

PRESENTACIÓN

El desarrollo de este trabajo de Investigación está orientado a que el alumno se forme como un buen estudiante demostrando habilidad no solo en la resolución de problemas sino también teniendo claro los conceptos, términos y/o significados a la hora de diseñar y simular proyectos de gran envergadura en el sistema de iluminación, como inicio del tema a desarrollar en esta primera parte trataremos de dejar todo bien en claro sobre los conceptos y definiciones que se manejan en la ingeniería de iluminación para no tener complicaciones en futuros diseños y/o cálculos.

Un estudiante universitario debe estar en permanente búsqueda del perfeccionamiento en su formación académica, profesional y social; ser un apasionado por el conocimiento, buscar constantemente la excelencia y su independencia intelectual. El estudiante entonces será el principal responsable de su aprendizaje.

El presente trabajo está dirigido en especial a los alumnos de la UNAC y a toda las personas que tienen el deseo de aprender y superarse cada día más nutriéndose de conocimiento, aquí le mostraremos conceptos fundamentales del sistema de ILUMINACION DE SUBESTACIONES ELECTRICAS (SISTEMA DE POTENCIA) También simularemos los cálculos de la SE POMACocha en el programa DIALUX.



Dedicatoria

Este Trabajo se lo dedicamos a todas las generaciones de nuestra facultad de, ingeniería eléctrica y electrónica, que pasaron por los laureles de la misma, en especial por los maestros quienes nos imparten sus conocimientos; que gracias a muchos o pocos de ellos, hoy en día nos forjamos un porvenir venidero de grandes éxitos, son ellos el pilar fundamental en nuestra formación como profesionales que de aquí a unos pasos lo seremos. Solo esperamos que estas acciones se sigan practicando para nuestro propio bienestar y el de futuras generaciones.

ÍNDICE

OBJETIVO GENERAL

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

GLOSARIO

CAPÍTULO I: PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ILUMINACIÓN

1. Luz

2. Magnitudes y unidades.

3. Leyes Fundamentales.

3.1. Ley de la Iluminación.

3.2. Ley del Coseno.

3.3. Ley de la Inversa del Cuadrado de las Distancias.

4. Control de la Luz.

4.1. Reflexión.

4.2. Refracción.

4.3. Transmisión.

4.4. Absorción.

5. Iluminación Vertical.

6. Iluminación Horizontal.

7. Sistemas de Alumbrado.

7.1. Iluminación Directa.

7.2. Iluminación Semidirecta.

7.3. Iluminación Difusa.

7.4. Iluminación Semiindirecta.

7.5. Iluminación Indirecta

8. Fuentes Luminosas.

8.1. Lámparas Incandescentes

8.2. Lámparas de Descarga

8.2.1. Lámparas Fluorescentes.

8.2.2. Lámparas Vapor de Mercurio.

8.2.3. Lámparas de Vapor de Sodio.

9. Representaciones Fotométricas.

9.1. Curva de Distribución Luminosa

9.2. Diagrama Isocandela

CAPÍTULO II: PARÁMETROS PARA ESTABLECER EL ALUMBRADO EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**1. Características de las áreas que conforman la Subestación Eléctrica.**

1.1. Caseta de control

1.2. Caseta de vigilancia

1.3. Zona de equipo instalado

1.4. Área de transformación

1.5. Acceso a la subestación

1.6. Área entre el acceso y la caseta de control

1.7. Barda o cerca perimetral

1.8. Pasillos alrededor de la caseta de control

2. Tipos de Iluminación.**3. Alumbrado Normal y de Emergencia.****4. Iluminación Interior y Exterior.**

4.1. Iluminación Interior.

4.1.1. Sala de Tableros

4.1.2. Áreas de Bajo Montaje

4.2. Iluminación Exterior.

4.2.1. Zonas de Equipo Instalado y Zonas de Paso.

4.2.2. Pasillos

5. Niveles de Iluminación.**6. Tipos y Características de las Fuentes Luminosas.**

6.1. Luminarias.

6.1.1. Incandescentes

6.1.2. Fluorescentes

6.1.3. Descarga de Alta Intensidad.

6.1.4. Leds

CAPÍTULO III: MÉTODOS DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL ALUMBRADO.

1. Método del flujo total para el cálculo del alumbrado en interiores.

2. Método de la cavidad de zona (cavidad zonal).

2.1. Reflectancia efectiva.

2.2. Coeficiente de utilización

2.2.1. Ajuste del coeficiente de utilización

2.3. Factor de mantenimiento

2.4. Número de lámparas y luminarias requerido.

2.5. Arreglo, disposición de luminarias y distancias típicas a la pared

2.6. Espaciamiento máximo entre luminarias

3. Conceptos de alumbrado exterior

3.1. Proyectores

3.2. Cubiertas para luminarias

4. Criterios para el cálculo de iluminación externa.

4.1. Calculo del coeficiente de utilización (C.B.U.) con curvas isocandelas

4.2. Iluminación externa de edificios y otras áreas.

5. Método de flujo luminoso para alumbrado exterior

6. Obtención de los kW/h

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

OBJETIVO GENERAL

- Conocer el Sistema de ILUMINACION EN UNA SUBESTACION ELECTRICA-SISTEMA DE POTENCIA, aprender cuales son los pasos, normas recomendaciones a seguir para un buen diseño.
- Diseñar el alumbrado interior y exterior de la subestación eléctrica, analizar los proyectores con lámparas de sodio y lámparas de aditivos metálicos de nueva generación para el alumbrado exterior, cumpliendo con la normatividad vigente y proponiendo un ahorro significativo de energía.
- Simular en el programa DIALUX el sistema de Iluminación de la Subestación Eléctrica Pomacocha y verificar si cumple con los niveles de iluminación requeridos por el CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD-SUMINISTRO 2011
- Conocer las luminarias más utilizadas en la Subestaciones Eléctricas a nivel del Perú, gracias a nuestra poca experiencia describiremos que las grandes empresas como ABB diseñan y realizan sus memorias de cálculo de iluminación tomando como principal Proveedor a la Empresa PHILIPS.

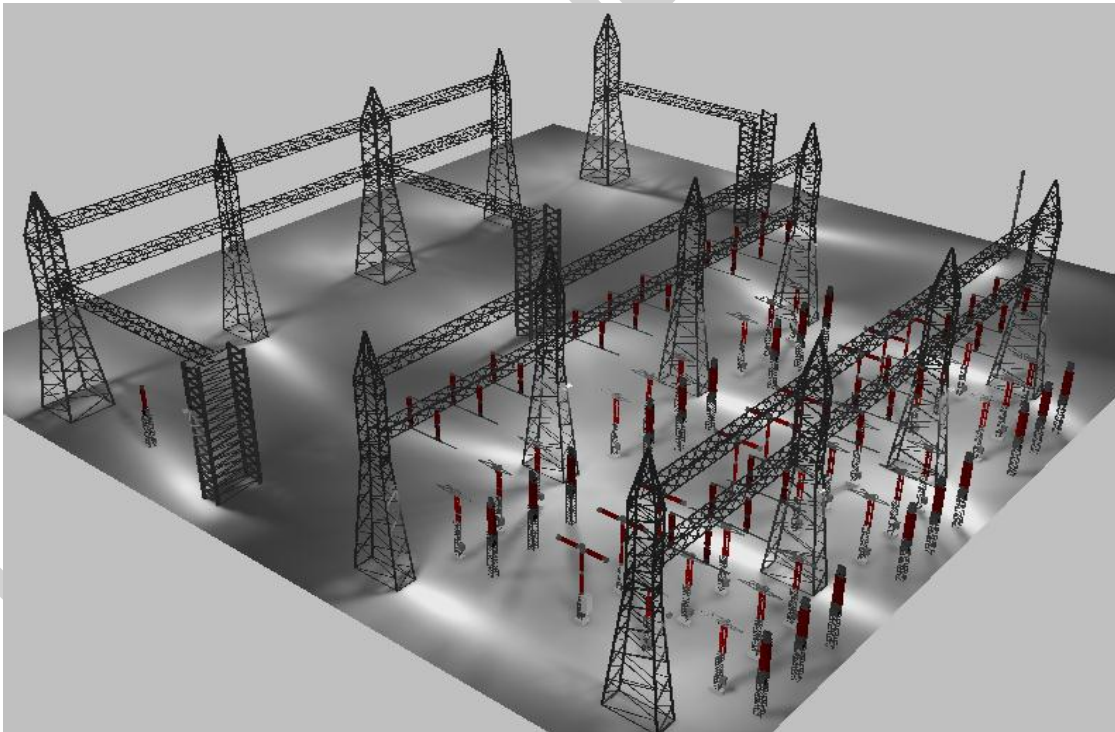
RESUMEN

En el siguiente trabajo de Investigación se pretende explicar el sistema de iluminación para una subestación eléctrica con capacidades de 66kV a más (SISTEMA DE POTENCIA), con el fin de iluminar al equipo primario, la caseta de control, la caseta de vigilancia y el perímetro de la subestación.

En este trabajo de Investigación se realizó una breve descripción de los conceptos básicos de la iluminación, ya que son necesarios para comprender los fenómenos que produce la luz en el medio ambiente.

También se consideraron los tipos de alumbrado e iluminación que existen, así como un comparativo entre las características de las luminarias, con el fin de seleccionar los elementos y sistemas que más se adecuen a las necesidades que presenta la subestación.

Para el desarrollo del proyecto se tomaron en cuenta los diferentes métodos de cálculo que existen para diseñar adecuadamente el alumbrado y la distribución de las luminarias, con la finalidad de evitar deslumbramientos, reflexiones y otros fenómenos que pudiesen perjudicar las actividades que se desarrollan en las áreas que conforman la subestación.



INTRODUCCIÓN

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, con el fin de facilitar el transporte y distribución de la energía.

Estas deben ser dotadas de alumbrado para que el personal de operación, mantenimiento y vigilancia puedan desarrollar sus trabajos respectivos. Aún en subestaciones automatizadas, en que prácticamente no hay personal, se requiere alumbrado.

No se pueden dar reglas fijas sobre la iluminación de una subestación, porque la intensidad y la distribución de los puntos de luz dependen de una serie de circunstancias, como son las condiciones de iluminación en los centros de trabajo estipuladas en CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD-SUMINISTRO 2011.

Por tal motivo se brindara los métodos para el diseño del alumbrado a una subestación eléctrica ya que la mayoría de las actividades, ya sea de maniobra o de mantenimiento, se efectúan de noche porque es el horario en el cual la demanda de energía eléctrica es menor.

En este trabajo se mostrara el uso de unidades con nueva tecnología para mejorar y facilitar las actividades que se desarrollan en la subestación así como una distribución distinta para el alumbrado exterior del equipo primario y el área de transformadores, también se analizará el uso de lámparas de aditivos metálicos y vapor de sodio para comparar cual se utilizará de acuerdo a los requerimientos de la subestación.

GLOSARIO

Candela ó bujía: Es la cantidad básica internacional de todas las medidas de luz; todas las demás unidades se derivan de ella.

Fotometría: Es la ciencia que se encarga de la medida de la luz, como el brillo percibido por el ojo humano.

Haz Luminoso: Es el camino recorrido por un rayo de luz o el recorrido efectuado por los fotones dirigidos a un punto determinado.

Incandescencia: Estado de un cuerpo, generalmente metálico, cuando se enrojece o blanquea por la acción del calor.

Lámpara: Dispositivo generador de luz artificial que proporciona iluminación visible

Longitudinal: Hecho o colocado en el sentido de la longitud.

Lumen: Flujo luminoso que incide sobre una superficie de un metro cuadrado de una esfera de un metro de radio, en cuyo centro se encuentra una fuente puntual que tenga una intensidad luminosa de una candela en todas direcciones”

Luminaria: Son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a los dispositivos generadores de luz.

Lux: Es la iluminación de una superficie de 1m^2 que recibe uniformemente repartido, un flujo luminoso de 1 lumen.

Luz monocromática: Es aquella que está formada por componentes de un solo color. Es decir, que tiene una sola longitud de onda, correspondiente al color.

Mampara: Una mampara es una estructura divisoria de dos estancias o elementos

Ménsula: Elemento arquitectónico que sobresale de un plano vertical y sirve para sostener alguna cosa

Nit: Luminancia de una candela sobre un metro cuadrado de superficie. En los países que utilizan el sistema inglés de medida, se emplea también como unidad de luminancia la candela por pie cuadrado.

Oblicuo: Que no es perpendicular ni paralelo a un plano o línea dada.

Puntiforme: Fuente luminosa que parte y tiene la forma de un punto.

CAPITULO I.- PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ILUMINACIÓN

En este capítulo se describirán los conceptos de mayor importancia en iluminación.

1. LUZ.

La luz se define como, “La energía radiante cuya longitud de onda es sensible al ojo humano”.

En la figura I se representa tanto el espectro de ondas electromagnéticas como la región visible del espectro electromagnético, en esta última se indican los colores según la longitud de onda en milimicras.

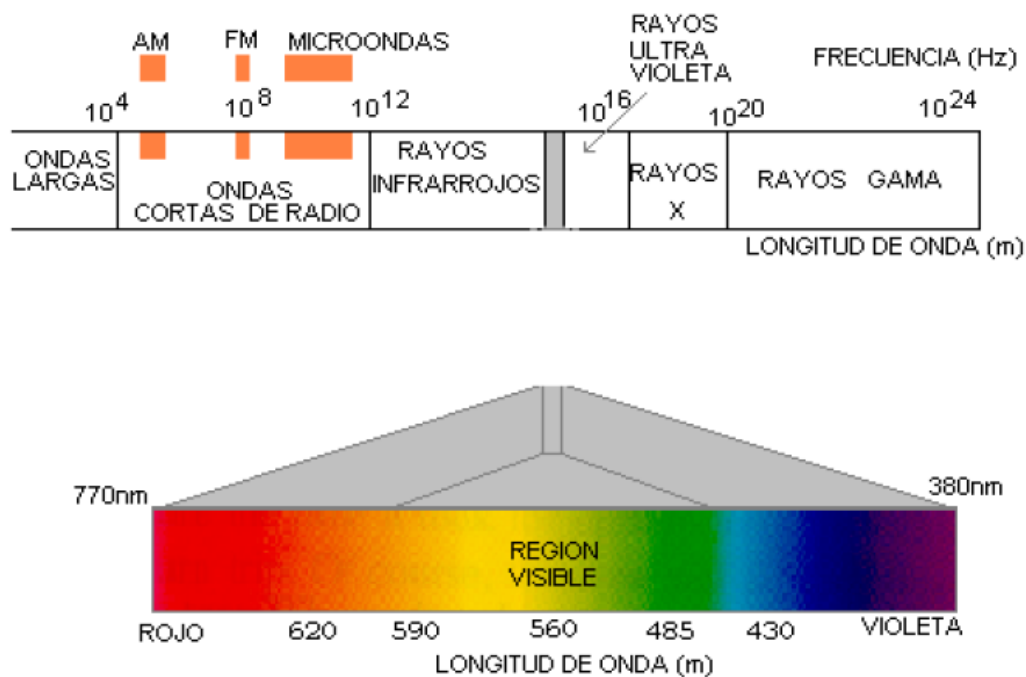


FIGURA I: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

Las características de sensibilidad del ojo humano varían con el tiempo, la edad y el estado de salud en que se encuentre cualquier persona. En la figura II se muestra la capacidad relativa de energía radiante de diversas longitudes de onda, dentro de la gama visible, para producir sensación visual.

