas		
Sala de lectura	700	400
Anaqueles	300	200
Reparación de libros	500	300
Archiveros y Catalogar	700	400
Mesa checadora de salida y entradas de libros.	700	400
Clubes		
Salas de descanso y lecturas	300	200
Correos		
vestíbulos, sobremesas	300	200
correspondencia, selección, etc.	1000	600
Cortes de justicia		
Áreas de asientos públicos	300	200
Áreas de actividades de la corte	700	400
Anfiteatro	200	100
Sala dental		
cuarto de espera	300	200
cirugía dental	700	400
Silla dental	10000	6000
laboratorio	1000	600
sala de recuperación	50	30
Guardería infantil		
iluminación general	100	60
mesa de reconocimiento	700	400
cuarto de juego	300	200
Farmacia		
iluminación general	300	200
mesa de trabajo	1000	600
almacen activo	300	200
Cirugía		
cuarto de limpieza	1000	600
sala de operaciones	1000	600
lavabo de cirujano	300	200
sala de restablecimiento	300	200
Terapia		
física	200	100
ocupacional	300	200
sala de espera	300	200

Cocinas	1000	600
Gasolinerías		
area de servicio	300	200
cuarto de ventas	500	300
estantes	1000	600
Hoteles		
recámaras	100	60
administración	500	300
Residencias		
jugos de mesa	300	200
cocina	500	300
lavadero, mesa de planchado	500	300
cuarto de estudio	700	400
costura	1000	600
entradas, halls, escaleras	100m	60m
salas, recamaras, comedores cuartos de estudio, bibliotecas y cuartos de recreo y juego.	100m	60m
cocina, lavandería, cuarto de baño	300	200
Restaurantes y Cafeterías		
area de comedor	500	300
cajera	500	300
inspección, etiquetado y precio	700	400
Salones de baile	50	30
Tiendas		
area de circulación	300	200
areas de mercancía	1000	600
mostradores	2000	1100
autoservicio	5000	3000
Áreas comunes		
bodegas o cuartos de almacenamiento	50	50
elevadores de carga y pasajeros	200	100
escaleras	200	100
pasillos y corredores	200	100
baños y tocadores	100	60
espejo de baño	300g	200g

fig. 39 Tabla que muestra los casos en que el valor de la S.M.I.I 95% y el I.E.S. 99% en diferentes edificios industriales.

NOTA: g = Para inspección minuciosa, 500 luxes
m = La iluminación general de éstas áreas no necesariamente tiene que ser muy uniforme

4.14 LAMPARAS AHORRADORAS

El aprovechamiento más racional de energía eléctrica cada vez más escasa y cara, esto da comienzo al desarrollo de una nueva lámpara. Es por eso que: OSRAM através de muchos años de investigación y estudios ha desarrollado un tipo de lámpara completamente nueva, que entre las muchas cualidades que posee destacan el generar una luz agradable, una buena reproducción de colores, una gran duración de vida y sobre todo que tiene un reducido consumo de energía eléctrica.

Las ventajas que presentan las lámparas DULUX S, para lamparas compactas

- 1.- Lámparas compactas con un alto rendimiento luminoso.
- 2.- Reducido consumo de energía eléctrica.
- 3.- 10 000 hrs. más como promedio de duración.
- 4.- Luz cálida y agradable, como la de una lámpara incandescente.
- 5.- Reproducción cromática y buena distribución luminosa
- 6.- Reducidas dimensiones
- 7.- Desarrollo técnico muy avanzado.
- 8.- Alto confort de luz
- 9.- 75 % de ahorro de energía eléctrica, en comparación con lámparas incandescentes.
- 10.- Largos intervalos de reposición.
- 11.- Para soluciones luminosas exigentes.
- 12.- Cambio sencillo de lámpara.

Los elevados costos iniciales de las lámparas son compensados por el ahorro en los costos de energía despues de aproximadamente 2,000 horas de funcionamiento. Además se puede señalar que:

- menor potencia instalada
- menor potencia al contratar en las nuevas instalaciones, menores dimensiones en todo el sistema eléctrico.
- menores costos de explotación.
- menores gastos en mano de obra por la reposición.
- menores intervenciones en el trabajo de los equipos de mantenimiento.

