



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ILUMINACION GENERAL DEL AUDITORIO-CULTURAL
DEL MUNICIPIO DE TANGANCICUARO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTA

IGNACIO CÁRABEZ MORALES

ASESOR DE TESIS

ING. VÍCTOR QUINTERO ROJAS

MORELIA, MICH. MAYO DEL 2010



Agradecimientos

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que me a brindado a mí y varios profesionistas la oportunidad de desarrollarnos sin pedirnos prácticamente nada a cambio que no sea esfuerzo y dedicación.

A mis padres Ignacio Cárabez Jiménez y María Asunción Morales Valdez mi eterno agradecimiento por su apoyo incondicional, sus consejos, ya que hicieron los esfuerzos necesarios para si poder darme, la oportunidad de seguir adelante con mis estudios y que gracias a ellos y a Dios e logrado alcanzar la meta de ser un profesionista.

Al Ing. Víctor Quintero Rojas por aceptar ser mi asesor de tesis, por el apoyo, atenciones y conocimientos otorgados que me a brindado, muchas Gracias.

Dedicatoria

Para mi Papas Ignacio Cárabez J., M. Asunción Morales V. y Patricia Fabián L., que me dieron de su apoyo, para alcanzar mis metas de ser un hombre que siempre han deseado: “Un Profesionista”.

Resumen

En esta tesis se explica las leyes fundamentales de la luminotecnia para entender los funcionamientos los sistemas de iluminación, las diferentes tipos de lámparas existentes y sus características y aplicaciones, para poder así desarrollar los procedimientos, para el desarrollo de un proyecto de iluminación de interiores y así aplicarlos al AUDITORIO-CULTURAL, en el cual se utilizo el método de los lúmenes por ser de mayor facilidad, comprensión y aplicación para iluminar de manera uniforme todas las áreas que forma dicho AUDITORIO-CULTURAL y además se utilizo el método punto por punto, para iluminar de manera más exacto y uniforme lo que es el escenario.

Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Resumen	iv
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	xii
Lista de símbolos y abreviaturas	xiii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Justificación	5
1.4. Metodología	6
1.5. Contenido de la tesis	6
Capítulo 2. Sistemas de iluminación	7
2.1. Introducción	7
2.2. La luz	7
2.2.1. Características de la luz	8
2.2.2. Espectro electromagnético y espectro visible	8
2.2.3. Propiedades de la luz	10
2.3. Clasificación y características según la distribución luminosa	13
2.4. Magnitudes y unidades luminosas	15

Capítulo 3. Diferentes tipos de lámparas	26
3.1. Introducción	26
3.1.1. Fuentes luminosas	27
3.2. Lámparas incandescentes	27
3.3. Lámparas incandescentes halógenas	29
3.4. Lámparas infrarrojas	30
3.5. Lámparas fluorescentes	31
3.5.1. Lámparas compactas o de bajo consumo	34
3.6. Lámparas de vapor de mercurio	35
3.7. Lámparas de haluros metálicos	37
3.8. Lámparas de luz mixta	38
3.9. Lámparas de vapor de sodio de alta presión y baja presión	39
3.9.1. Lámpara de vapor de sodio de alta presión	40
3.9.2. Lámparas de vapor de sodio de baja presión	41
3.10. Elementos reflectores	43
3.11. Reflectores	44
3.11.1. Reflectores especulares	44
3.11.2. Geometría de los reflectores	46
3.11.3. Tipos de reflectores especulares	51
3.11.4. Tipos de reflectores según el flujo máximo emitido	54
3.11.5. Reflectores dispersores	55
3.11.6. Reflectores difusores	56
3.11.7. Reflector fresnel	57
3.11.8. Reflector par	57
3.11.9. Difusores	58

3.11.10. Filtro dichroico	58
3.11.11. Diabla o batería	59

Capítulo 4. Procedimientos y metodologías para el diseño de iluminación y aplicación al auditorio. 62