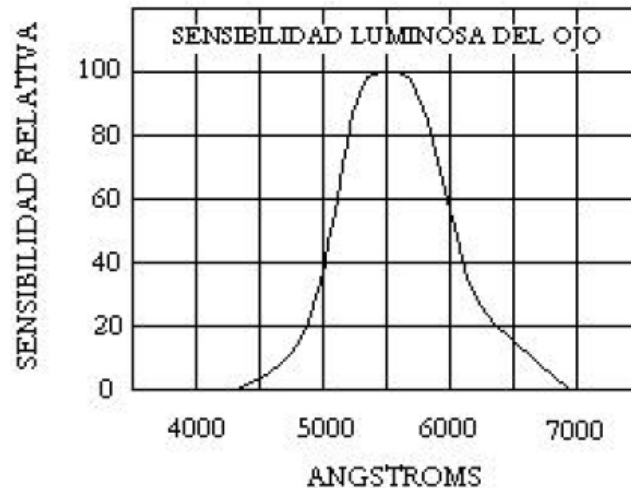


FIGURA II: CURVA DE SENSIBILIDAD RELATIVA.

La luz tiene las siguientes propiedades:

- Se propaga en el espacio por medio de ondas electromagnéticas, con una velocidad de 300, 000 km/seg.
- Se transmite a distancia y en todas las direcciones del espacio.
- La luz se desplaza en línea recta, a menos que su trayectoria sea modificada o redirigida por un medio reflectante, refractor o difusor.

2. MAGNITUDES Y UNIDADES DE ILUMINACIÓN.

En la técnica de la iluminación, intervienen dos elementos básicos: la fuente productora de luz y el objeto a iluminar.

Las magnitudes fundamentales empleadas para valorar y comparar las cualidades y efectos de las fuentes de luz son:

- Intensidad luminosa
- Flujo luminoso
- Iluminación
- Luminancia o Brillo Fotométrico
- Eficiencia luminosa
- Cantidad de luz
- Índice de color
- Temperatura de color

Interesa advertir que en las definiciones de estas magnitudes, se supone que el manantial luminoso es puntiforme o se encuentra reducido a un punto del que parten las radiaciones luminosas en todos los sentidos.

Antes de dar las definiciones de dichas magnitudes, definiremos el concepto de ángulo sólido.

ÁNGULO SÓLIDO: Es el ángulo tridimensional (ω), que teniendo su vértice en el centro de una esfera de radio r , corta en la superficie de la esfera un área esférica A_s y $\omega = A_s/r^2$ su medida en estereorradianes.

ESTERRADIÁN: Es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera de radio r , corta la esfera de radio r en una superficie esférica de valor r^2 .

RADIÁN: Es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo de radio r y que interceptan sobre la circunferencia de este círculo un arco de longitud igual a la del radio. (Ver figura III).

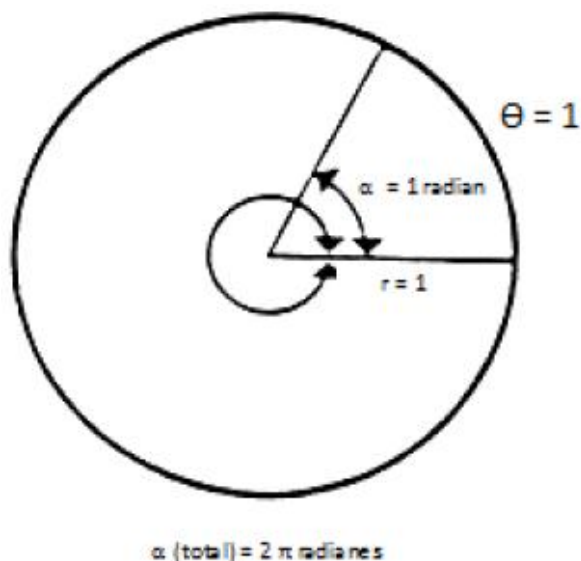


FIGURA III: EJEMPLO DE UN RADIÁN

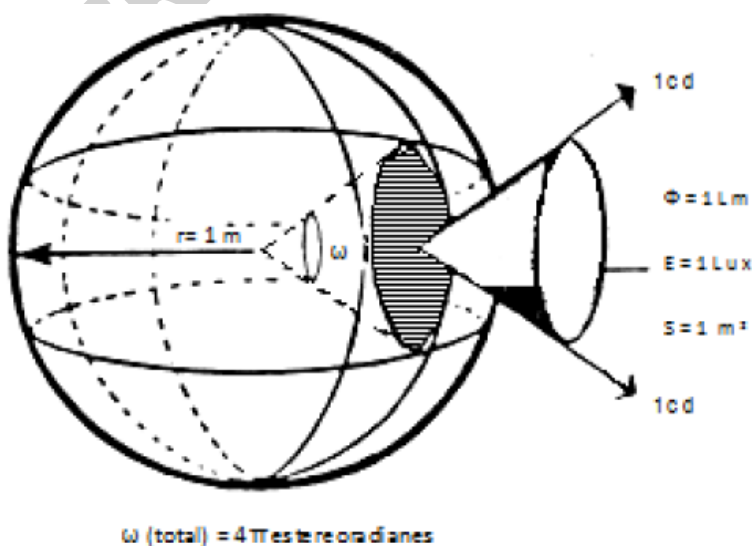


FIGURA IV: EJEMPLO DE UN RADIÁN

La unidad de ángulo sólido se denomina estereorradián; se puede definir como el ángulo sólido formado con un cono cuya base ocupa una superficie de un metro cuadrado sobre una esfera de un metro de radio y cuyo vértice coincide con el centro de la esfera. El ángulo sólido se representa por la letra griega ω .

Tomando en cuenta que la superficie de la esfera es:

$$S = 4 \pi R^2$$

Y en este ejemplo el valor de $R = 1$, por lo que toda la esfera tendrá una superficie de:

$$S = 4 \pi \text{ ESTERERRADIANES}$$

A).-INTENSIDAD LUMINOSA

La intensidad luminosa en una cierta dirección se define como la densidad del flujo luminoso dentro de un ángulo extremadamente pequeño. También se puede definir como la razón del flujo luminoso (ϕ) al ángulo sólido (ω); la unidad de intensidad luminosa será la bujía ó candela y su símbolo es "I", la ecuación será:

$$I = \phi / \omega \text{ (BUJÍAS O CANDELAS)}$$

B).- FLUJO LUMINOSO

Es la radiación visible total emitida por una fuente de luz; es decir, la cantidad de energía radiante emitida por una fuente luminosa por unidad de tiempo (segundo) medida de acuerdo con la sensación visual que produce. El símbolo para el flujo luminoso es " ϕ " y la unidad es el lumen. (Figura V.)

Si se considera que la fuente de iluminación es una lámpara, una parte del flujo luminoso la absorbe el propio aparato de iluminación, también se debe hacer notar que el flujo luminoso no se distribuye en forma uniforme en todas direcciones y que disminuye si sobre la lámpara se depositan polvo y otras sustancias.

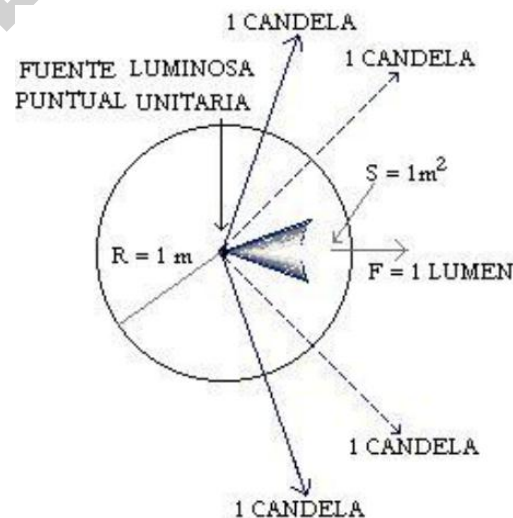


FIGURA V: DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE FLUJO LUMINOSO (LUMEN)

C).- ILUMINACIÓN

La iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión. La iluminación se representa por la letra “E”, siendo su unidad el lux. La fórmula que expresa la iluminación es:

$$E = \phi / A$$

Dónde:

E = Iluminación de la superficie (luxes).

ϕ = Flujo luminoso, en lúmenes.

A = Área iluminada, en metros cuadrados.

Se deduce de la fórmula que cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminación, y que para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminación será mayor a medida que disminuye la superficie. La unidad en que está dada la iluminación es el lux.

D).- LUMINANCIA O BRILLO FOTOMÉTRICO

Se define, como la intensidad luminosa radiada por unidad de superficie y se representa por la letra “L”. La ecuación de la luminancia o brillo fotométrico es la siguiente:

$$L = I / S'$$

La luminancia de una superficie en una dirección determinada (Figura VI), es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la sección proyectada de esta superficie en la dirección del observador; por lo tanto la sección proyectada S' vale:

$$S' = S \cos \epsilon$$

Y en consecuencia, la luminancia valdrá en este caso:

$$L = I / S \cos \epsilon$$

Esto ocurre tanto para una superficie iluminada como para una superficie luminosa. (Figura VI).

La unidad de Luminancia es el NIT .

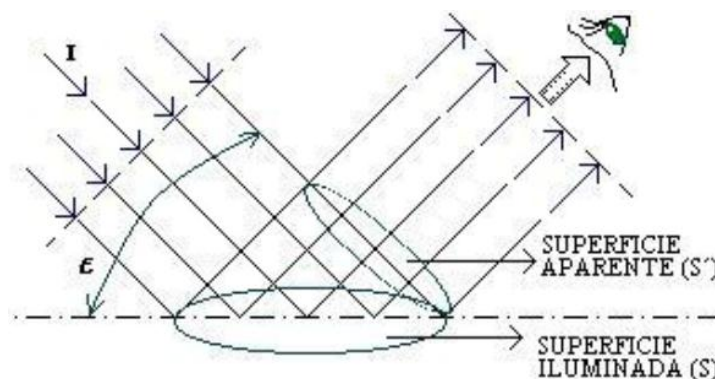


FIGURA VI: BRILLO INDIRECTO DE UNA SUPERFICIE ILUMINADA.

E).- EFICIENCIA LUMINOSA

También llamado coeficiente de eficiencia luminosa, indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se expresa por la letra griega “ η ” (eta), siendo su unidad el lumen por watt (lm/W). Y su expresión matemática es:

$$\eta = \phi / W$$

Dónde:

η = Rendimiento luminoso, en lumen por watt

ϕ = Flujo luminoso, en lúmenes

W = Potencia eléctrica consumida, en watts.

Cabe mencionar que existe una diferencia entre eficiencia y eficacia, la primera, como se mencionó anteriormente, se da en lm/W, mientras que la segunda es adimensional, por lo que se expresa como un porcentaje.

F).- CANTIDAD DE LUZ (ENERGIA LUMINOSA)

La cantidad de luz o energía luminosa se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo.

La cantidad de luz se representa por la letra “Q”, siendo su unidad el lumen por hora (lm/h). La fórmula que expresa la cantidad de luz es:

$$Q = F t$$

G).- ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR (IRC)

Es una medida de la precisión con la que una lámpara reproduce los colores de los objetos con respecto a una fuente de luz normal, es decir, la capacidad que tiene una fuente de luz para reproducir el color, tomando como referencia el color obtenido de una fuente patrón. Es importante saber que los objetos y personas iluminados bajo la luz con un alto IRC se ven más naturales, además que el nivel de iluminación se percibe como mayor.

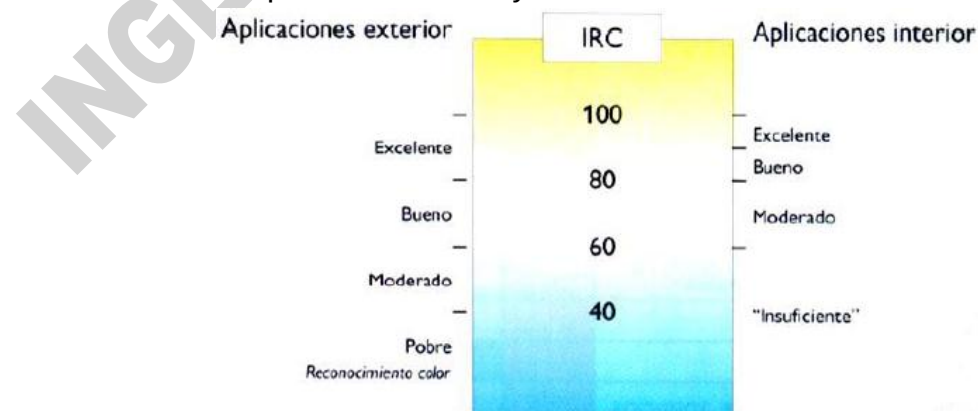


FIGURA VII: REPRESENTACIÓN DEL ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR

La Comisión Internacional de la Iluminación ha propuesto un sistema de clasificación de las lámparas en cuatro grupos según el valor del IRC.

Grupo de rendimiento en color	Índice de rendimiento en color (IRC)	Apariencia de color	Aplicaciones
1	IRC $\geq$ 85	Fría	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta
		Intermedia	Escaparates, tiendas, hospitales
		Cálida	Hogares, hoteles, restaurantes
2	70 $\leq$ IRC < 85	Fría	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión
		Intermedia	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión
		Cálida	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, ambientes industriales críticos
3	Lámparas con IRC < 70 pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
S (especial)	Lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal		Aplicaciones especiales

H).- TEMPERATURA DE COLOR

La temperatura de color es una medida que se especifica en las lámparas y se refiere a la apariencia o tonalidad de la luz que emite la fuente luminosa.

Las fuentes de luz que percibimos blancas y brillantes o azuladas tienen una temperatura de color arriba de los 3600°K (grados Kelvin) y la luz se denomina “luz fría”, se usan en aplicaciones industriales, oficinas, hospitales, etc.

Las fuentes de luz que percibimos rojizas o amarillentas tienen una temperatura de color abajo de los 3400°K y se denomina “luz cálida”, se usan en lugares donde se requiera un ambiente de hospitalidad y confort por ejemplo, tiendas de ropa, hogar, restaurantes, etc.

Las fuentes de luz con temperatura de color de 3500°K se consideran neutras y comúnmente son usadas en lugares de trabajo incluyendo oficinas, salas de conferencias, bibliotecas, escuelas.

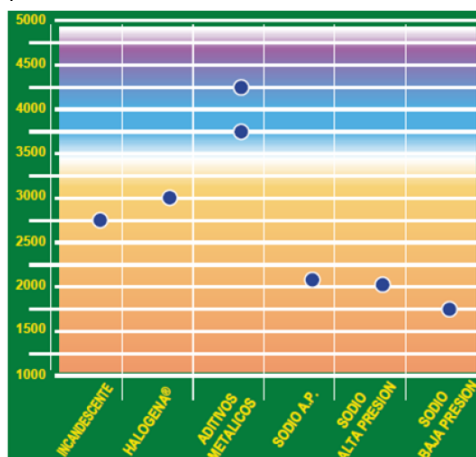


FIGURA VIII: TEMPERATURA DE COLOR DE ALGUNAS LÁMPARAS

3. LEYES FUNDAMENTALES.

3.1.- LEY DE ILUMINACIÓN

La ley fundamental de la iluminación se define como: “La iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa es directamente proporcional a la intensidad luminosa del manantial luminoso e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa del mismo”.

Esta ley solamente puede aplicarse directamente en el caso de manantiales luminosos puntiformes. Sin embargo, en la práctica se puede considerar una superficie luminosa como si fuera un manantial luminoso puntiforme, cuando la distancia de esta superficie luminosa a la superficie sobre la cual se requiere la iluminación, es por lo menos, cinco veces la más grande dimensión de la superficie luminosa.