—ALGUNOS DATOS TECNICOS PARA LAMPARA AHORRADORAS INDUSTRIALES.

watts	flujo luminoso lm	diámetro D mm	longitud L mm	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. x caja
Blanco frio							
32	2600	38	1168	T-12(SL)	Fa8	9000	30
34	2825	38	1213	T-12	G13	20000	30
60	5750	38	2387	T-12(SL)	Fa8	12000	24
95	8500	38	2387	T-12(HO)	R17d	1200	24
195	14600	38	2387	T-12(VHO)	R17d	10000	24
Blanco ligero							
32	2700	38	1168	T-12(T-38)	Fa8	9000	30
34	2925	38	1213	T-12(T-38)	G13	20000	30
60	5850	38	2387	T-12(T-38)	Fa8	12000	24

fig. 40 Tabla que muestra las características de las lámparas fluorescentes ahorradoras de energía.

watts	diámetro D mm	longitud L mm	bulbo	casquillo	prom. hrs.	pzas. x caja
Blanco cálido y blanco frío						
32	38	1168	T-12(SL)	Fa8	12000	30
60	38	2387	T-12(SL)	Fa8	12000	24

fig. 41 Tabla que muestra las características de las lámparas fluorescentes LUMILUX ahorradoras de energía con alto índice de rendimiento de color.

watts	flujo luminoso	volts	diámetro ext.cms.	casquillo	acabado	prom. hrs.	pzas. caja
22	900	125	20.5	E-26	luz del día	12000	12

fig. 42 Tabla que muestra las características de la lámpara fluorescente circular con lámpara intercambiable.

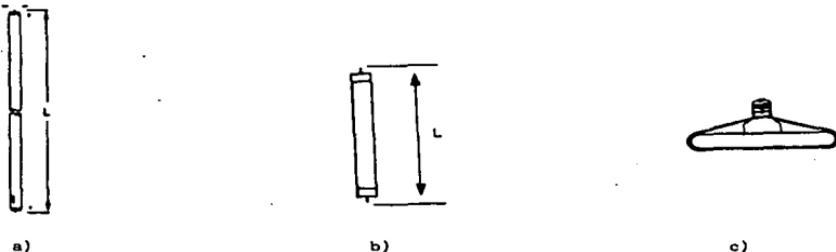


fig. 43 a) lámparas fluorescentes ahorradoras de energía, b) LUMILUX, c) lámparas fluorescentes circular con lámpara intercambiable.

4.15 BALASTRA AHORRADORA

Esta clase de balastro incorpora un sistema de retroalimentación que mide los voltios de la corriente de la lámpara. El circuito de control monitorea estos datos y mantiene la corriente de salida de la balastra a niveles predeterminados, dependiendo de los datos suministrados.

Ventajas: La balastra ahorradora electrónica permite un rendimiento de lámpara mejor que las demás balastras, además, tiene otras ventajas:

- 1.- Control de compensación de la depreciación de los lúmenes de lámpara. Una balastra ahorradora electrónica compensa la depreciación de los lúmenes de lámparas (DLL), el nivel de luminosidad de la lámpara al final de su vida debe ser casi igual al que tenía cuando fue instalada. Esto asegura la precisión del sistema de iluminación.
- 2.- Disminución del número de luminarias. Como los lúmenes de lámpara permanecen casi constantes durante toda la vida de las lámparas, se requiere un número menor de ellas en la instalación.
- 3.- Disminución de los costos de operación. Gracias a la balastra ahorradora electrónica controla mejor los vatios de salida, las lámparas consumen menos electricidad. Esto significa menores gastos de energía y de operación. La balastra puede disminuir los vatios de lámpara a tres cuartos de su wataje nominal. Esto asegurará una mayor flexibilidad del sistema de iluminación y permitirá que los vatios de lámpara se puedan cambiar para adecuarlos a diferentes usos y actividades.

ventajas de un balastro electrónico:

- Hasta 40% de reducción en consumo de energía.
- Elimina por su alta frecuencia los molestos parpadeos.
- Alto factor de balastro para máxima emisión luminosa.
- Circuito paralelo- Si una lámpara se funde las otras se mantienen encendidas
- Alto factor de potencia mayor de 97%
- Alto confort de funcionamiento.

CAPITULO 5

EJEMPLO DE APLICACION DEL SISTEMA...

NOMBRE DE LA EMPRESA: Aceros Frumo S.A. de C.V.

UBICACION: parte norte de la capital mexicana.

ROL DE LA EMPRESA: Trefilado de Acero Inoxidable.