4.1. Introducción	62
4.1.1 Normatividad	64
4.2. Análisis del proyecto	64
4.3. Planificación básica	65
4.3.1. Planificación básica empleada en iluminación de interiores	65
4.3.1.1. Datos de entrada	66
4.3.1.2. Elección del sistema de alumbrado	66
4.3.1.3. Elección de las fuentes luminosas	68
4.4. Diseño detallado	70
4.4.1. Selección preliminar de la luminaria	70
4.4.2. Establecer el tipo y altura de montaje de las luminarias	71
4.4.2.1. Elección de la altura de suspensión de los aparatos de alumbrado	71
4.4.3. Distribución de los aparatos de alumbrado	72
4.4.4. Número mínimo de aparatos de alumbrado	75
4.4.5. Calculo del flujo luminoso total	78
4.4.6. Tablas para cálculo de proyecto de alumbrado de interior	85
4.5. Evaluación posterior	88
4.6. Aplicación de los procedimientos de diseño de iluminación	88

Capitulo 5. Conclusiones 121

Apéndice

A.1.	Factores de reflexión, absorción y transmisión	122
A.2.	Niveles de iluminación	124
A.3.	Determinación de los factores de utilización y depreciación	127
A.4.	Aplicaciones principales para cada tipo de lámpara	129
A.5.	Características de las lámparas	130
A.6.	Luminarias, reflector tipo Par 38 con su curva fotométrica	131
A.7.	Resultados que se obtuvieron de los cálculos para la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado, de las partes faltantes del Auditorio	133
A.8.	Equipos especiales para el control de la iluminación sobre el escenario	135
Referencias		138

Lista de figuras

1.1.	Localización de la población en el Estado a) 1.1	3
1.1.	Localización del terreno en el Municipio de Tangancícuaro b) 1.1	4
1.2.	Festival Internacional de Danza Michoacán 2010	5
2.1.	Espectro electromagnético 2.1	9
2.2.	Espectro luminoso 2.2	10
2.3.	Reflexión regular 2.3	11
2.4.	Reflexión difusa 2.4	11
2.5.	Reflexión mixta 2.5	11
2.6.	Refracción en el límite de entre dos medios 2.6	12
2.7.	Transmisión regular 2.7	12
2.8.	Transmisión difusa 2.8	12

2.9.	Transmisión mixta 2.9	13
2.10.	Concepto de flujo luminoso 2.10	16
2.11.	Concepto de intensidad luminosa 2.11	17
2.12.	Concepto de iluminancia 2.12	18
2.13.	Luminancia de una superficie 2.13	19
2.14.	Distribución de un flujo luminoso sobre distintas superficies 2.14	20
2.15.	Iluminación en un punto desde dos fuentes de luz con diferente ángulo de incidencia 2.15	21
2.16.	Iluminación normal, horizontal y vertical 2.16	23
3.1.	Clasificación general de las fuentes luminosas 3.1	26
3.2.	Lámpara incandescente y casquillos utilizados 3.2	27
3.3.	Tipos constructivos de lámparas incandescentes 3.3	29
3.4.	Lámparas halógenas o de cuarzo-yodo 3.4	30
3.5.	Funcionamiento de un tubo fluorescente 3.5	32
3.6.	Tipos de lámparas compactas o de bajo consumo 3.6	34
3.7.	Tipos de lámparas de mercurio y esquema de conexión 3.7	36
3.8a.	Lámpara de halogenuros metálicos de 400 W de alta potencia 3.8a	38
3.8b.	Lámpara de halogenuros metálicos de baja potencia 3.8b	38
3.8c.	Lámpara de halógenas de tungsteno con diferentes configuraciones de filamentos 3.8c	38
3.9.	Lámpara de luz mixta 3.9	39
3.10.	Lámparas de sodio de alta presión 3.10	41
3.11.	Lámpara de vapor de sodio de baja presión 3.11	42
3.12.	Reflector frontal 3.12	45
3.13.	Reflector de fondo 3.13	45
3.14.	Reflector plano 3.14	47