Consideremos ahora (Figura IX) un manantial luminoso puntiforme que irradia un flujo luminoso “ ϕ ” sobre un elemento de superficie “S”, situado perpendicularmente a una distancia “d” del manantial y siendo esta superficie la base del cono luminoso de ángulo “ ω ”. La iluminación en la superficie “S”, valdrá:

$$E = \phi / S = \frac{I\omega}{S} \quad E = \frac{IS}{d^2} \quad E = \frac{I}{d^2}$$

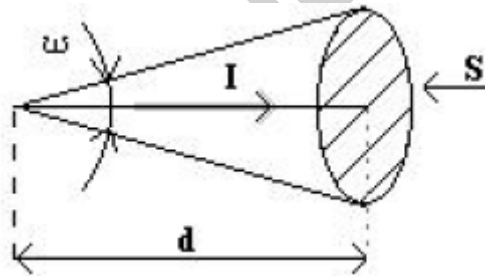


FIGURA IX: LEY FUNDAMENTAL DE LA ILUMINACIÓN.

3.2.. LEY DEL COSENO

La ley del Coseno se define como: “La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de coincidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado”

En la Figura X, “S”, representa una superficie que recibe un flujo luminoso uniforme “ ϕ ” procedente de un manantial de luz; esta superficie es perpendicular a la dirección del flujo.

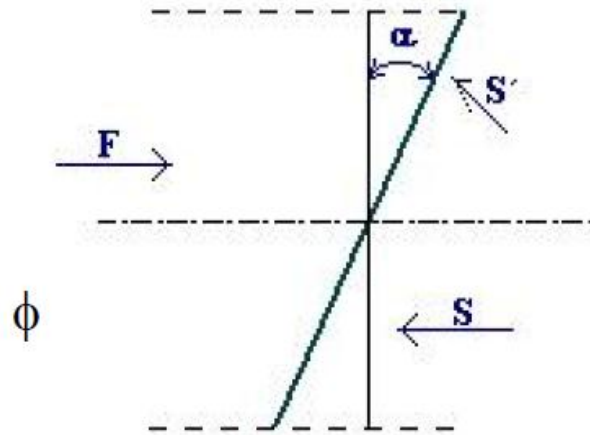


FIGURA X: "LEY DEL COSENO".

3.3.. LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LAS DISTANCIAS..

Esta ley establece que: "La intensidad de iluminación sobre una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación, es directamente proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente luminosa y la superficie". Esta ley se expresa de la siguiente forma:

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

Dónde:

E = Intensidad de iluminación.

I = Intensidad luminosa.

d = Distancia entre el manantial luminoso y la superficie iluminada.

Esta ley se reduce de la Figura IX. Según esta ley, un manantial con una intensidad luminosa uniforme de una candela, siempre constante, producirá sobre una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación a las distintas 1, 2 y 3 metros, las siguientes intensidades de iluminación:

En la superficie a 1 m:

$$E1 = \frac{I}{d^2} = \frac{1}{1^2} = 1 \text{ Lux}$$

En la superficie a 2 m:

$$E1 = \frac{I}{d^2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \text{ Lux}$$

En la superficie a 3 m:

$$E1 = \frac{I}{d^2} = \frac{1}{3^2} = \frac{1}{9} \text{ Lux}$$

De donde se reduce:

$$E1 = 4 \times E2 = 9 \times E3$$

Esta ley se cumple cuando se trata de una fuente puntual. Sin embargo, en la práctica se puede considerar que es bastante exacta, aunque la fuente no sea puntiforme, si la distancia a la que se toman las medidas es como mínimo 5 veces la mayor dimensión de la fuente de luz.

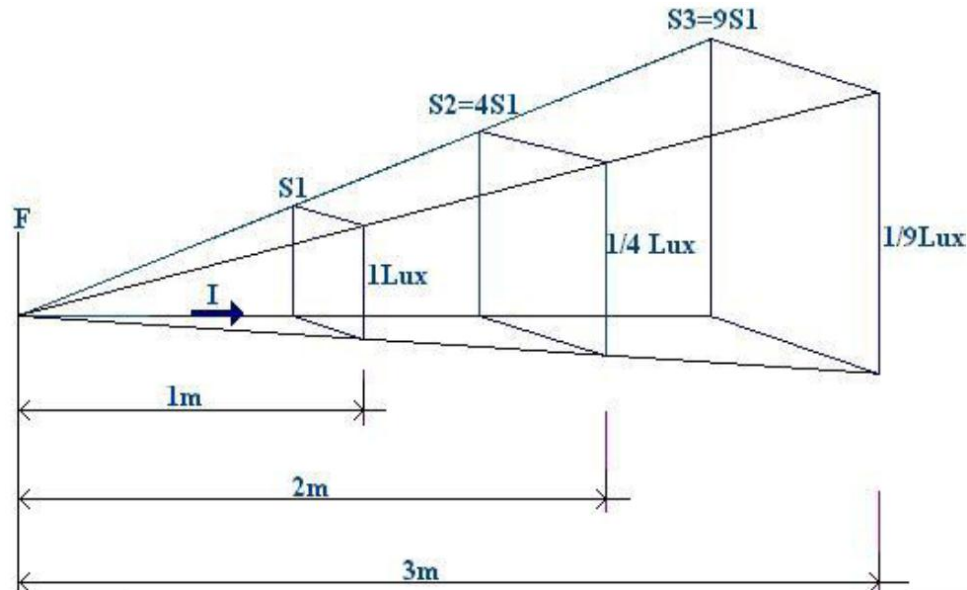


FIGURA XI: LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LAS DISTANCIAS.

4. CONTROL DE LA LUZ.

La modificación de las características luminosas de un manantial luminoso se puede realizar aprovechando uno o varios de los fenómenos físicos de la luz como son: Reflexión, Refracción, Transmisión y Absorción.

4.1.- REFLEXIÓN

Cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella, se dice que refleja la luz. La reflexión de luz depende, esencialmente, de las siguientes circunstancias:

1. Condiciones moleculares de la superficie reflectante. Por ejemplo una superficie lisa refleja mejor la luz que una superficie rugosa.
2. Ángulo de incidencia de los rayos luminosos.
3. Color de los rayos incidentes. La luz blanca se refleja mejor que la luz coloreada.

La Ley fundamental de la reflexión de la luz dice (Figura XII). "El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión".

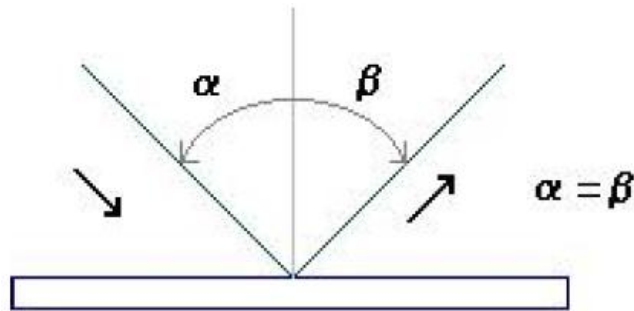


FIGURA XII: REFLEXIÓN DIRIGIDA O ESPECULAR.

Llamamos ángulo de incidencia al ángulo α que forma el rayo luminoso incidente con la vertical en el punto de incidencia cuando este rayo choca con la superficie, y el ángulo de reflexión al ángulo β que forma el rayo luminoso, ya reflejado con la vertical en el punto de incidencia, cuando ese rayo luminoso, se aleja de la superficie.

Esta Ley fundamental es solamente teórica. En la práctica sólo se cumple cuando la superficie sobre la que incide el rayo luminoso es absolutamente lisa y brillante como por ejemplo, la de un espejo.

4.2.- REFRACCIÓN

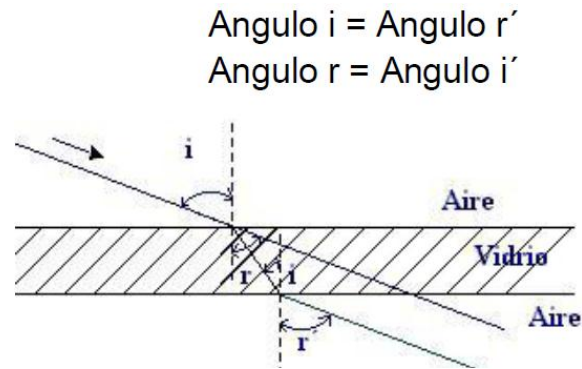
La dirección de los rayos luminosos queda modificada al pasar de un medio a otro de diferente densidad; este fenómeno físico se llama refracción.

Expresando esta ley en una fórmula matemática:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

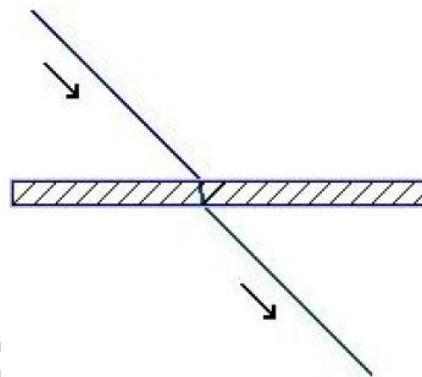
Índice de refracción es la relación entre la velocidad de la luz a través del aire y su velocidad, a través del medio o sustancia correspondiente; por lo tanto, el índice de refracción del aire es la unidad y cuando las sustancias son más densas que el aire, lo que es el caso más general, su índice de refracción es mayor que la unidad; lo que quiere decir; que la luz es tanto menor cuanto mayor sea la densidad del medio que atraviesa.

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

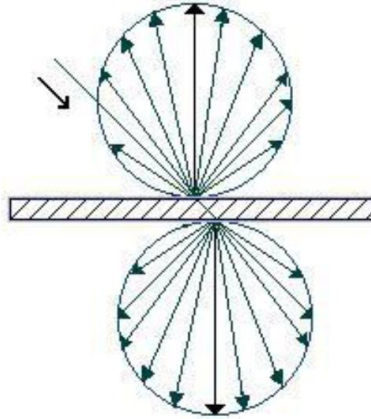
**FIGURA XIII: LEY FUNDAMENTAL DE LA REFRACCIÓN.****4.3.. TRANSMISIÓN.**

Al pasar los rayos luminosos a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos, se dice que estos rayos han sido transmitidos.

La transmisión de la luz puede ser dirigida (Figura XIV), si el rayo sufre solamente la variación debida a la refracción normal.

**FIGURA XIV: TRANSMISIÓN DIRIGIDA.**

La transmisión de la luz se llama difusa (Figura XV) cuando el rayo luminoso incidente queda dispersado al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo de que se trate; en la Figura XV, se puede apreciar como una parte del flujo luminoso incidente se refleja con reflexión también difusa. Se puede conseguir una transmisión difusa utilizando cristales opalinos, mateados, etc., es decir, cuerpos traslúcidos. En este caso, la luminancia es constante en todas las direcciones del espacio y el deslumbramiento es mucho menor que en el caso anterior.

**FIGURA XV: TRANSMISIÓN DIFUSA.**

4.4.- ABSORCIÓN

En el fenómeno de reflexión de la luz, no todo el flujo que incide sobre los cuerpos, se refleja; una parte de este flujo luminoso, queda absorbido en mayor o menor proporción según los materiales componentes de cada cuerpo. Por lo tanto, los fenómenos de reflexión y de absorción están íntimamente ligados.

Si el cuerpo es de color blanco, la refleja enteramente, sin haber absorción; por el contrario los cuerpos negros absorben por completo la luz blanca, sin haber reflexión y si es de color gris, parte de la luz blanca es reflejada y parte absorbida.

5. ILUMINACIÓN VERTICAL.

La mayoría de las tareas visuales en subestaciones, se encuentran localizadas al nivel o encima del ojo y para eso se requiere de una iluminación vertical, que proporcione una luminaria adecuada a ese plano de trabajo.

Se deberán colocar apropiadamente luminarias para iluminar transformadores, columnas de aisladores, interruptores de potencia en aceite o en aire y cuchillas desconectadoras.

Las luminarias de haz dirigido tales como proyectores, se usan comúnmente para iluminación vertical. Un proyector de haz estrecho que provea el máximo nivel sobre la superficie de trabajo, a la vez que se reduce el deslumbramiento directo, puede utilizarse para iluminar un objeto aislado como el caso de un desconectador de montaje alto. Para iluminar un transformador donde existen muchos detalles a observar, por ejemplo, puede ser de mayor utilidad el uso de luminarias que tengan una distribución de luz más amplia.

Montando luminarias sobre las estructuras disponibles, se reduce la posibilidad de causar obstrucciones que pueden dificultar el movimiento del equipo en las áreas de maniobras.

En la selección del lugar de montaje de las luminarias, se deberá tener cuidado de evitar su instalación demasiado cerca de las partes energizadas. La siguiente es una lista de varios tipos de equipo de subestación y de las tareas visuales involucradas:

- a) Transformadores. Niveles de aceite en boquillas, fugas de aceite y fallas detectables por contraste, medidores de presión de aceite en el tanque, medidor de aceite y temperatura en el comportamiento del cambiador de derivaciones, medidores detectores de gas.
- b) Boquillas. Terminales de cables de energía, fugas de aceite y fallas detectables por contraste.
- c) Interruptores de potencia en aceite. Fugas detectables por decoloración; dispositivos de control de compresores o bombas dentro de compartimentos o centros de control.
- d) Desconectores. Indicadores de posición, eslabones mecánicos, posición del brazo, dispositivo de operación manual, evidencia de arqueo excesivo.

En una subestación sin operador cuyo equipo funciona siempre supervisado y controlado automáticamente (telecontrolado), se presenta algunas veces la necesidad de hacer visitas de inspección. En tales casos puede proporcionarse solamente una iluminación general horizontal, por medio de luminarias instaladas permanentemente, y el operador deberá contar con equipo de iluminación portátil para la iluminación de áreas de trabajo específicas.

6. ILUMINACIÓN HORIZONTAL.

La iluminación horizontal deberá abarcar todo el predio al nivel del suelo, para asegurar el tránsito rápido y sin peligro del personal.

Los peligros potenciales, tales como conductores caídos y objetos que yacen sobre el piso, deben hacerse visibles. Además, las fugas de aceite deben ser claramente detectables al quedar iluminadas las manchas sobre el piso.

Es recomendable que las luminarias que provean esta componente horizontal de luz se monten de tal manera que reduzca la posibilidad de deslumbramiento directo en el campo de visión, el cual podría de hecho disminuir la visibilidad.

La instalación de proyectores es un método comúnmente usado para satisfacer el requerimiento de componente horizontal. Las luminarias montadas en el perímetro del terreno (usualmente en la cerca perimetral) sobre postes relativamente altos, 6 a 9 m. (20 a 30 pies), se usan para obtener un nivel uniforme de iluminación.

Adicionalmente pueden necesitarse luminarias en el centro del campo para eliminar las sombras causadas por el equipo. Estas unidades pueden montarse en

punta de poste o agregarse a las estructuras de interruptores, o a otras estructuras disponibles.

Las luminarias deberán colocarse fuera de las partes energizadas y donde se puedan sustituir lámparas sin riesgo para el personal.

7. SISTEMAS DE ALUMBRADO

Cuando una lámpara se enciende, el flujo emitido puede llegar a los objetos de la sala directamente o indirectamente por reflexión en paredes y techo. La cantidad de luz que llega directa o indirectamente determina los diferentes sistemas de iluminación con sus ventajas e inconvenientes. En la figura XVI se representan los sistemas de alumbrado.

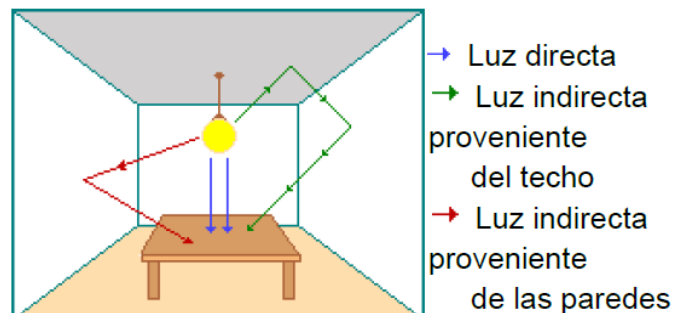


FIGURA XVI

7.1., ILUMINACION DIRECTA

Se produce cuando todo el flujo de las lámparas va dirigido hacia el suelo. Es el sistema más económico de iluminación y el que ofrece mayor rendimiento luminoso. Como consecuencia, el riesgo de deslumbramiento directo es muy alto y produce sombras duras poco agradables para la vista. Se consigue utilizando luminarias directas.