ALGUNAS CARACTERISTICAS INFLUENCIABLES EN EL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA EMPRESA:

- 1.- La empresa maneja: Alambre de acero inoxidable en calibres desde 250 hasta 46 milésimas de pulgada. El cual habrá de ser medido precisamente para su trabajo.
- 2.- Se trabaja con acidos para la limpieza del material.
- 3.- El material una vez recocido adquiere un color negro, el cual es estirado y debido a este color, en ocasiones es difícil su visibilidad a través de las maquinas y de su ubicación.

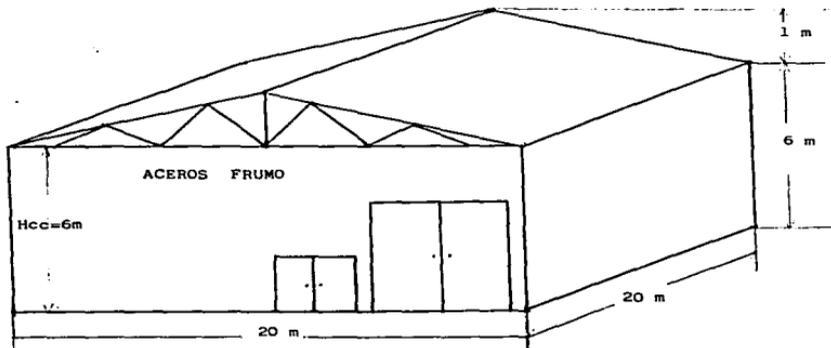


Fig. 44

PROCEDIMIENTO DE CALCULO..

- A) Cálculo de iluminación artificial.
- B) Cálculo de iluminación natural.

CALCULO DE ILUMINACION ARTIFICIAL

A continuación se presentan dos opciones mostrando un sistema normal y otro ahorrador.....

a.- Normal

dimensiones de la empresa: L= largo=20m
W= ancho=20m

$$AW = \text{Area} = 400 \text{ m}^2$$

Hep = Altura de cavidad de techo = 1m

Hccm = Altura de cavidad de cuarto = 6m

Hcte = Altura de cavidad de pico = 0.00m

Datos recomendados para una empresa de Aceros de la figura 39..

I.E.S

S.M.L.L.

500 lx

300 lx

De la figura 36 Reflectancia de .. piso = 27% (cemento)

pared = 50% (pintura blanca)

techo = 50% (pintura blanca)

Datos del luminario..

Lámpara fluorescente (blanco frio)

$$I_{0\text{e}} = E \times D^2 \\ = 300 \times (6.0)^2 = 10,800 \text{ candelas}$$

De la figura 45 y 46

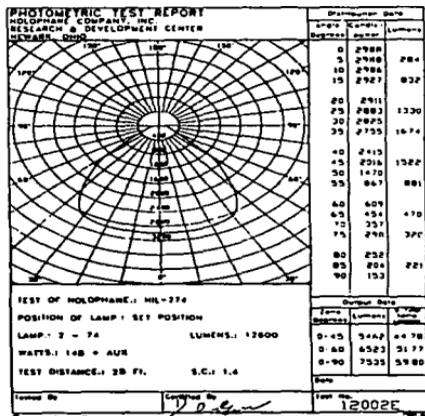


fig. 45

Coefficiente de Utilización

PISO TECHO PARED	20%									
	80%	80%	10%	80%	80%	10%	80%	10%	0%	
0	.71	.71	.71	.88	.88	.88	.61	.61	.61	.85
1	.83	.80	.88	.89	.87	.88	.84	.83	.82	.81
2	.86	.82	.88	.82	.80	.87	.88	.87	.88	.84
3	.80	.88	.82	.87	.83	.81	.84	.81	.88	.88
4	.84	.80	.86	.82	.88	.88	.80	.87	.84	.83
5	.80	.88	.82	.88	.86	.81	.88	.82	.80	.88
6	.86	.81	.88	.88	.81	.88	.83	.80	.87	.86
7	.83	.88	.88	.82	.88	.88	.80	.87	.84	.82
8	.80	.86	.82	.89	.88	.82	.88	.84	.82	.81
9	.88	.82	.80	.87	.82	.80	.88	.82	.80	.81
10	.88	.81	.88	.88	.81	.88	.84	.81	.88	.81

fig. 46

148 w 1am = 2 x 75 ; lúmenes 2 x 6300 = 12600 /m ; 1 balastra de 2 x 75w
 y 15000 hrs. de vida; S.C. = 1.4