3.15.	Reflector curvo 3.15	47
3.17.	Reflector de revolución 3.17	50
3.18.	Reflector circular 3.18	52
3.19.	Reflector parabólico 3.19	52
3.20.	Alineación de la lámpara elipsoidal 3.20	53
3.21.	Reflector hiperbólico 3.21	54
3.22.	Reflector fresnel 3.22	57
3.23.	Reflector par 3.23	58
3.24.	Filtro dichroico 3.24	59
3.25.	Diabla o batería 3.25	59
3.26.	Diferentes posiciones de los reflectores sobre el escenario	60
4.1.	Proceso principal de diseño de iluminación 4.1	62
4.2.	Esquematación de los procesos generales indicando los procedimientos correspondientes de un proyecto de iluminación 4.2	63
4.3.	Ejemplos de alumbrado general: a) sin restricción de espacio b) con restricción de espacio 4.3	67
4.4.	Ejemplo de alumbrado generalizado 4.4	67
4.5.	Ejemplo de alumbrado general y localizado 4.5	67
4.6.	Distribución de los aparatos de alumbrado para instalación de iluminación directa 4.6	73
4.7.	Distribución de los aparatos de alumbrado para instalación de iluminación semiindirecta e indirecta 4.7	73
4.8.	Distribución de flujo luminoso en un local cerrado 4.8	79
4.9.	Figura explicativa del concepto de factor de utilización 4.9	81
4.10.	Las dimensiones de este local son proporcionales al de la figura 4.9 y su factor de utilización es el mismo 4.10	82

4.11.	En un local de pequeña altura y grandes dimensiones horizontales, se obtiene un buen factor de utilización 4.11	82
4.12.	En un local de gran altura y pequeñas dimensiones horizontales se obtiene deficiente factor de utilización 4.12	82
4.13.	Figuras: a) Planta arquitectónica y b) Fachadas del Auditorio-Cultural 4.13	89
4.14.	Dimensiones del camerino individual 4.14	91
4.15.	Distribución provisional de los aparatos de alumbrado 4.15	93
4.16.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.16	95
4.17.	Dimensiones del camerino colectivo 4.17	95
4.18.	Distribución provisional de los aparatos de alumbrado 4.18	97
4.19.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.19	99
4.20.	Dimensiones de los baños 4.20	99
4.21.	Distribución provisional de los aparatos de alumbrado 4.21	100
4.22.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.22	102
4.23.	Dimensiones de la sala de juntas 4.23	102
4.24.	Distribución provisional de los aparatos de alumbrado 4.24	104
4.25.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.25	105
4.26.	Dimensiones de los baños 4.26	106
4.27.	Distribución provisional de los aparatos de alumbrado 4.27	107
4.28.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.28	108
4.29.	Características del Anfiteatro del Auditorio cultural 4.29	109
4.30.	Alturas del Anfiteatro del Auditorio cultural 4.30	109

4.31.	Parte I del Anfiteatro del Auditorio 4.31	110
4.32.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.32	112
4.33.	Parte II y III del Anfiteatro 4.33	113
4.34.	Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado 4.34	113
4.35.	Características del escenario 4.35	114
4.36.	Distribución de los aparatos 4.36	115
4.37.	Diferentes opciones de distribución definitiva de aparatos de alumbrado sobre el escenario	118
4.38.	Distribución definitiva del equipo teatral sobre el escenario 4.38 a)	119
4.38.	Distribución definitiva de todos los aparatos con sus respectivas lámparas en todo el Auditorio 4.38 b)	120

Lista de Tablas

2.1.	Sistemas de iluminación 2.1	7
2.2.	Clasificación de luminarias de acuerdo con la distribución del flujo luminoso 2.2	14
3.1.	Características más importantes de las lámparas 3.1	42
3.2.	Tipos de reflectores 3.2	55
4.1.	Características más importantes de cada sistema de alumbrado 4.1	68
4.2.	Factores de diseño para la selección de la lámpara en el proceso de planificación básica 4.2	69
4.3.	Iluminación horizontal a las diferentes distancias hasta el pie de la lámpara	115

4.4.	Iluminación total de los reflectores en los diferentes puntos	116
------	---	-------	-----

Lista de símbolos y abreviaturas

λ	Longitud de onda
c	Velocidad de la luz en vacío
f	Frecuencia
Hz	Hertz
W	Watts
nm	Nanómetros (10^{-9} metros)
ρ	Factor de reflexión
α	Factor de absorción
τ	Factor de transmisión
Φ_L	Flujo luminoso
lm	Lúmenes
I	Intensidad luminosa
cd	Candelas
w	Angulo sólido
sr	Estereorradianes
r	Radio de proyección
S	Superficie
E	Iluminancia
L	Luminancia