7.2.- ILUMINACIÓN SEMIDIRECTA

La mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejada en techo y paredes. En este caso, las sombras son más suaves y el deslumbramiento menor que el anterior. Sólo es recomendable para techos que no sean muy altos puesto que la luz dirigida hacia el techo se perdería por ellas.

7.3.- ILUMINACIÓN DIFUSA

En este tipo de iluminación el flujo se reparte al cincuenta por ciento entre procedencia directa e indirecta. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, lo que le da un aspecto monótono y sin relieve a los objetos iluminados. Para evitar las pérdidas por absorción de la luz en techo y paredes es recomendable pintarlas con colores claros o mejor blancos.

7.4.- ILUMINACIÓN SEMIINDIRECTA

Este tipo de iluminación se da cuando la mayor parte del flujo proviene del techo y paredes. Debido a esto, las pérdidas de flujo por absorción son elevadas y los consumos de potencia eléctrica también, lo que hace imprescindible pintar con tonos claros o blancos. Por contra la luz es de buena calidad, produce muy pocos deslumbramientos y con sombras suaves que dan relieve a los objetos.

7.5.- ILUMINACIÓN INDIRECTA

En este caso casi toda la luz va al techo. Es la más parecida a la luz natural pero es una solución muy cara puesto que las pérdidas por absorción son muy elevadas. Por ello es imprescindible usar pinturas de colores blancos con reflectancias elevadas.

8. FUENTES LUMINOSAS.

La luz se puede producir de varias formas, las más importantes con relación a las lámparas eléctricas son:

- ✓ Calentando un cuerpo sólido (hilo o filamento) hasta su grado de incandescencia mediante el paso de una corriente eléctrica a través de él. (Fundamento de las lámparas incandescentes).
- ✓ Provocando una carga eléctrica entre dos electrodos situados en el seno de un gas (Fundamento de las lámparas de descarga).

Las fuentes luminosas, más importantes con relación a las lámparas eléctricas son:

- A) Lámparas incandescentes.
- B) Lámparas de descarga.
 - 1. Fluorescentes
 - 2. De vapor de mercurio
 - 3. De vapor de sodio
 - 4. De aditivos (halogenuros) metálicos

La construcción y funcionamiento de estos tipos de lámparas es un tema muy extenso, por lo que solo trataremos las ventajas y desventajas que ofrece cada tipo de lámpara en su aplicación; que son las siguientes:

8.1.- LAMPARAS INCANDESCENTES

VENTAJAS

- Ofrece una fuente de luz concentrada, fácil de dirigir exactamente hacia el sitio y objeto que se desea iluminar.
- Trabaja eficientemente cualquiera que sea la temperatura exterior.

- Enciende al instante, sin período de espera o equipo auxiliar de precalentamiento. Es adaptable, es decir, existiendo una enorme variedad de tipos y tamaños, encajan todos en un mismo socket.
- No alteran o distorsionan la apariencia de los colores en la mayor parte de las aplicaciones ópticas.
- De reposición fácil, cualquiera puede cambiar una lámpara.
- La alteración de los encendidos y apagados de la lámpara, no afecta su vida útil, por eso se usa para señales y luces de destello.
- Enciende indistintamente con corriente alterna o directa. Fácil de instalar y conectar porque no es necesario ningún equipo adicional para su funcionamiento. El costo inicial, instalación y mantenimiento de estas lámparas es bajo.

DESVENTAJAS:

- Bajo rendimiento luminoso, aproximadamente el 7% de su rendimiento es en forma de energía visible (luz), el resto son radiaciones infrarrojas (calor).
- Corta vida útil en comparación con los demás tipos de lámparas (750 a 1000 horas de encendido aproximadamente)
- Tiene poca robustez, y por lo tanto, son afectadas por las vibraciones o el trabajo rudo.
- Por la poca superficie que tienen estas lámparas, implica mayor brillantez intrínseca en estas fuentes, en comparación con las lámparas fluorescentes.
- No tienen un alto poder de penetración en la niebla o bruma.

8.2.- LAMPARAS DE DESCARGA**8.2.1. Lámparas Fluorescentes.****VENTAJAS**

- Tiene un alto rendimiento luminoso, el cuál varía dependiendo del fabricante, pero aproximadamente son 70 lúmenes por watt.
- Tiene una vida útil más larga, aproximadamente 12 000 horas.
- Producción de buenos colores; produce los efectos que más se aproximan a la luz del día.
- Por su extensa superficie comparada con las lámparas incandescentes, permite obtener una gran cantidad de luz de una lámpara, sin que resulte demasiado brillante a la vista.
- No altera la apariencia de los colores, en la mayor parte de las aplicaciones ópticas.

DESVENTAJAS:

- Necesita de equipo auxiliar para su funcionamiento.
- Su rendimiento luminoso es afectado a bajas temperaturas ambientes.
- Su costo inicial e instalación es más costoso en comparación con las lámparas incandescentes.
- La alteración de los encendidos y apagados de la lámpara, afectan su vida útil; ya que en cada encendido se destruye la película del material activo que produce los electrones para establecer el arco inicial.
- No tiene un alto poder de penetración en la niebla o bruma.
- No es adaptable, es decir, existe una luminaria para cada tamaño de lámpara, el cual dependerá de la potencia de esta.

8.2.2. Lámparas Vapor de Mercurio.**VENTAJAS**

- Tiene un alto rendimiento luminoso, el cuál varía dependiendo del fabricante, pero aproximadamente son 80 lúmenes por watt.
- Tiene una vida útil más larga, aproximadamente 16 000 horas de encendido. Ofrece una fuente de luz concentrada, fácil de dirigir exactamente hacia el sitio y objeto que se desea iluminar.
- Su flujo luminoso es inalterable por los cambios de temperatura ambiente.
- Más robusta que las lámparas incandescentes y fluorescentes, y no se ve afectada por las vibraciones o trabajo duro.
- No altera la apariencia de los colores en la mayor parte de aplicaciones ópticas.

DESVENTAJAS:

- Necesita de equipo auxiliar para su funcionamiento.
- Su costo inicial e instalación es más costoso en comparación con las lámparas incandescentes.
- No enciende instantáneamente, se necesitan varios minutos para obtener su máxima emisión luminosa, y si se ha apagado, es necesario un enfriamiento de tres a cinco minutos antes de tener su total emisión nuevamente.
- La alteración de encendidos y apagados de la lámpara, afecta su vida útil.
- No tiene un alto poder de penetración en niebla o bruma.
- Por la poca superficie de estas lámparas, implica mayor brillantez intrínseca en éstas fuentes, en comparación con las lámparas fluorescentes.

8.2.3. Lámparas de Vapor de Sodio.

VENTAJAS:

- Tiene un alto rendimiento luminoso el cual varía dependiendo del fabricante, aproximadamente son 120 lúmenes por watt.
- Tiene una larga vida útil, aproximadamente 24000 horas de encendido.
- Puede ofrecer una fuente de luz concentrada, fácil de dirigir exactamente hacia el sitio y objeto que se desea iluminar.
- Su flujo es inalterable a los cambios de temperatura ambiente.
- Más robusta que las lámparas incandescentes y fluorescentes, y no se ve afectada por las vibraciones o el trabajo duro.
- Este tipo de lámpara en alta tensión produce una luz monocromática amarilla, con lo cual se tiene la máxima visibilidad.
- Tiene un alto poder de penetración en la niebla o bruma.

DESVENTAJAS:

- Necesita de equipo auxiliar para su funcionamiento.
- Su costo e instalación es más costoso en comparación con las lámparas incandescentes.
- No enciende instantáneamente, se necesitan varios minutos para obtener su máxima emisión luminosa.
- La alteración de los encendidos y apagados de la lámpara, afectan su vida útil. Este tipo de lámpara puede tener poca superficie en comparación con las lámparas fluorescentes, por lo tanto, tendrá una mayor brillantez.

A continuación en la tabla 1. Se presentan algunas características de algunas luminarias.

TABLA 1.- CARACTERÍSTICAS DE LUMINARIAS

Característica	Incandescentes	Fluorescentes	Vapor de mercurio	Vapor de sodio de alta presión	Aditivos metálicos	Inducción magnética	LED's
Vida útil (horas)	750 a 1,000	18,000 a 30,000	24,000	24,000	10,000 a 20,000	100,000	50,000 a 100,000
Eficiencia (lm/W)	10.2 – 17.2	149 - 170	100 - 100	220 - 250	200 - 175	66 - 88	80 - 100
Mantenimiento de lúmenes	10%	95%	80%	100%	30%	50%	100%
Índice de rendimiento de color	35	70	40	22	65	80	70 – 90
Temperatura de color (K)	2273	4100	3000 - 6000	1900 - 2200	2500 - 5000	3500 - 4100	2700 – 5700
Calor a disipar	80%	25%	30%	37%	37%	42%	75 – 85%
Costo inicial	8	1.7	2.8	1	1.5	2.5	2
Encendido (min)	Instantáneo	Instantáneo	3 - 5	3 - 5	5 - 7	Instantáneo	Instantáneo
Reencendido (min)	Instantáneo	Instantáneo	3 – 5	1	5 - 7	Instantáneo	Instantáneo

En la gráfica se muestran la diferencia de costos por tiempo de funcionamiento y por tipo de lámpara encendida, para mantener el mismo nivel de iluminación. Tomando como referencia la lámpara de vapor de sodio

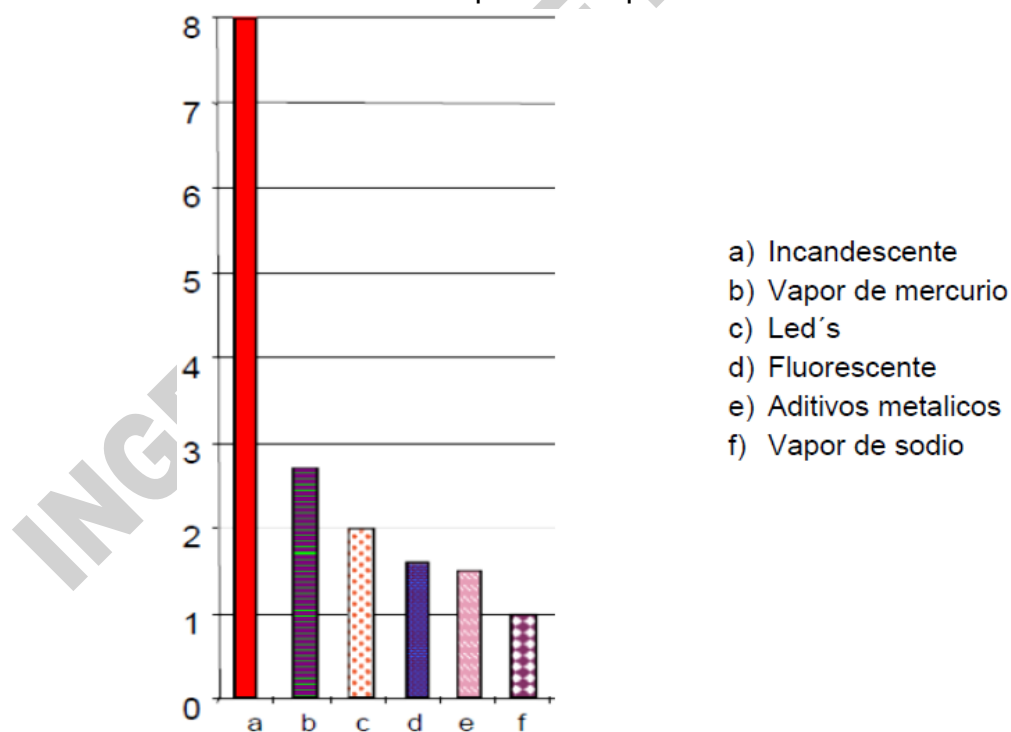


FIGURA XVII: GRÁFICA DE DIFERENCIA DE COSTOS POR TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO

9. BALASTROS

El balastro, es un dispositivo electrónico, electromagnético o híbrido, que por medio de inductancia, provee un arco de energía necesario para el arranque de la lámpara, además de que limita la corriente eléctrica para brindar un funcionamiento correcto.

El tipo de balastro, depende del tipo de lámpara y aplicación que se necesite: pero en forma general se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Balastro Electromagnético para lámparas fluorescentes
- Balastro Electrónico para lámparas fluorescentes T12, T8, T5, Compacta y Dimming (atenuación)
- Balastro de Emergencia para lámparas fluorescentes
- Balastro Magnético para lámparas HID
- Balastro de Electrónico para lámparas HID

Las principales funciones del balastro son:

- a) Proporcionar la tensión de encendido para el arranque de la lámpara, así como la tensión de operación necesaria para que funcione la lámpara, proporcionando un voltaje continuo.
- b) Proporcionar las condiciones específicas para un buen funcionamiento y vida plena de la lámpara
- c) Controlar y limitar la energía eléctrica a los valores apropiados para que la lámpara opere en condiciones nominales. Limita la corriente de operación a través de la lámpara y controla la potencia que llega a la lámpara para un buen funcionamiento

Lo ideal es instalar el balastro dentro del luminario ya que esto da la adecuada protección al balastro, sin embargo, también es muy común instalarlo por encima del luminario, a fin de disminuir la temperatura y dar mejor operación al balastro.

Elementos integran la estructura de un balastro

Los elementos que integran un balastro, dependerán fundamentalmente si es magnético o electrónico.

En lo que refiere a los balastros electromagnéticos para lámparas fluorescentes, podemos encontrar los siguientes elementos:



FIGURA XVIII: COMPONENTES DE UN BALASTRO

Con respecto a los balastos electrónicos, se encuentran integrados por circuitos electrónicos como son:

- Resistores
- Capacitores
- Diodos
- Transistores
- Circuitos Integrados
- Transformadores
- Tarjeta Cto. Impreso

10. REPRESENTACIONES FOTOMÉTRICAS

Para proyectar adecuadamente es necesario obtener los reportes fotométricos del fabricante de la lámpara o luminaria que se pretende utilizar para obtener los resultados esperados en la iluminación.

Un equipo de alumbrado se diseña para distribuir la luz de diversas formas. Esta distribución de la luz puede representarse gráfica o numéricamente por diversos métodos (reportes fotométricos).

10.1.- CURVA DE DISTRUBUCIÓN LUMINOSA

Una curva de distribución luminosa es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa a diferentes ángulos alrededor de una fuente de luz o luminaria y representarlas en forma gráfica, normalmente en coordenadas polares (por ejemplo Figura XIX).

La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección.