Relación de cavidad del local..

$$RCR = \frac{5 \left[Hcc (\text{largo} + \text{ancho}) \right]}{\text{area}} = \frac{5 \left[6.0 (20 + 20) \right]}{20 \times 20} = 3$$

De la fig 46 se calcula el coeficiente de utilización = C.U = 0.47
Factor de mantenimiento F.M= LLD x LLD ; de la figura 47 obtenemos el factor de depreciación LLD= 0.89

La depreciación de su suciedad acumulada en el luminario LLD se obtiene de la figura 48 para categoría II, sucia y a 18 meses, entonces LDD= 0.83
Se tiene que F.M = 0.89 (0.83) = 0.738
Ahora se procede a calcular el número de luminarios..

$$\text{No. de luminarios} = \frac{I.E.S (L \times A)}{\text{lúmenes} \times CU \times FM} = \frac{300 (20 \times 20)}{12600(0.47)(0.74)} = \frac{120000}{4,382} = 27.38 = 27 \text{ lámparas}$$

$$\text{El espaciamiento teórico: } st = \sqrt{\frac{20 \times 20}{27}} = 3.9 \text{ m}$$

$$\text{Número de columnas} = \frac{\text{Ancho}}{st} = \frac{20}{3.9} = 5.2$$

$$\text{Número de renglones} = \frac{\text{largo}}{St} = \frac{20}{3.9} = 5.2$$

$$\text{Espacio real} = \frac{\text{ancho}}{\text{No.columnas}} = \frac{20}{5.2} = 3.8$$

$$\text{Espacio máximo} = S.C. \times Hcc = 1.4 \times 6.0 = 8.4$$

Para que un sistema este dentro de lo planeado se debe cumplir la condición..
entonces : $S_{\text{real}} \leq S_{\text{max}}$
3.8 \leq 8.4

De acuerdo a estos resultados nos podemos dar cuenta clara de la cantidad de energía consumida, que son:

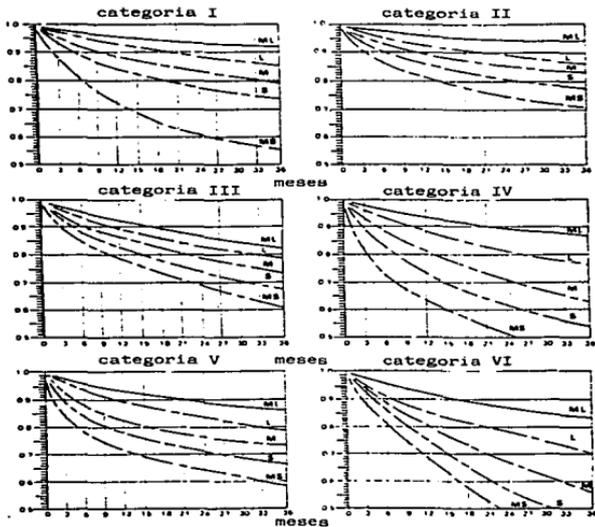
27 x 2 luminarios de 74 w y 12,000 hra. de vida
balastro convencional para 2 lámparas de 74 w

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES

WATTS	TIPO	ACABADO	LUMENES		VIDA EN HORAS	EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBOS EN CENTIMETROS	ENCENDIDO
			INICIALES	NUMEROS						
22	CIRCULAR	LUZ DE DIA	869	12,000	41	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 #	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. FRIO DE LUJO	875	12,000	40	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 #	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. CALDO DE LUJO	785	12,000	36	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 #	RAPIDO
32	CIRCULAR	BLANCO FRIO	1,050	12,000	58	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 #	RAPIDO
32	CIRCULAR	LUZ DE DIA	1,560	12,000	50	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 #	RAPIDO
40	CIRCULAR	BLANCO FRIO	2,650	12,000	66	0.77	4 ALFILERES	T-9	40.84 #	RAPIDO