ε	Eficacia luminosa
P	Potencia activa
α	Angulo de incidencia
E_N	Iluminación normal
E_H	Iluminación horizontal
E_V	Iluminación vertical
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
$^{\circ}\text{K}$	Grados kelvin
IRC	Indice de rendimiento de color
l	Longitud
A	Ancho
H	Altura total
m	Metros
T_c	Temperatura de color
lm/W	Rendimiento luminoso
d	Distancia vertical de los aparatos de alumbrado al plano útil de trabajo
d'	Distancia vertical de los aparatos de alumbrado al techo
h	Altura desde el techo a dicho plano útil, de trabajo
e	Distancia horizontal entre dos focos contiguos
e'	Distancia horizontal desde los aparatos extremos a la pared
n	Número mínimo de aparatos de alumbrado a lo largo del local

n'	Número mínimo de aparatos de alumbrado a lo ancho del local
Φ_0	Flujo luminoso total emitido por las lámparas
Φ_A	Flujo luminoso emitido por los aparatos de alumbrado
Φ_n	Flujo luminoso útil, que llega a la superficie de trabajo
η_A	Rendimiento de los aparatos de alumbrado
u	Factor de utilización
K	Índice del local
ρ_T	Factor de reflexión del techo
ρ_P	Factor de reflexión de las paredes
δ	Factor de depreciación



Capítulo 1

Introducción

A lo largo de la historia, contar con luz artificial ha sido una necesidad que la humanidad ha buscado satisfacer de diversas maneras. Ésta produce sensación de seguridad, tanto dentro de una habitación como en la calle, porque puedes ver los obstáculos y a las personas que se acercan. A nadie se le antoja transitar por calles oscuras. Pero también es una forma de cambiar el ritmo impuesto por la naturaleza y prolongar el tiempo para la realización de actividades que la oscuridad impediría.

El ojo humano ha evolucionado a través de los tiempos, desde cuando se usaba casi por completo el aire libre, a luz brillante del día, y para una visión simple, de largo alcance. En la actualidad, el hombre vive y trabaja corrientemente en el interior de edificios y utiliza sus ojos con demasiada frecuencia y durante largas horas en condiciones de iluminación artificial inadecuadas y en trabajos delicados que exigen una constante acomodación. Un buen alumbrado puede hacer mucho para mejorar las condiciones de trabajo del ojo y aliviar el esfuerzo visual necesario para el ejercicio de trabajos visuales difíciles.

La iluminación en lo que respecta al área industrial debe tener presente un gran número de luminarias ya que deben abarcar espacios muy grandes y extensos, también deben poseer características distintas a luminarias convencionales o residenciales como poseer mayor potencia, brillo, incandescencia y aceptar los cambios bruscos de voltaje. Estos tipos de luminarias se crearon con el fin de facilitar los procesos producidos de distinto trabajos industriales, además de relacionar la cantidad de luz utilizada con respecto a las obras realizadas. Para esto es necesario analizar la tarea visual a desarrollar y determinar la cantidad y tipo de iluminación que proporcione el máximo rendimiento visual y cumpla con las exigencias de seguridad y comodidad como también seleccionar el equipo de alumbrado que proporcione la luz requerida de la manera satisfactoria.



Un proyecto de iluminación esta condicionado por requerimientos económicos, físicos, de seguridad, confort y estéticos entre otros. El diseñador trata de resolver éstos, al manipular la intensidad, dirección, color y movimiento de la luz. Esta manipulación le permite controlar la calidad visual del espacio y sus componentes. El observador percibe un objeto en el espacio, por medio de la luz reflejada en el objeto y el contraste en relación a su contexto. Entre las muchas consideraciones, considerar que la capacidad de percepción del individuo se deteriora con la edad.

1.1 Antecedentes:

El diseño de la iluminación, un arte más efímero, cumple dos funciones: iluminar el escenario y a los actores, y crear una atmósfera controlando el foco de atención de los espectadores. La iluminación se puede producir desde una fuente directa, como el Sol o una lámpara, o indirecta, empleando luz reflejada o iluminación general. Tiene cuatro propiedades controlables: intensidad, color, distribución y movimiento. Estas características se utilizan para lograr visibilidad, ambiente, composición (la disposición global de la luz, las sombras y el color) y para otorgar una determinada apariencia al contorno y el volumen de un intérprete u objeto dados.