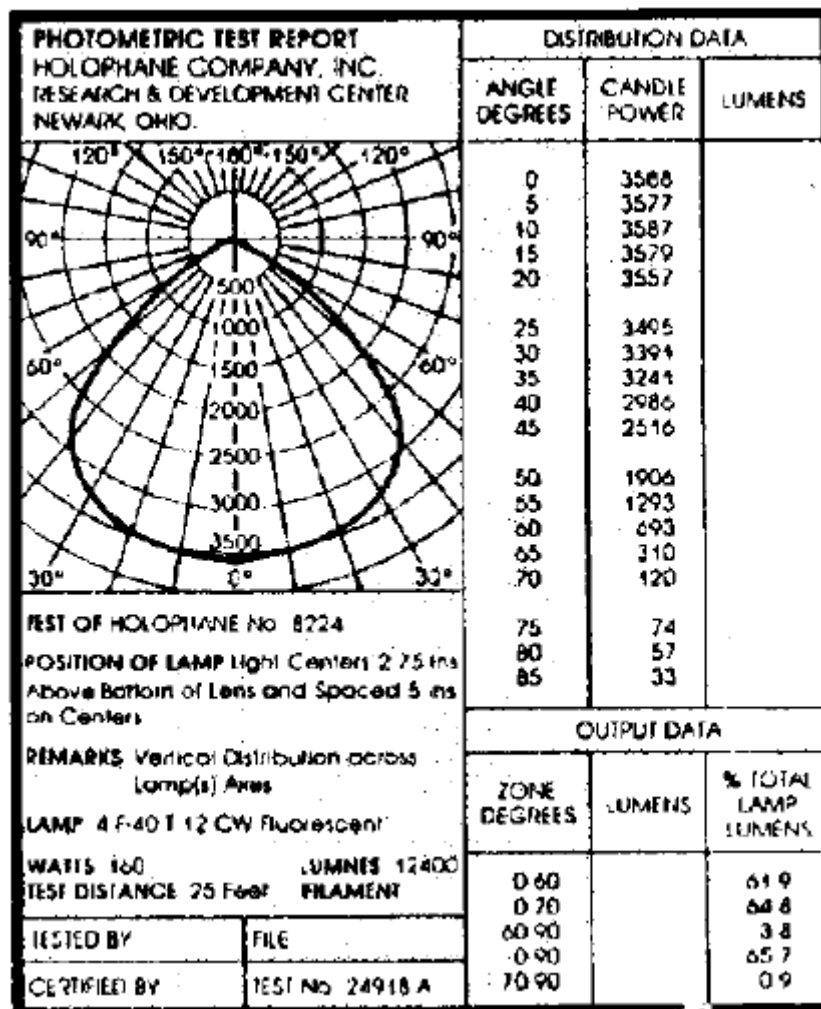


FIGURA XIX: REPRODUCCIÓN DE UN REPORTE TÍPICO DE PRUEBA FOTOMÉTRICA DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA DEL LUMINARIO QUE SE TRATE.

La iluminación recibida desde una sola fuente de luz sobre cualquier punto de una superficie dada puede calcularse a partir de los datos de la curva de distribución luminosa de dicha fuente. Cuando la relación entre el tamaño de la fuente y la distancia fuente – punto de superficie es tal que puede aplicarse la Ley Fundamental de Iluminación o del Coseno; el cálculo se reduce en tomar de la curva de distribución la lectura de la intensidad luminosa para el ángulo requerido, dividiendo esta por el cuadrado de la distancia fuente – punto en metros y multiplicando por la función trigonométrica apropiada si la superficie no es perpendicular a la dirección de los rayos de luz que salen de la fuente.

Finalmente, la distribución luminosa de unidades que no tienen simetría alrededor de un eje no admite una representación tan sencilla. Para aparatos fluorescentes, se emplean comúnmente al menos tres curvas, una en el plano paralelo al eje longitudinal de la lámpara, otra normal a él, y una tercera intermedia entre ambas a 45° del eje de la lámpara.

10.2.- DIAGRAMA ISOCANDELA

La mejor representación de un haz irregular se obtiene mediante un diagrama Isocandela.

En él se representan en grados las distancias al eje del haz, tanto horizontal como verticalmente, y se recoge gran número de lecturas de intensidades luminosas en diferentes puntos; las curvas que se dibujan unen puntos de igual intensidad luminosa. Por ejemplo, Figura XX.

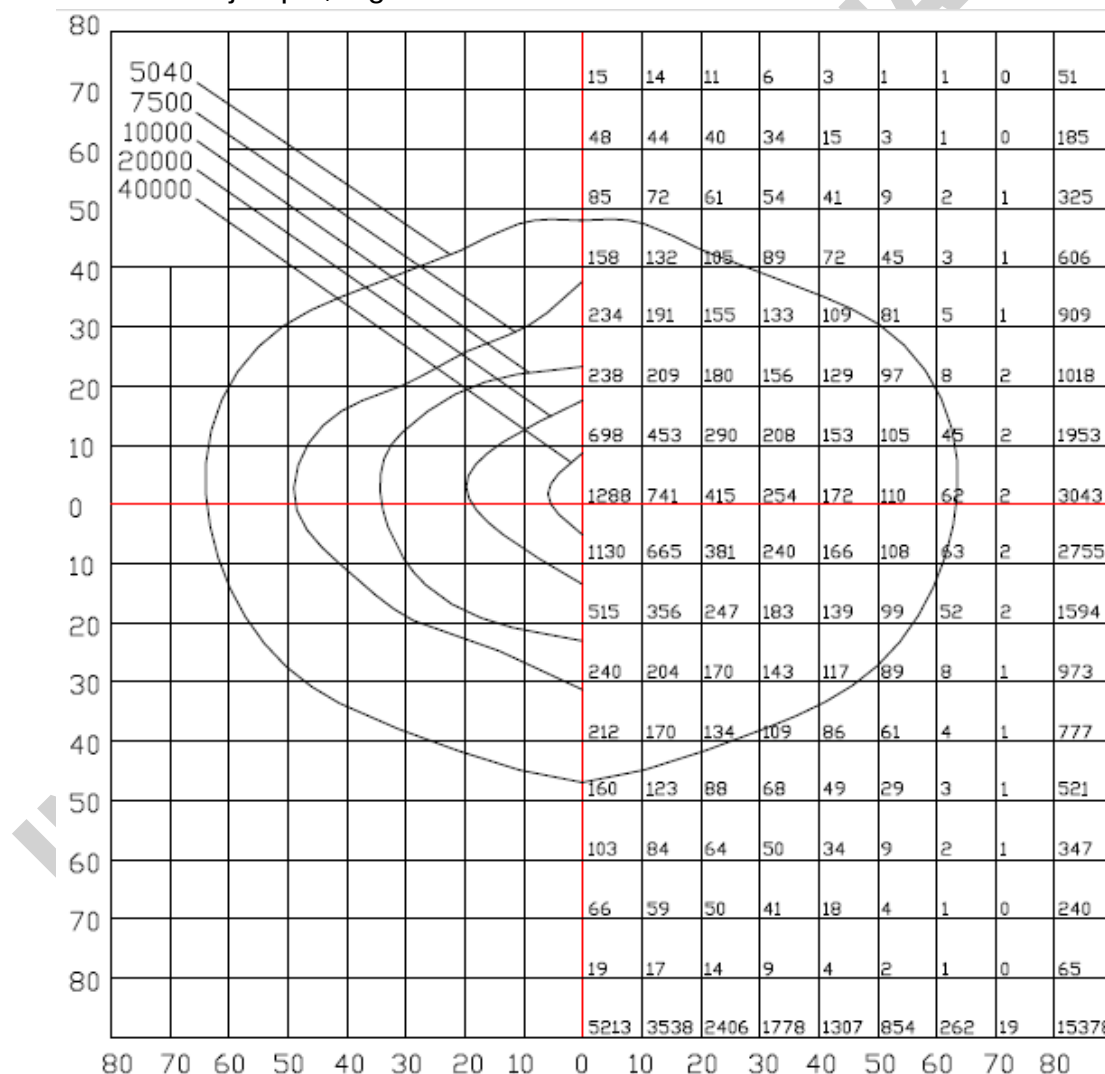


FIGURA XX: REPORTE FOTOMÉTRICO DONDE SE OBSERVA EL DIAGRAMA ISOCANDELA Y EL FLUJO LUMINOSO.

El diagrama Isocandela es una característica fija de la luminaria, independientemente de la distancia o altura de montaje. Con estos diagramas se puede calcular la iluminación en un determinado punto de la superficie que se desea iluminar, por medio de la Ley de Iluminación o del Coseno. El cálculo se reduce en tomar de la curva de Isocandela la lectura de la intensidad luminosa en el punto que se trate de la superficie, y dividir este valor por el cuadrado de la distancia de la fuente al punto en metros y multiplicarla por la función trigonométrica apropiada si la superficie no es perpendicular a la dirección de los rayos de la que salen de la fuente.

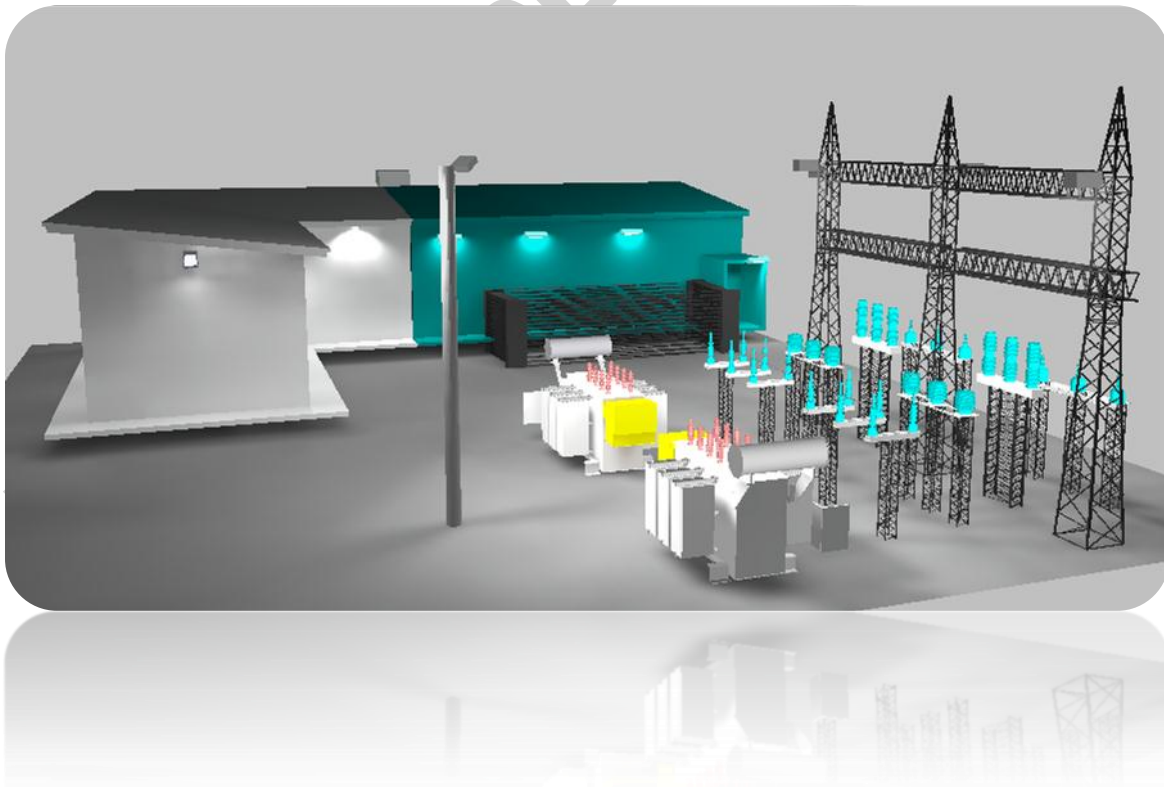
Finalmente, los diagramas Isocandela se utilizan con más frecuencia en la representación del haz de focos y proyectores.

CAPITULO II: PARÁMETROS PARA ESTABLECER EL ALUMBRADO EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Las subestaciones eléctricas se dividen en dos áreas principales, estas son interiores y exteriores.

En la siguiente tabla se muestran las actividades y el tipo de iluminación que requiere cada una.

TABLA 2.- CARACTERÍSTICAS PARA EL ALUMBRADO INTERIOR Y EXTERIOR



ÁREAS		ACTIVIDAD	TIPO DE ILUMINACIÓN	SISTEMA DE ILUMINACIÓN	FINALIDAD
INTERIORES	Sala de tableros	Operación de conmutadores para disparar o cerrar interruptores, apertura o cierre de cuchillas desconectadoras, registro de lecturas, etc.	Horizontal	Directo	Proporcionar el nivel de iluminación requerido en el frente de los tableros(*)
	Sala de baterías	revisiones y mantenimiento de los acumuladores, los cuales suministran energía al equipo de corriente directa	Horizontal	Directo	Monitorear el nivel de liquido en las baterías y sus conexiones(*)
	Bodega	Almacenamiento de equipo y refacciones pequeñas	Horizontal	Directo	Sustraer material y evitar accidentes con el equipo almacenado(*)
	Oficina	Lectura, revisión de planos, archivar documentos y correspondencia	Horizontal	Directo	Evitar la fatiga visual y el deslumbramiento con los objetos, brindando un ambiente agradable de trabajo. (*)
	Pasillo	Transito de personal	Horizontal	Directo	Evitar obstrucciones con objetos y/o el personal(*)
	Sanitario	Aseo personal	Horizontal	Directo	Mantener limpio el lugar y evitar caídas(*)
	Caseta de vigilancia	Escritura, lectura, comunicación verbal y teléfono	Horizontal	Directo	Recepción de visitantes y personal(*)
EXTERIORES	Zona de equipo primario	Observación de indicadores de nivel, de presión en interruptores, de gabinetes, operación de cuchillas desconectadoras, de equipo contra incendio	Vertical	-----	Supervisar el equipo instalado y evitar accidentes(-)
	Zona de transformadores	Lectura en las carátulas, en los indicadores de nivel	Vertical	-----	Supervisar el equipo instalado y evitar accidentes(-)
	Área perimetral	Transito y vigilancia en la zona	Vertical	-----	Identificar la subestación en la zona(-)

(*) Ver tabla 6

(-) Ver tabla 5.

2. TIPOS DE ILUMINACIÓN

Tomando en cuenta que no todas las áreas necesitan el mismo tipo de iluminación, se pueden clasificar las áreas a iluminar de la siguiente manera:

a) Permanente.

Son las zonas que por razones de seguridad se requiere que estén permanentemente iluminadas en horas de obscuridad. Se caracterizan por identificar, más que iluminar, ciertos puntos de la subestación. Su carácter de uso permanente obliga a hacer uso de lámparas apropiadas desde el punto de vista de eficiencia y ahorro de energía.

b) Transito e Inspección.

Corresponde a aquellas zonas donde la iluminación se justifica sólo cuando el personal las acceda, evitándose el desperdicio de energía correspondiente. En la tabla 2. Se presenta la clasificación de estas áreas según el tipo de función.

TABLA 3.- ORGANIZACION DE ÁREAS POR FUNCIONES DE ILUMINACIÓN.

FUNCION	AREA
1. Iluminación Permanente	a) Acceso a la subestación b) Puntos límites en áreas de equipo (esquinas) c) Área exterior casetas (esquinas)
2. Iluminación de Tránsito	a) Acceso a la caseta de control b) Zona de equipos c) Todas las áreas interiores

3. ALUMBRADO NORMAL Y DE EMERGENCIA

El alumbrado normal tiene como objetivo, proveer a los diferentes locales y zonas de una subestación, una iluminación suficiente para llevar a cabo satisfactoriamente todas las funciones y operaciones necesarias, con un mínimo de inconvenientes. En el caso de las zonas exteriores, dicho alumbrado substituirá durante la noche a luz natural o la complementará en horas en que la luz natural no sea suficiente.

Durante una suspensión del alumbrado normal por cualquier causa, el alumbrado de emergencia tiene la finalidad de iluminar locales o zonas esenciales de la subestación, donde se lleven a cabo operaciones que puedan ser requeridas o donde se necesite hacer observaciones importantes durante una emergencia, como pasillos y demás zonas de tránsito.

4. ILUMINACIÓN INTERIOR Y EXTERIOR

Para el diseño del alumbrado a una subestación eléctrica, se deben tomar en cuenta las actividades que se realizarán en ella, ya que el alumbrado de los locales y zonas que integran una subestación, presentan diferentes condiciones y problemas.