17	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,400	20,000	82	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	80.20	RAPIDO
17	TUBULAR	BLANCO FRIO	1,400	20,000	82	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	80.20	RAPIDO
20	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,300	9,000	65	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	80.86	CON ARRANCADOR
20	TUBULAR	BLANCO FRIO	1,300	9,000	65	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	80.86	CON ARRANCADOR
20	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,075	9,000	54	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	80.86	CON ARRANCADOR
21	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,030	7,500	49	0.81	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	80.86	INSTANTANEO
30	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,900	7,500	63	0.81	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	80.00	CON ARRANCADOR
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	2,700	12,000	84	0.84	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	118.80	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	2,700	12,000	84	0.84	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	118.80	INSTANTANEO
34	TUBULAR	BLANCO LIGERO	2,700	20,000	79	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.80	RAPIDO
34	TUBULAR	BLANCO FRIO	2,700	20,000	79	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.82	RAPIDO
38	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	3,200	12,000	82	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	117.00	INSTANTANEO
38	TUBULAR	B. CALDO DE LUJO	3,200	12,000	82	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	117.00	INSTANTANEO
38	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,100	12,000	77	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	121.82	INSTANTANEO
38	TUBULAR	LUZ DE DIA	2,800	12,000	64	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	121.82	INSTANTANEO
40	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,150	12,000	79	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.82	RAPIDO
40	TUBULAR	LUZ DE DIA	2,800	12,000	65	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.82	RAPIDO
31	TIPO "U"	BLANCO FRIO	2,800	20,000	80	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	57.15	RAPIDO
32	TIPO "U"	BLANCO FRIO	3,000	20,000	84	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	57.15	RAPIDO
40	TIPO "U"	BLANCO FRIO	2,900	12,000	73	0.84	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	57.15	RAPIDO
59	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,000	15,000	102	0.81	SLIMLINE UN ALFILER	T-8	243.84	INSTANTANEO
60	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	6,100	12,000	102	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
60	TUBULAR	BLANCO CALIDO	6,100	12,000	102	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
75	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,300	12,000	84	0.89	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
75	TUBULAR	LUZ DE DIA	5,430	12,000	73	0.89	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO

CURVAS DE DEGRADACION POR SUCIEDAD EN EL LUMINARIO



ML = MUY LIMPIO
 L = LIMPIO
 M = MEDIO
 S = SUCIO
 MS = MUY SUCIO

fig. 48

b.- Ahorrador

Datos recomendados para una empresa de aceros de la figura 39.

I.E.S SMLL
500 lx 300 lx

Reflectancia de la figura 35

piso= 20%
techo= 50%
pared= 50%

Datos del luminario

lámpara fluorescente (blanco frio) $I_{0 \cdot v} = E \times D^2$
 $= 300 \times (6.0)^2 = 10,800 \text{candelas}$

Para lámparas ahorradoras de este tipo su vida es de 12,000 hrs.
De la figura 40. se tiene 60 w ; balastro ahorrador de 2 x 60 w y 60 000hrs de vida
Los lúmenes son: 2 x 5750 lúmenes = 11,500 lúmenes
Se calcula la relación de cavidad del local.

$$RCR = 5 \left[\frac{Hcc (L + A)}{\text{area}} \right] = 5 \left[\frac{6.0 (20 + 20)}{20 \times 20} \right] = 3$$

De la figura 49 para lámpara ahorradora, tenemos: el coeficiente de utilización CU= 0.56

Coefficiente de Utilización

PISO TECHO PARED	30%									
	80%			60%			40%			0%
	80%	30%	10%	80%	30%	10%	80%	30%	10%	0%
0	.92	.92	.92	.81	.81	.81	.69	.69	.69	.56
1	.81	.77	.74	.71	.69	.67	.61	.59	.56	.55
2	.71	.68	.61	.63	.59	.56	.54	.52	.50	.47
3	.63	.67	.62	.59	.57	.54	.48	.46	.43	.41
4	.56	.50	.48	.50	.48	.41	.44	.40	.37	.38
5	.50	.44	.39	.48	.40	.38	.40	.38	.33	.31
6	.46	.39	.34	.41	.34	.32	.38	.32	.29	.27
7	.41	.36	.30	.38	.33	.28	.33	.29	.26	.24
8	.38	.31	.27	.34	.29	.28	.30	.26	.23	.22
9	.38	.28	.24	.32	.26	.23	.28	.24	.21	.20
10	.32	.26	.22	.29	.24	.21	.26	.22	.19	.18

fig. 49

Se calcula el factor de mantenimiento FM= LLD x LDD ; el factor de depreciación LLD= 0.89 ; la depreciación por sociedad acumulada LDD= 0.83 ; entonces FM= (0.89) (0.83) = 0.738