Hasta el renacimiento, casi todas las representaciones se hacían al aire libre y por tanto estaban iluminadas por el Sol, pero con la llegada del teatro en recintos cerrados se vio la necesidad de buscar elementos de iluminación. Al principio se lograba con velas y lámparas de aceite; en el siglo XIX, con lámparas de gas. Aunque se utilizaban filtros de color, reflectores y dispositivos mecánicos para producir efectos de luz, la iluminación servía principalmente para alumbrar la escena. Si tomamos como referencia las prácticas actuales, la iluminación era entonces bastante tenue, lo cual permitía en gran medida crear ilusiones visuales mediante juegos pictóricos. La iluminación por gas proporcionó un mayor control, pero fue la aparición de la electricidad, a finales del siglo XIX, lo que permitió alcanzar el brillo e intensidad disponibles en la actualidad. Fue posible entonces atenuar la luz de los interiores de habitaciones o casas representadas sobre el escenario, envolviendo al público en la oscuridad por primera vez.



1.2 Objetivo

El objetivo de esta tesis es iluminar el auditorio-cultural del municipio de Tangancicuaro Michoacán, elaborando un procedimiento y metodología que permita realizar proyectos de iluminación de interiores, y así aplicar estos procedimientos para iluminar el auditorio de una manera adecuada (En la siguientes figuras se muestra la localización de la población en el estado y la localización del terreno).