Por lo tanto, se consideran dos tipos de iluminación:

- Iluminación Interior
- Iluminación Exterior

4.1.1. SALA DE TABLEROS

4.1.1. Sala de tableros.

La iluminación en la sala de tableros es importante y se ha incrementado debido a la tendencia de operación centralizada, es decir, desde un local controlar todo el equipo de la subestación, especialmente cuando ella es grande.

No es suficiente con tener un buen nivel de iluminación sobre los tableros, sino que además deberán cumplirse otros requisitos, tales como visibilidad clara de las escalas de los instrumentos, evitar reflejos y sombras inconvenientes, iluminación uniforme sobre los tableros sin disturbios por contrastes de brillantez, y menor deslumbramiento en toda la iluminación del local.

Algunos inconvenientes que se tienen para iluminar la sala de tableros son:

- Contrastes o diferencias de brillantez en superficies circundantes.
- Sombras en el campo visual del observador.
- Deslumbramiento reflejado por superficies metálicas o muy pulidas, es decir, el brillo producido por la reflexión especular.

Los efectos que producen estos problemas son:

- Disminución de la percepción visual.
- Los efectos desagradables de la vista
- Fatiga visual y, por lo tanto, menor rendimiento en el trabajo o tarea encomendada.

Los problemas de iluminación antes mencionados, varían en relación con los tipos, alturas y configuraciones de los tableros, proporciones del cuarto, posición del personal al efectuar lecturas, medidas de instrumentos, color, tipo y tamaño de las escalas de los mismos y también brillantez de los colores de acabado, localización de puertas y ventanas, etc.

Los problemas de iluminación en la sala de tableros, se pueden resolver tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Los contrastes de brillantez inadecuados, son eliminados pintando todas las superficies con colores claros, considerando superficies lisas y dirigiendo la

mayor cantidad de luz a los planos de trabajo, evitando de esta forma acabados de alta reflectancia.

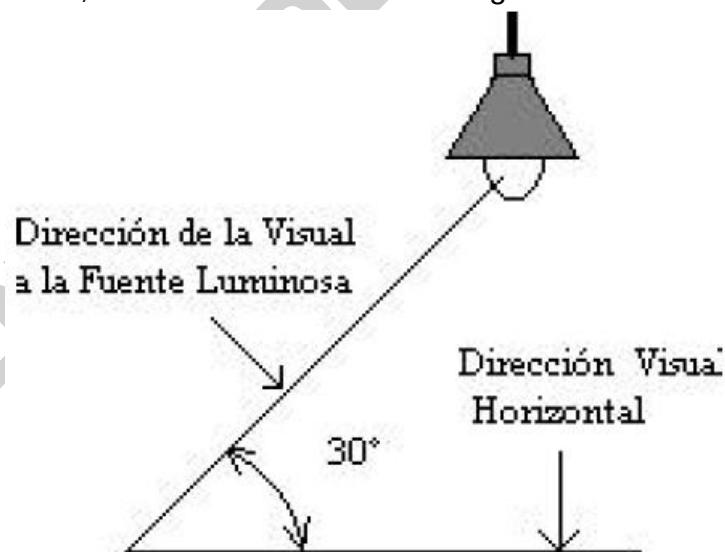
El acabado de cualquier mueble en el cuarto de control, deberá tener factores de reflexión que no permitan el deslumbramiento al observador, y deberán tener colores similares a los del cuarto.

Se pueden considerar adecuadas los siguientes factores de reflexión:

TABLA 4.- FACTORES DE REFLEXIÓN

CIELO	80%
MUROS	50%
TABLEROS	50%
ESCRITORIOS	35%
PISO	30%

- b) Para eliminar el deslumbramiento directo desde las fuentes de luz en el campo de visión, estas deben colocarse por encima de la línea normal de visión es decir, por encima del ángulo límite; el cual se define como el ángulo formado por la dirección visual horizontal y la dirección de la visual al foco luminoso; para evitar el deslumbramiento, este ángulo debe ser superior a 30° , tal como se muestra en la figura XXI.



Concepto de Ángulo Límite para evitar el efecto de deslumbramiento

FIGURA XXI.-CONCEPTO DE ÁNGULO LÍMITE PARA EVITAR EL EFECTO DE DESLUMBRAMIENTO.

Las fuentes de luz de luminancia elevada, que estén dentro de ángulos inferiores a 30° deben protegerse mediante globos difusores, reflectores, controlantes etc., es decir, con algún dispositivo que reduzca su luminancia.

- c) Para eliminar el deslumbramiento reflejado, se deben situar fuentes luminosas de tal manera que los rayos reflejados no lleguen a los ojos del observador, con objeto de que la imagen reflejada quede fuera de su campo visual.

Cualquier fuente de luz para iluminación de tableros, puede ser reflejada en las carátulas de cristal de los instrumentos. En la siguiente figura (XXII) se muestran con mejor claridad los problemas mencionados:

- X.- zona de seguridad dentro de la cual puede localizarse la fuente de luz
- Y.- zona de inseguridad dentro de la cual no debe localizarse la fuente
- A.- Localización recomendable
- B.- localización de la fuente de luz con la que puede tenerse sombra
- C.- localización de la fuente de luz que causa reflexión en el cristal

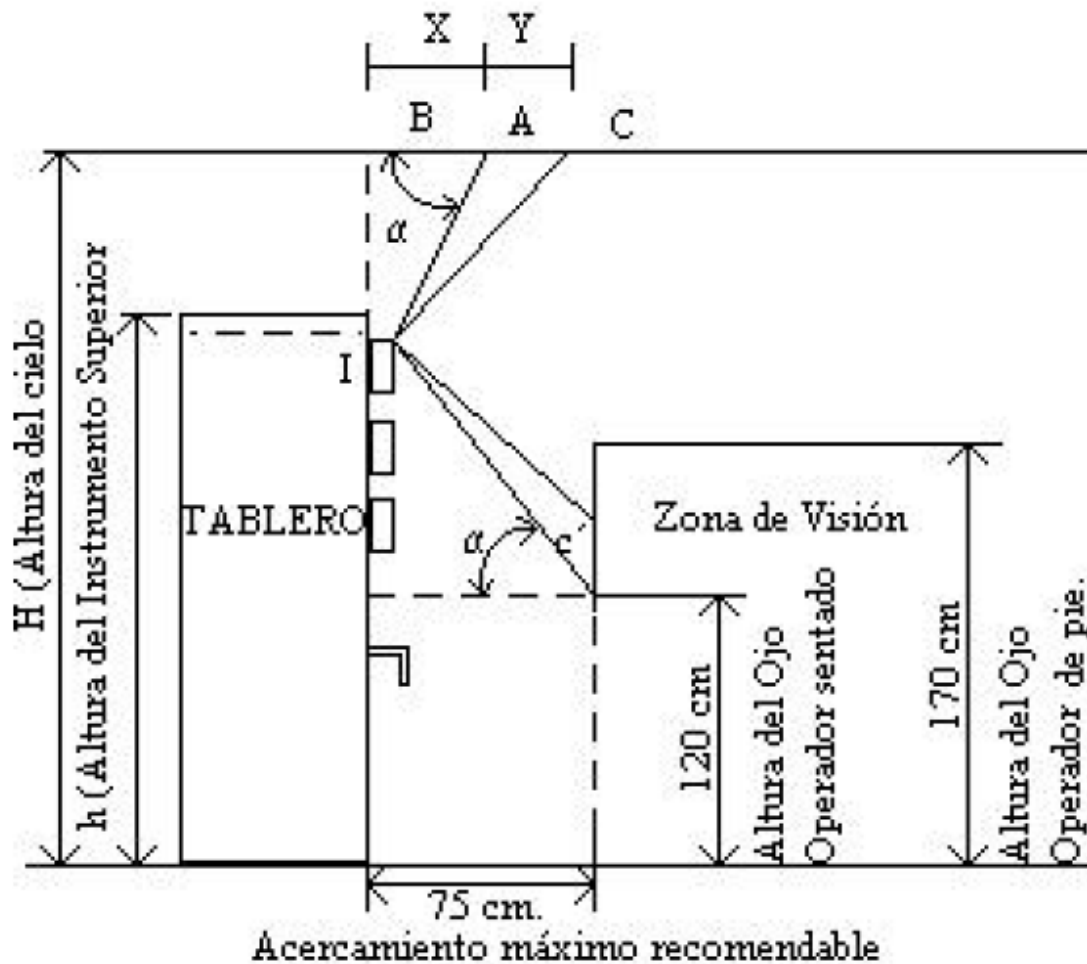


FIGURA XXII

En esta figura se consideran tres posiciones de la fuente de luz, ocupando los puntos "A", "B" y "C". El punto 1 es el punto más alto del instrumento superior. Se considera una zona de visión limitada en la parte inferior, a una altura de 120 cm, (que se considera nivel medio del ojo del operador, cuando este está sentado), en la parte superior a una altura de 170 cm (que se considera nivel máximo del ojo del operador, cuando este está de pie), y cerca del tablero con una proximidad máxima de 75 cm. Entonces debe evitarse que haya luz reflejada directamente de los instrumentos de la zona de visión.

Se puede observar que para que no haya reflexión de los instrumentos sobre la zona de visión, el ángulo de incidencia alfa deberá ser mayor que el ángulo alfa formado por la línea de visión A' y la perpendicular al tablero, desde A. Cuando se cumple esta condición, no hay problema de reflejos en los instrumentos al efectuar lecturas directamente desde el frente del tablero, así las unidades de alumbrado pueden localizarse dentro de la zona de seguridad "X".

Otro problema se presenta al colocar en el punto "B" unidades de alumbrado de curva fotométrica asimétrica (es decir, de haz luminoso oblicuo), en que solamente iluminarán una parte del frente del tablero.

Para solucionar este problema, se ha encontrado un método por resultados experimentales, con el cual se pueda calcular la distancia adecuada en donde deberán colocarse las unidades de alumbrado de 15° a 20° este método se describe a continuación.

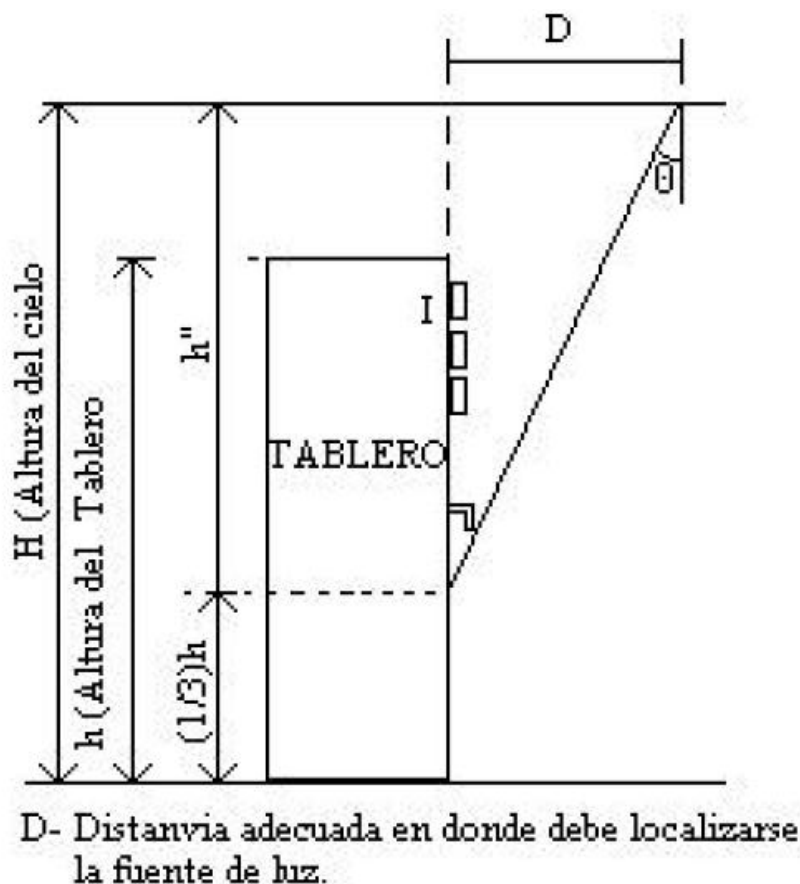
- □ Primeramente, de la figura XXIII, el ángulo θ es la dirección que tiene el haz luminoso de la luminaria seleccionada (entre 15° a 20°) para iluminar el frente del tablero. El haz luminoso se dirigirá al tablero hasta una altura de $1/3h$ del nivel del piso terminado, por lo que la distancia adecuada "D" en donde deberá colocarse la fuente de luz es:

$$D/h'' = \tan \theta$$

Dónde: $D = \tan \theta$

$$h'' = H - 1/3h$$

Con la colocación de las unidades de alumbrado, a esta distancia, además de quedar perfectamente iluminado el frente del tablero, se eliminará también el deslumbramiento reflejado por los cristales de los instrumentos, ya que la distancia "D" queda dentro de la Zona de seguridad "X".

**FIGURA XXIII**

- d) Sobre los escritorios, es conveniente proporcionar un nivel de iluminación aproximadamente igual al nivel sobre la cara vertical de los tableros, evitando en lo posible grandes diferencias de brillantez entre los instrumentos y los objetos de trabajo sobre el escritorio.

Para los fines de iluminación de las salas de tableros de las subestaciones, se prefiere el sistema de iluminación directa con la finalidad de dirigir toda la luz hacia los planos de trabajo y reducir a un mínimo la potencia, para proporcionar la iluminación requerida.

El sistema de iluminación directa en las salas de tableros, puede ser proporcionado de varias formas. Colocando las unidades en el techo o colocándolas en una ménsula o en la parte superior del tablero.

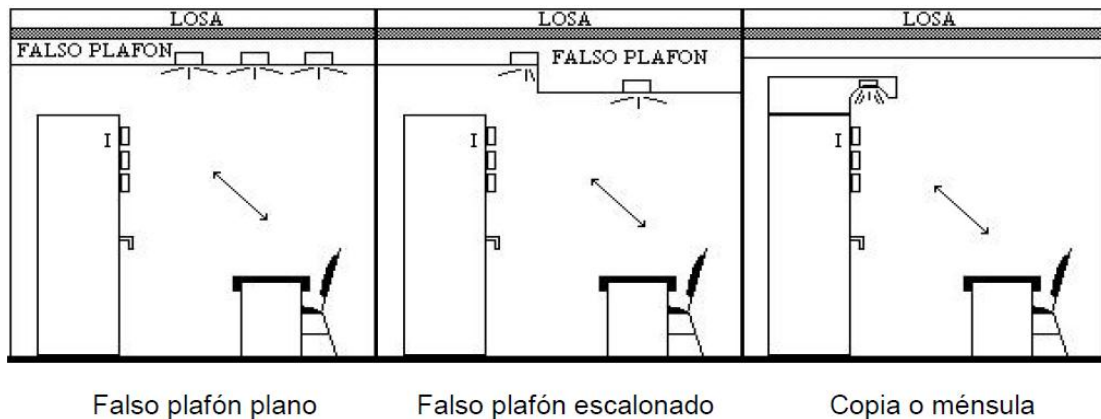


FIGURA XXIV: EJEMPLOS DE ILUMINACIÓN DIRECTA

Cuando las unidades son instaladas en el techo, es preferible utilizar unidades del tipo de empotrar, instalando para ello un plafón falso. También puede instalarse un cielo plano escalonado, a fin de que las unidades de alumbrado del tablero queden escondidas y no las pueda percibir directamente el operador.

Cuando las unidades son instaladas en una ménsula también se utilizan unidades del tipo de empotrar.

Con el sistema de iluminación directa, se obtiene la ventaja de proporcionar con cierta facilidad el nivel de iluminación promedio requerida en la cara del tablero, y el nivel requerido en el plano horizontal.