Ahora se calcula el número de luminarios $= \frac{I (L \times A)}{\text{lúmenes} \times CU \times x} = \frac{300 (20 \times 20)}{11,500(0.56)(0.74)}$

$$= \frac{120000}{4765.6} = 25.18 = 25 \text{ luminarios}$$

Aumentamos el número a 20 luminarios, el espacio teorico(St) ..

$$St = \sqrt{\frac{20 \cdot (20)}{25}} = 4$$

Se procede a calcular el número de columnas..

$$\text{No. de columnas} = \frac{A}{St} = \frac{20}{4.0} = 5 \text{ luminarios}$$

$$\text{No. de renglones} = \frac{L}{St} = \frac{20}{4.0} = 5 \text{ luminarios}$$

$$\text{Espacio real} = \frac{A}{\text{No. columnas}} = \frac{20}{5} = 4.0 \text{ m}$$

$$\text{Espacio máximo} = S.C. \times H_{cc} = 1.4 \times 6.0 = 8.4\text{m}$$

$$\text{entonces } S_{\text{real}} \leq S_{\text{max}}$$

$$4.0 \leq 8.4$$

A medida de análisis se comparan los dos resultados anteriores para observar su tendencia.

Primer opción..

No. de sistemas: 27

lúmenes= 12,600 lm

Potencia consumida= 150 w

Total= 150 w x 27 = 4050 w

Segunda opción..

No. de elementos= 25

lúmenes= 11,500

Potencia consumida= 120 w

Total= 120 w x 25 = 3,000 w

Haciendo una comparación entre la opción 1 y la 2 con respecto a la potencia consumida tenemos..

$$\text{diferencia} = \text{opción 1} - \text{opción 2} = 4,050 - 3,000 = 1,050 \text{ w}$$

De lo anterior se observa que hay un ahorro considerable entre uno y otro sistema, que será redituable y significativo en un tiempo un poco más largo.

CALCULO DE ILUMINACION NATURAL

Para la iluminación natural se realizaran 2 cálculos:

- I) 21 de diciembre (caso desfavorable).
II) 21 de junio (caso favorable).

I) Caso favorable

Dimensiones largo (L) = 20m
ancho (W) = 20m²
area (Aw)= 400m²
altura de montaje (Hcc)= 6.0 m
Reflectancia, de la figura 36 tenemos..
techo= 50% (pintura blanca)
pared= 50% (pintura blanca)
piso = 20% (cemento pulido)

Datos del tragaluz : Tipo lámina, traslúcida, blanca, acanalada de fibra de vidrio.

Dimensiones = 10 x 1.0m

Area útil= 10m²

No. láminas= 10

At= 10 x 10 m²= 100m²

Desarrollo:

Se calcula la iluminación horizontal promedio (Ec) sobre el plano.

$$Et = Eh \times \frac{At}{Aw} \times Kv \times Km$$

donde: Eh= iluminancia horizontal en el exterior de los tragaluces

At= Area total de los tragaluces

Aw= Area del plano de trabajo

Kv= Coeficiente de utilización

Km= Factor de pérdida de luz

Las luminancias horizontales exteriores se toman de la figura 50 (de 8 a.m. a 4 p.m.)

figura 50 Iluminancia exterior horizontal en kiloluxes para un día nublado el 21 de diciembre a 19 grados de latitud norte.

Latitud (Grados norte)	Componentes	Iluminancia horizontal (kiloluxes)				
		8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	mediodía
19	Directa	0	0	0	0	0
	Difusa	6.75	13	13.5	16	16.75
	Total	6.75	13	13.5	16	16.75

Eho= 6.75 Kiloluxes (difusa)

Eha= 0 Kiloluxes (directa)

Para obtener el coeficiente de utilización se deben tomar en cuenta los valores de transmitancia siguientes..

$$\begin{aligned} \text{transmitancia difusa } T_d &= 0.75 \\ \text{transmitancia directa } T_D &= 0.74 \end{aligned}$$

Realizamos la operación siguiente para la relación de cavidad de cuarto..

$$RCR = \frac{5hc}{L \times W} \frac{(L + W)}{20 \times 20} = \frac{5(6)(20 + 20)}{20 \times 20} = 3.0$$

de la figura 38, obtenemos el coeficiente de utilización de cuarto RCU de 0.79
Por lo tanto el coeficiente de utilización Kud es = RCU x Td = 0.79 x 0.75 = 0.592

De la figura 37 se tiene el factor de pérdida de luz Km = 0.6

Con los datos anteriores obtenemos la iluminancia horizontal para un día nublado:

$$Eto = \frac{Eho \times N \times A \times Kud \times Km}{Aw} = \frac{(6.75)(10)(10)(0.592)(0.6)}{400}$$

= 0.5994 kiloluxes = 599.4 luxes

donde:

N = No. de tragaluces
A = area de cada tragaluz
Aw = area total del local

II) 21 de junio (caso favorable).

Procedimiento:

de la figura 51 obtenemos la iluminancia horizontal exterior

figura 51 Iluminancia exterior horizontal en kiloluxes para un día despejado el 21 de junio a 19 grados de latitud norte

Latitud (Grados) (norte)	Componentes	Iluminancia horizontal (kiloluxes)					mediodía
		8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.		
19	Directa	52.5	72	87.5	96	100.5	
	Difusa	13	14	15	16	16	
	Total	65.5	86	102.5	112	116.5	

Ehc = 13 kiloluxes (difusa)

Ehs = 52.5 kiloluxes (directa)

transmitancia difusa $T_d = 0.75$

transmitancia directa $T_D = 0.74$

Relación de cavidad de cuarto RCR = 3.0

Coefficiente de utilización de cuarto = 0.79 (RCU)

Coefficiente de utilización = Kud

Kud Rev x $T_d = (0.79)(0.75) = 0.59$

Kud = Rev x $T_D = (0.79)(0.74) = 0.58$

ESTA TESTIS NO DEBE
59 SALIR DE LA BIBLIOTECA

de la figura 24 se obtiene el factor de perdida de luz $K_m = 0.6$. La iluminancia horizontal en el plano de trabajo en un día despejado es:

$$\begin{aligned}
 E_{t_{cs}} &= \left[\frac{E_{hc} \times N \times A \times K_{ud} \times K_m}{A_w} \right] + \left[\frac{E_{hs} \times N \times A \times K_{uD} \times K_m}{A_w} \right] \\
 &= \left[\frac{(13)(10)(10)(0.59)(0.6)}{400} \right] + \left[\frac{(52.5)(10)(10)(0.58)(0.6)}{400} \right] \\
 &= 1.15 + 4.57 = 5.7175 \text{ Kiloluxes} \\
 &= 5717.5 \text{ luxes}
 \end{aligned}$$

De los resultados obtenidos de luz natural se puede observar que la cantidad de luz incidente por los tragaluces, tanto en un día nublado como en un despejado satisface los requisitos de iluminancia dentro de la nave, resultando satisfactorio eliminar la luz artificial dentro de este rango de horas al día, retribuyendo esto en un ahorro considerable de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

- 1.- Como se pudo observar en el desarrollo de la presente exposición existen algunas alternativas para aumentar la economía de un sistema de iluminación, las cuales en apariencia, son de poco valor, sin embargo a largo plazo se convierten en un sistema importante para el ahorro de energía.
- 2.- Un sistema de alumbrado bien proyectado, proporciona iluminación suficiente para la tarea visual.
- 3.- La visión se hace más aguda a medida que aumenta la iluminación.
- 4.- La luz reflejada desde el suelo o desde otras superficies exteriores, es importante en el diseño de iluminación natural.
- 5.- El aprovechamiento de energía eléctrica implica el buen uso de una lámpara que economice dicha energía.
- 6.- Es importante planear un buen mantenimiento del sistema de iluminación en la pequeña nave industrial.
- 7.- Los materiales difusores, transmisores, pantallas, tragaluces, color de las paredes, etc. son de gran ayuda en el proceso de iluminación natural.
- 8.- Es importante la orientación de las ventanas en el proceso de iluminación natural de cualquier habitación, escuela o nave industrial.
- 9.- Es necesario conocer y saber utilizar la energía natural del Sol, como una buena fuente de ahorro energético.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- I.E.S Ligthing Handbook, Octava edición. 1993
- 2.- Boletín I.I.E. Enero- Febrero 1996. Vol. 20. Num.1
- 3.- Fide, Revista. Octubre-Noviembre 1995. 1995.
- 4.- Catálogos proporcionados por el fabricante : OSRAM
- 5.- Catálogos proporcionados por el fabricante : HOLOPHANE
- 6.- UNAM, 1997. ANUARIO ESTADISTICO DEL OBSERVATORIO ASTRONOMICO NACIONAL. Ed. INSTITUTO ASTRONOMIC. 271p.