4.1.2. Áreas de bajo montaje.

El término “bajo montaje” se utiliza generalmente para denominar áreas donde la altura de montaje del equipo de alumbrado es de 4 m ó menor, medida sobre el nivel del piso.

Dentro de esta clasificación se pueden considerar todos los locales interiores de la subestación; aunque la sala de tableros se trata en un punto aparte, ya que es el único local que tiene algunos requisitos de iluminación diferentes a los demás locales.

En estas áreas tiene mayor prioridad la iluminación en el plano horizontal que en el vertical.

Algunos inconvenientes que se tienen para iluminar estas áreas de bajo montaje son:

- Contraste o diferencias de brillantez en superficies circundantes
- Sombras en el campo de visión del observador
- Deslumbramiento directo desde las fuentes de luz en el campo de la visión de observador y deslumbramiento reflejado por superficies metálicas o muy pulidas.

La iluminación en la sala de tableros es principalmente en el plano vertical y en estas áreas de bajo montaje en el plano horizontal.

Para solucionar los problemas de iluminación de las áreas de bajo montaje deberán considerarse los siguientes requisitos:

- a) En estas áreas se prefiere el sistema de iluminación directa, con objeto de dirigir toda la luz hacia los planos de trabajo y reducir a un mínimo la potencia para proporcionar la iluminación requerida.
- b) Para eliminar el deslumbramiento reflejado, se deben situar las fuentes luminosas de tal manera que los rayos reflejados no lleguen a los ojos del observador y la imagen reflejada quede fuera de su campo visual.
- c) Para evitar sombras en el campo de visión del observador, se deberá realizar una localización adecuada de las unidades de alumbrado para una mejor distribución de la luz.

4.2.- ILUMINACIÓN EXTERIOR

4.2.1. Zonas de equipo instalado y zonas de paso.

En general el alumbrado de la zona de equipo instalado, consiste en iluminar el equipo eléctrico como cuchillas desconectadoras, interruptores, transformadores, etc. El alumbrado en las zonas de paso, consiste en proveer una iluminación general alrededor de la subestación y demás zonas de tránsito normal, con la finalidad de permitir al personal transitar con seguridad por la subestación y percibir los diferentes aparatos e indicadores cercanos al nivel del piso.

Es recomendable tener la iluminación dirigida hacia abajo, con el objeto de iluminar simultáneamente el equipo, las estructuras y las zonas de tránsito normal, por lo que normalmente las unidades de alumbrado se instalan en las estructuras a una altura de 7 a 12 m.

En general se puede considerar que el sistema de alumbrado para las zonas de paso y equipo instalado, deberán reunir las siguientes características:

- Deberán proveer una alta componente de luz directa sobre los elementos vitales de la estructura.
- No deberán producir deslumbramiento en las zonas normalmente utilizadas por los operadores, para observar u operar el equipo en el área.
- Las sombras muy marcadas y zonas oscuras, deberán ser accesibles para un fácil cambio de lámparas y no estarán colocadas muy cerca del equipo eléctrico energizado, a fin de no presentar peligro para el personal de mantenimiento.

El sistema de iluminación empleado en estas zonas es el directo tanto para iluminar el equipo como zonas de paso. Un ejemplo de iluminación de estas zonas se muestra en la siguiente figura:

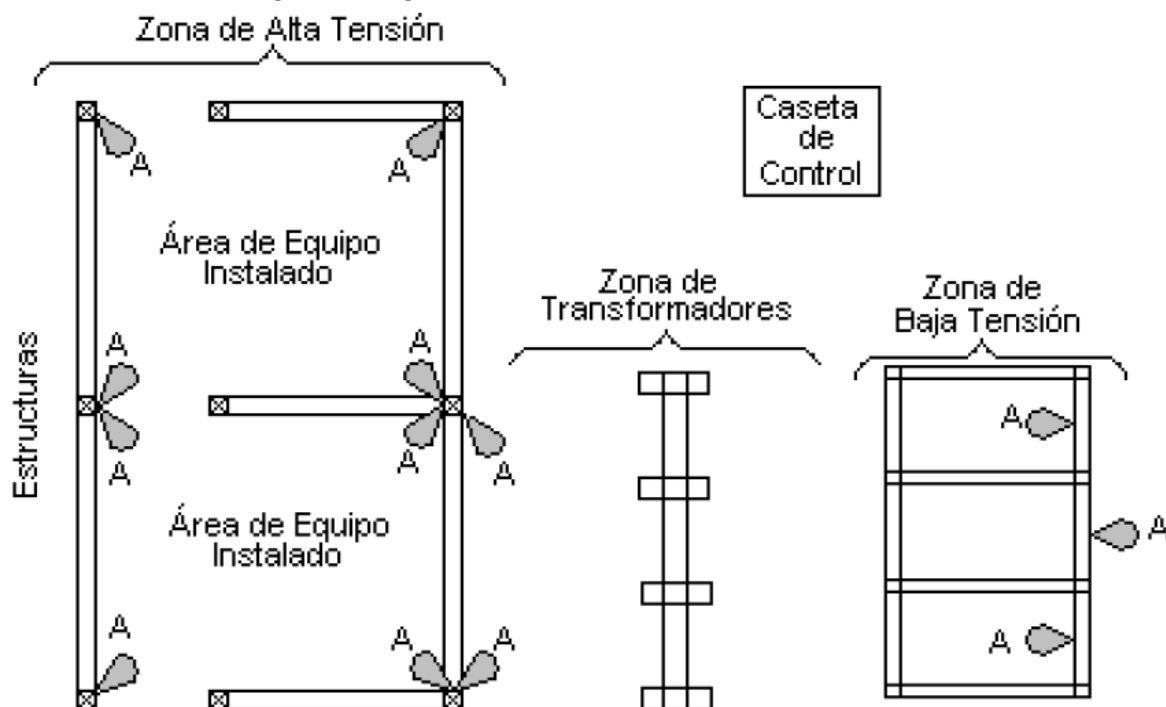
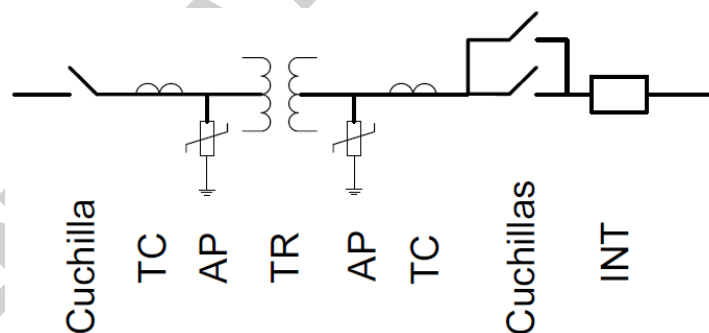


FIGURA XXV: EJEMPLO DE ALUMBRADO EXTERIOR DE UNA SUBESTACIÓN (VISTA PLANTA). NOTA: EL SIGNIFICADO DE LAS LETRAS SE INDICA EN LA FIGURA XXII



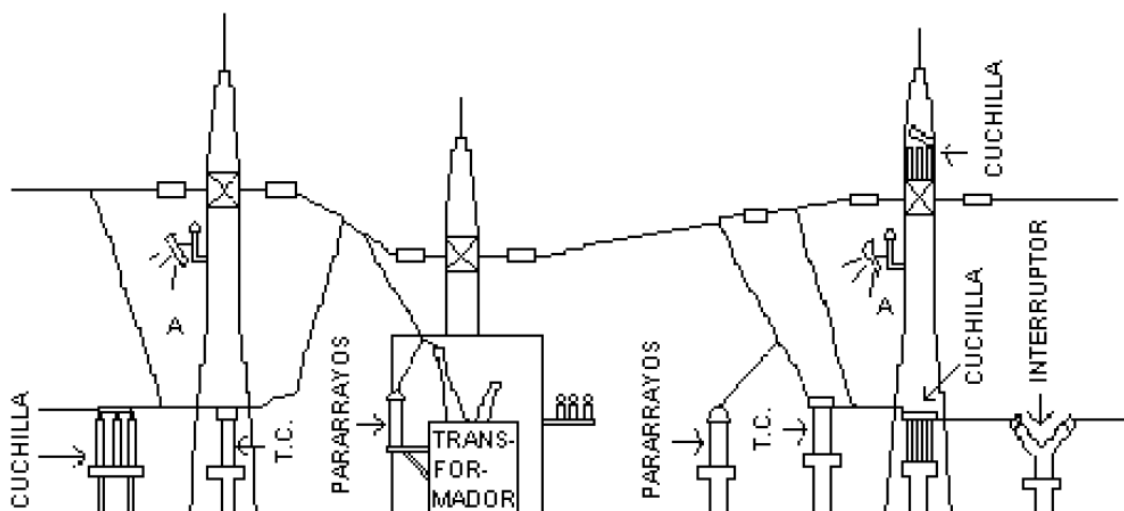


FIGURA XXVI: EJEMPLO DE ALUMBRADO EXTERIOR DE UNA SUBESTACIÓN (DIAGRAMA UNIFILAR Y VISTA EN CORTE).

A.- Reflector para alumbrado normal y de emergencia con distribución simétrica (montaje en estructura).

4.2.2. Pasillos

Generalmente es necesario iluminar los pasillos alrededor de la caseta de control, solamente para transitar o hacer una inspección de algún equipo que ahí se encuentre instalado. También se iluminarán la entrada de la caseta y la parte superior, con lo cual se tendrá iluminado todo el contorno.

El sistema de iluminación en estas zonas de la subestación es el directo. Las unidades de alumbrado pueden estar montadas sobre el mismo edificio de la caseta de control, a una altura de 3m aproximadamente, para la iluminación del control de la misma.

5. NIVELES DE ILUMINACIÓN

Como hemos visto anteriormente, cada área de la subestación eléctrica requiere diferentes tipos y niveles de iluminación, los cuales dependerán del trabajo o tareas que se requieran efectuar en cada lugar.

El nivel de iluminación necesario para conseguir una visión eficaz, rápida y confortable de la tarea encomendada, depende de cierto número de factores como son:

- Magnitud de los detalles, de los objetos que se trata de discernir
- Distancia de los objetos al ojo del observador

- Factores de reflexión de los objetos observados
- Tiempo empleado en la observación de los objetos
- Rapidez de movimiento de los objetos observados
- Condiciones de los alrededores

Según la importancia de estos factores, se han obtenido distintos niveles de iluminación, mediante investigaciones científicas, para los distintos tipos de locales y las diferentes tareas visuales.

En general, es común apegarse a tablas que recomiendan los niveles adecuados. Los valores mínimos recomendados para subestaciones eléctricas de acuerdo con el CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD-SUMINISTRO 2011 se presentan en las tablas 5 y 6.

TABLA 5.- NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS EN EXTERIORES

AREAS EXTERIORES	NIVEL (LUX)
Área de equipo (Bahías) I	
Horizontal General	22
Vertical Especifico (En I.P o seccionadores)	22
Desembarcadero (Zona de Carga y Descarga)	55
Pasillos C.E. (Exterior), S.E. (Exterior)	22
Cerco	2.2

TABLA 6.- NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS EN INTERIORES

AREAS INTERIORES	NIVEL (LUX)
Frente Vertical del tablero (1.22m sobre nivel piso, frente al operador):	
Sala de despacho de la carga del sistema	270

Accesorios, áreas de Batería, Bombas de alimentación de calderas, tanques, compresoras, áreas de medición.	110
Sala de Baterías	200
Tablero de banco (Nivel horizontal)	270
Tablero de I.P.	110
Sala de equipo telefónico	110
Entrada para peatones	110
Laboratorio C.H-S.E.	270

6. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES LUMINOSAS

6.1. LUMINARIAS

La selección y distribución de las luminarias de una subestación eléctrica de potencia, se efectúan según sus necesidades y condiciones.

Los factores más importantes que ayudan a seleccionar la luminaria son:

- Área de instalación.** Depende de las características del lugar donde se instalaran las unidades, ya sea interior o exterior.
- Tipo de Diseño.** En los locales interiores, se requieren unidades de diseño normal.
- Tipo de Montaje.** Generalmente en los locales interiores donde exista plafón falso (por ejemplo, en la sala de tableros) se instalarán unidades de tipo empotrar.

Para el alumbrado de las zonas de paso y de equipo instalado, las luminarias generalmente son montadas en las estructuras, por medio de ménsulas, dirigiendo los rayos luminosos hacia abajo.

- Altura de Montaje.** Ya sea para alto montaje ó para montaje medio ó bajo. En los locales interiores se instalarán unidades de bajo montaje a alturas entre 3.50 m aproximadamente. En las zonas de paso y equipo instalado de la subestación, normalmente las unidades se montan a alturas de 7 a 12m aproximadamente.
- Tipo de Lámpara de la Unidad.** Las lámparas son los dispositivos encargados de transformar la energía eléctrica en luz artificial. En el mercado existe una amplia variedad de estas lámparas. Las que interesan

para el alumbrado en subestaciones eléctricas de potencia, se pueden clasificar en 3 grandes grupos:

6.1.1. Incandescentes

Son lámparas con filamento que proporcionan luz al hacer pasar a través de este una corriente eléctrica hasta que se alcanza la incandescencia.

6.1.2. Fluorescentes

Son lámparas de descarga de baja intensidad que consisten de un tubo recubierto en su parte interna con un material fluorescente llamado fósforo; el tubo está lleno de una mezcla de argón y neón, o argón solamente, y una pequeña cantidad de mercurio. Al aplicar una diferencia de potencial a los electrodos en los extremos del tubo, se excitan los átomos de mercurio, los cuales a su vez excitan el fósforo en la pared interior produciéndose la luz artificial.

6.1.3. Descarga de alta intensidad.

Son lámparas que producen luz a partir de una corriente que pasa a través de un gas o vapor sometido a presión. Estas lámparas se pueden subdividir a su vez en:

Vapor de Mercurio

Las lámparas de vapor de mercurio de alta presión consisten en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible.

En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Los modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales.

Aditivos metálicos

Las de aditivos metálicos también conocidas como lámparas de haluro metálico o lámparas de halogenuros metálicos, son lámparas de descarga de alta presión, del grupo de las lámparas llamadas HID (Hight Intensity Discharge). Son generalmente de alta potencia y con una buena reproducción de colores, además de la luz ultravioleta

Es una lámpara de descarga eléctrica en la que la luz se produce por la radiación de una mezcla excitada de un vapor metálico (Hg) y los productos de la disociación de halogenuros.

La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V).

Vapor de sodio

La lámpara de vapor de sodio es un tipo de lámpara de descarga de gas que usa vapor de sodio para producir luz. Son una de las fuentes de iluminación más eficientes, ya que generan gran cantidad de lúmenes por volt.

Lámparas de vapor de sodio a baja presión

La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por el contrario, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior.

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera

se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

6.1.4. Leds

Las lámparas e iluminación con leds son lámparas de bajo consumo de electricidad (Ahorradoras) de 1 watt a 1.8 watt con una vida útil de 5,000 horas para las lámparas de leds blancas y 50,000 a 100,000 horas para otros colores

Las lámparas no contienen plomo, ni mercurio. Por lo que no hay contaminación ambiental. La eficiencia de la iluminación con leds en las condiciones actuales es mayor de 80 lm/w

El uso de leds en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización de tráfico) es moderado y es previsible que se incremente en el futuro, ya que sus prestaciones son superiores a las de la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con leds presenta indudables ventajas: fiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, mejor visión ante diversas circunstancias de iluminación, menor disipación de energía, menor riesgo para el medio ambiente, capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, respuesta rápida, etc. Asimismo, con leds se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado, a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que tienen filtros para lograr un efecto similar (lo que supone una reducción de su eficiencia energética). Cabe destacar también que diversas pruebas realizadas por importantes empresas y organismos han concluido que el ahorro energético varía entre un 70% y 80% respecto a la iluminación tradicional que se utiliza hasta ahora.

Los leds de Luz Blanca son uno de los desarrollos más recientes y pueden considerarse como un intento muy bien fundamentado para sustituir las bombillas actuales (lámparas incandescentes) por dispositivos mucho más ventajosos. En la actualidad se dispone de tecnología que consume el 92% menos que las bombillas incandescentes de uso doméstico común y un 30% menos que la mayoría de las lámparas fluorescentes; además, estos leds pueden durar hasta 20 años y suponer un 200% menos de costes totales de propiedad si se comparan con las bombillas o tubos fluorescentes convencionales.

6.1.5. Inducción magnética

Las lámparas de inducción usan una bobina de inducción sin filamentos y una antena acopladora, la cual consiste en tecnología de aplicar una descarga de frecuencia para proveer soluciones de iluminación.

El centro de la lámpara es la bobina de inducción a la cual le provee potencia un generador de alta frecuencia. El ensamble de vidrio circundante contiene un material electrón-Ion plasma y esta relleno con un gas inerte. La porción interior del vidrio está recubierta con un recubrimiento de fósforo el cual es similar al que se encuentra en las lámparas fluorescentes. La antena transmite la energía generada por el primario de la bobina de un sistema de inducción al gas que se encuentra dentro de la lámpara, por lo cual se crea una radiación ultravioleta, la cual es luego transformada a fuentes visibles de luz por medio del recubrimiento de fósforo en la superficie de vidrio.

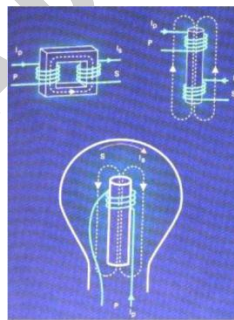


FIGURA XXVII: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA LÁMPARA DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

El circuito electrónico:

- ✓ Elimina los parpadeos.
- ✓ Encendido de la lámpara inmediato.
- ✓ Produce todo su flujo desde el primer instante.

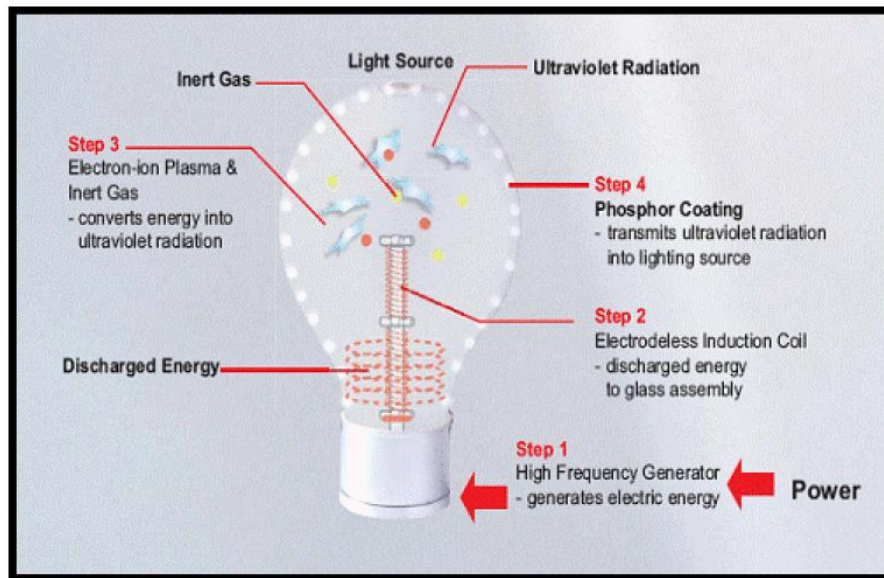


FIGURA XXVIII: COMPONENTES DE UNA LÁMPARA DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

- ✓ 100,000 hrs. de vida útil
- ✓ El tiempo de encendido, reencendido es instantáneo.
- ✓ No necesita mantenimiento ni cambios de foco ni balastro, no utiliza balastro.
- ✓ No tiene pérdidas de energía.
- ✓ El índice de rendimiento de color es mejor con esta tecnología.
- ✓ No utiliza gases a presión ni tóxicos.
- ✓ Protección contra variaciones de voltaje que evita cualquier daño a luminarias.
- ✓ Mejor intensidad de la luz o mejor nivel de luxes.
- ✓ La depreciación de la luz es mucho menor

Para el alumbrado normal de las zonas de paso, equipo instalado, caminos de acceso y pasillos alrededor de la caseta de control, se prefieren las lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Estas unidades permiten un espaciamiento entre ellas de unas 6 veces la altura de montaje.

Existen unidades que una vez montadas se pueden girar a fin de dirigir la máxima iluminación sobre el equipo importante (Proyectores)

En la tabla 7 se muestra un comparativo entre las características de las lámparas descritas anteriormente:

TABLA 7.- CARACTERÍSTICAS DE LAS LUMINARIAS UTILIZADAS EN UNA SUBESTACIÓN.

Tipo de Lámpara	Potencia (Watts)	Eficiencia (Lumen/Watt)	Eficiencia relativa* (%)	Lúmenes Iniciales	Depreciación** (%)	Vida Aproximada (Horas/días)
Incandescente	25-500	10.2-17.2	27-28.5	255-8600	90-90.5	750-1000
Fluorescente	17-86	63-84	149-170	1400-8200	79	1800-30000
Vapor de Mercurio	100-400	37-562	100-100	3700-22500	46-54	16000
Vapor de Sodio Alta Presión	70-400	83-125	220-250	5800-50000	72	24000
Aditivos Metálicos	175-1000	80-110	200-175	14000-110000	48-71	10000-20000

*La eficiencia relativa se entiende como la obtenida por una unidad productiva con respecto a la conseguida por otras, en la tabla 6 se toma como referencia la lámpara de vapor de mercurio.

** Factor que representa una disminución en la luz reflejada debido a la acumulación de suciedad en la superficie de la fuente emisora, expresado en porcentaje con relación a si es nueva o está limpia.

Con los puntos anteriores y de acuerdo con la información de las unidades existentes en el mercado, se pueden seleccionar la o las unidades que sean apropiadas para cada caso, buscando en general que las unidades tengan baja depreciación permanente, bajo costo inicial y bajo costo de mantenimiento.

TABLA 8.- TIPO DE LÁMPARA RECOMENDADO PARA CADA ÁREA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.

AREA	LAMPARA A UTILIZARSE
Equipos (bahías)	Vapor de sodio
Transformador	Vapor de sodio
Puerta de acceso	Vapor de sodio
Exterior de caseta de control	Vapor de sodio
Caminos entre caseta de control y bahías	Vapor de sodio
Sala de tableros	Fluorescente
Sala de Baterías(*)	Fluorescente
Oficinas	Fluorescente
Sanitarios	Fluorescente o Incandescente
Cocineta	Fluorescente
Vestíbulo	Fluorescente
Bodega	Fluorescente
Caseta de Vigilancia (Recepción)	Fluorescente

(*)En la sala de baterías, se instalarán unidades herméticas al vapor y a prueba de explosión.

En caso de que el espaciamiento obtenido, según el número de unidades y su distribución sea mayor que el máximo recomendado, se deben elegir lámparas de menor potencia o unidades para lámparas menos potentes (cuando la misma unidad no sea apropiada para lámparas menores) y ajustar los cálculos para que ese espaciamiento sea muy próximo al máximo permisible, ya que ello sería a base de gran número de unidades, lo cual representa un costo excesivo.

La distribución de las unidades se efectúa según las dimensiones del local o zona por iluminar y el número de unidades calculado.

La distribución más uniforme de la iluminación se obtiene mediante la colocación simétrica de las unidades de alumbrado necesarias para producir la luz deseada. Por lo cual generalmente se ha empleado el método que se muestra en la figura XXIX. La distancia exacta entre luminarias se determina dividiendo la longitud del local por el número de luminarias de una fila, dando una tolerancia de un medio de dicha distancia entre la pared y la primera unidad. De manera similar, la distancia entre filas es la anchura del local dividida por el número de filas, dejándose un medio de esta distancia entre la pared y la primera fila.

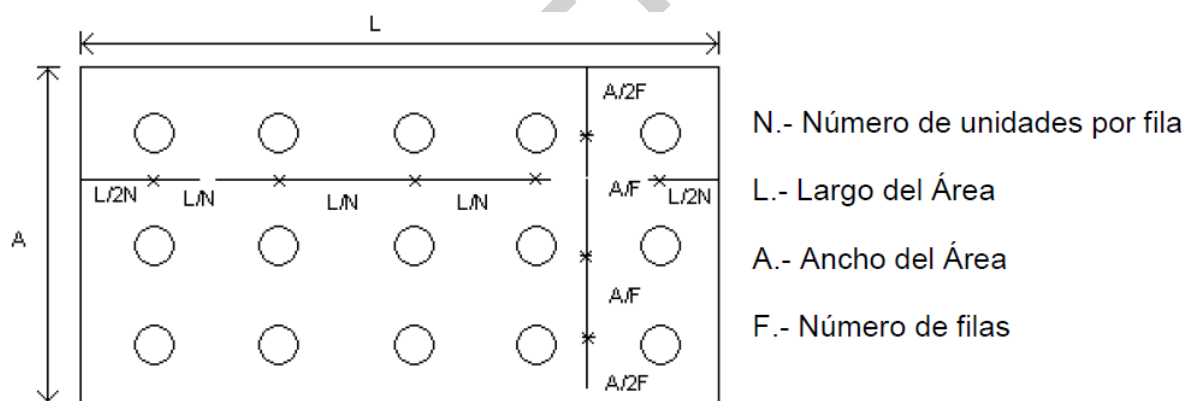


FIGURA XXIX

La distribución de las unidades de alumbrado en las zonas de paso y equipo instalado, se efectuará de acuerdo con la disposición del equipo de la misma, y de la forma y disposición de las estructuras, ya que generalmente se aprovechan éstas para montar las unidades. Esta localización de unidades se hará iluminando los pasillos de tránsito normal, así como a los diferentes equipos, especialmente aquellos donde se requieran efectuar algunas operaciones u observaciones.

Como adición a los puntos anteriores, la localización de las unidades de alumbrado debe ser tal, que presenten fácil acceso y sobre todo no quedar a partes vivas o equipo de alta tensión en movimiento que represente peligro, a fin

de poderles dar el adecuado mantenimiento con facilidad y proporcionar una máxima seguridad para el personal que efectúe esas labores.

Comúnmente, los cálculos de iluminación son en cierto modo un poco inexactos, debido a que es difícil definir con precisión todos los factores que intervienen en los mismos, y el resultado práctico obtenido puede diferir un poco de las metas a las que se deseaba llegar.

INGENIERIA DE ILUMINACIÓN

CONCLUSIONES

En este trabajo de Investigación se realizó el diseño del alumbrado interior y exterior para Subestaciones Eléctricas tipo Intemperie.

INTERIOR

- ❖ Para los cálculos de alumbrado se pueden emplear dos métodos distintos, el MÉTODO DE FLUJO TOTAL (lumen) y el MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL. Ambos métodos sirven para calcular el número de luminarias y presentar distintos resultados; para una oficina por ejemplo se puede utilizar el MÉTODO DE FLUJO TOTAL (lumen) y se obtiene una cierta cantidad necesarias para cubrir los Lm/m^2 requeridos en el área
- ❖ En las áreas que comprende el alumbrado interior se utilizan una iluminación directa, ya que con este sistema se obtiene la ventaja de proporcionar con cierta facilidad el nivel de iluminación promedio requerido en el frente de los tableros y el nivel requerido en el plano horizontal.
- ❖ Para el alumbrado interior se utilizaron lámparas fluorescentes T-8 marca PHILLIPS, estas tienen una vida útil de 20,000 a 30,000 horas, su tamaño es menor que la lámpara fluorescente T-12, su costo es accesible y aunque no son las más eficientes, cumplen con las necesidades requeridas en la caseta de control. Las lámparas fluorescentes T-12 son las primeras que salieron al mercado, son menos eficientes y más voluminosas con respecto a las lámparas fluorescentes T-5 y T-8; por otro lado las lámparas T-5 son el modelo más reciente que existe, poseen mayor eficiencia que las T-8, sin embargo su precio es muy elevado y requiere de accesorios especiales para su instalación.
- ❖ Dimos a conocer cuáles son los métodos de cálculo para una S.E. interior, basándonos siempre en el CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD y cumpliendo con los valores requeridos.

EXTERIOR

- ❖ El método recomendable para este tipo de iluminación exterior es el MÉTODO DE FLUJO LUMINOSO, el cual nos proporciona el número de proyectores a utilizar; un dato importante para obtener el número de Diseño de alumbrado a una Subestación Eléctrica tipo Intemperie.
- ❖ Las lámparas que se pueden utilizar para el alumbrado exterior son de vapor de sodio ya que no es necesaria una buena reproducción de colores. Generalmente se han utilizado lámparas de vapor de sodio debido a que las lámparas de vapor de mercurio son menos eficientes, su flujo luminoso es menor, tiene menor depreciación, su vida útil es menor y tiene un menor nivel de penetración en la niebla o bruma. Por otro lado las lámparas de aditivos metálicos tienen características similares a las de vapor de sodio, solo que su costo económico es más elevado y las unidades requeridas en este proyecto son más que las de vapor de sodio.

- ❖ Las instalaciones de las luminarias en los pórticos varían de 6 a 14 metros y quizá un poco más.
- ❖ Las unidades más utilizadas por la empresa ABB en los proyectos que desarrollan en la mayoría son de las empresas: JOSFEL y PHILLIPS, ya que estos fabricantes proporcionaron mayor información acerca de sus equipos.
- ❖ Una vez definido los conceptos y hechos cálculos a mano es importante tener una herramienta de trabajo que nos pueda ayudar en simulaciones en tiempo real y calcular y comparar resultados y siempre respetando los valores mínimos adecuados por el Código Nacional de Electricidad-Suministro 2011, para ello el programa es el DIALUX un programa que ayuda al ingeniero a presentar memorias de cálculo.
- ❖ Para verificar los resultados obtenidos ya sea manualmente y virtualmente es necesario acudir a la subestación eléctrica con el equipo de medición adecuado (luxómetro) y corroborar si los valores arrojados son los correctos.

BIBLIOGRAFIA

- Diseño de Subestaciones Eléctricas. José Raul Martínez, Facultad de Ingeniería UNAM, 2000 – 555 páginas.
- Diapositivas del Ing. Carlos Jesús Dorival Castillo/Universidad Nacional del Callao/Facultad de Ingeniería eléctrica y electrónica.
- El ABC del Alumbrado y las Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión. Gilberto Enriquez Harper, Ed. Limusa, 2006 – 381 páginas.
- Fundamentos sobre Ahorro de Energía. Juan José Soto Cruz, Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, 1996.
- <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitud.html>
- <http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint1.html>
- <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/ldesc2.html>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_emisor_de_luz
- Instalaciones Eléctricas. Marcelo Antonio Sobrevila. Alberto Luis Farina. Ed. Alsina, 2002, Buenos Aires Argentina, 347 páginas.
- Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometria. Jorge Chapa Carreón, Ed. Limusa, 1990 – 266 páginas.
- Sistemas de Unidades Físicas. José Luis Galán García, Ed. Reverte, 1987 – 325 páginas.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_emisor_de_luz
- <http://www.bing.com/images/search>
- http://www.gelighting.com/es/resources/learn_about_light/color_specifying.htm
- http://www.ucm.es/info/opticaf/OPT_ILUMINA/presenta/pdf/2%20TemperaturaColor.pdf
- <http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint1.html>
- <http://www.coelpuebla.com.mx/iluminacion/philips.pdf>