Figura 1.1 a) Localización de la población en el Estado

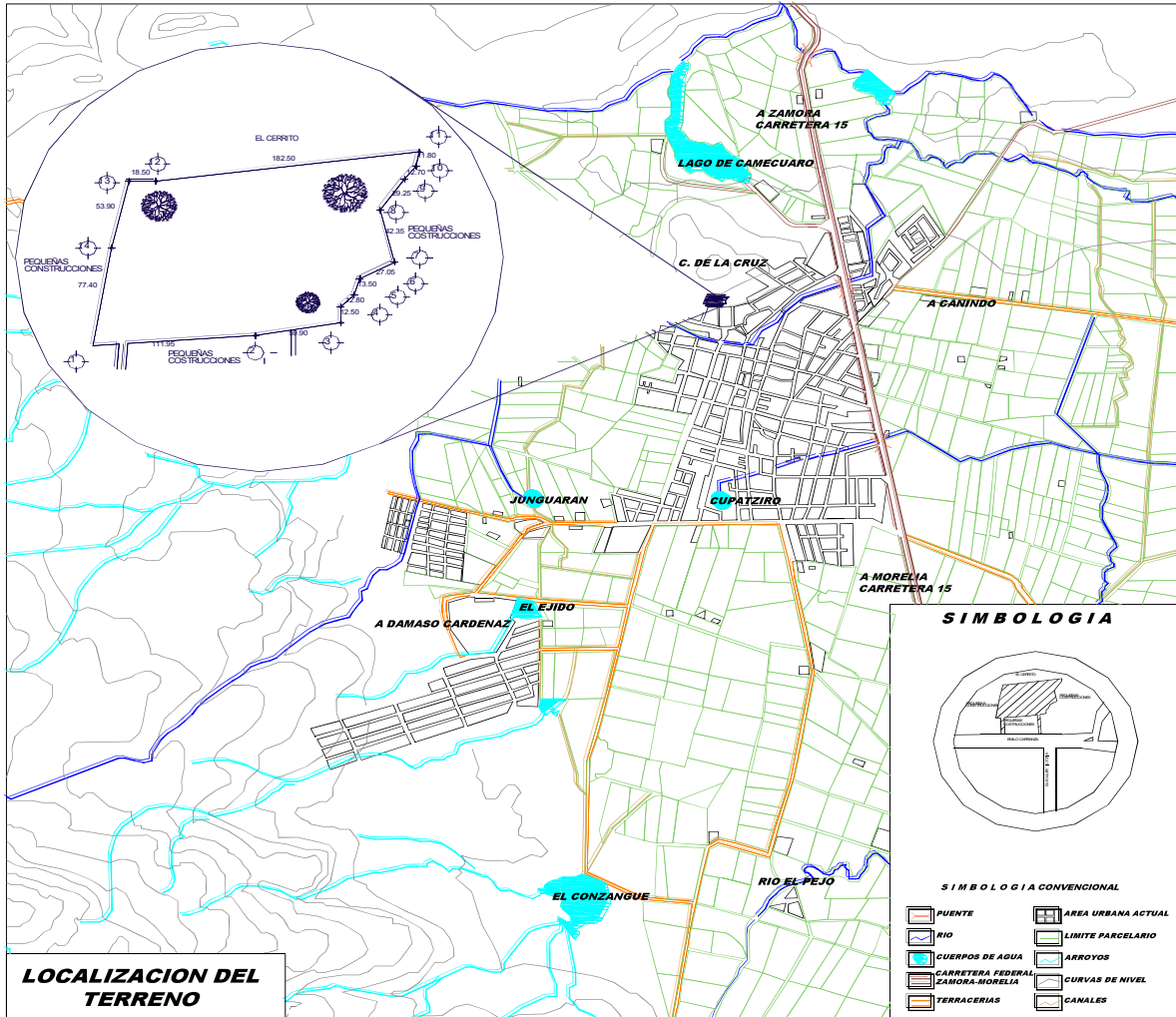


Figura 1.1 b) Localización del terreno en el Municipio de Tangancicuaro.

El terreno en el que se realizara EL AUDITORIO se encuentra localizado dentro de la PREPARATORIA POR COOPERACION TANGANCICUARO el cual cuenta con la superficie requerida, tipo de suelo arcilloso, Se comunica con una vialidad primaria y se encuentra con una buena pendiente, la cual se aprovechara para colocar las gradas de tal manera que no necesitemos realizar tanto corte ni relleno de material.



1.3 Justificación

Debido de que Tangancícuaro es una población que carece actualmente de medios adecuados para el desarrollo de actividades Artísticas-Culturales, por consiguiente el nivel cultural en ese aspecto es muy bajo, lo cual es que se ha propuesto la creación del AUDITORIO-CULTURAL, ya que muchas representaciones, como audiciones musicales, obras teatrales, cómicas, etc., son realizadas en la plaza cívica (*frente ala Presidencia Municipal, ver figura 1.2*) con gran aceptación de la población que acude en gran número; improvisándose mobiliario y originando al paso del tiempo cansancio y aburrimiento entre los asistentes, además de que los exponentes no se desenvuelvan cómodamente en su presentación como debe de ser, a la vez que padecen un mayor deterioro en su material y equipo, por estar expuestos a la intemperie y sin la adecuada apreciación del público.

En base a lo anterior, es que se ha propuesto la creación del AUDITORIO-CULTURAL en el municipio de Tangancícuaro Michoacán que formara parte importante del desarrollo social de la población, por lo cual requerirá de un buen proyecto de iluminación artificial y presenciar una buena iluminación tanto en el escenario, los actores y crear una atmosfera controlando el foco de atención de los espectadores además en todo en el auditorio en general, evitando un cansancio visual, deslumbramiento entre los espectadores por una mala iluminación, debido a la mala distribución de los aparatos de iluminación y mala elección del tipo de lámparas.



Figura 1.2 Festival Internacional de Danza Michoacán 2010



1.4 Metodología

Con el plano Arquitectónico del AUDITORIO-CULTURAL del municipio de Tangancícuaro voy a tomar de manera individual cada área que forma parte el auditorio, tomando todas sus características (área, largo, ancho y altura), para así poder aplicar los procedimientos y metodologías para el diseño de iluminación.

1.5 Contenido de la tesis

En el capítulo 1 se da una breve introducción, de la importancia que a tomado las fuentes luminosas en lugares cerrados (casa, talleres, empresas, etc.), así como las fuentes artificiales han evolucionado tras el paso del tiempo, debido a las necesidades del hombre.

En el capítulo 2 se describen los diferentes sistemas de iluminación y su distribución del flujo luminoso, características y propiedades de la luz.

En el capítulo 3 se describen las diferentes tipos de lámparas así como su funcionamiento, ventajas, desventajas y aplicaciones.

En el capítulo 4 se describen los procedimientos y metodologías para el diseño de iluminación y así aplicarlos en el AUDITORIO-CULTURAL.

En el capítulo 5 se dan las conclusiones finales.



Capítulo 2. Sistemas de iluminación

2.1. Introducción

Los *sistemas de iluminación* se clasifican según la distribución del flujo luminoso, por encima o por debajo de la horizontal; o sea, teniendo en cuenta la cantidad de flujo luminoso proyectada directamente a la superficie iluminada y a la que llega a la superficie después de reflejarse por techo y paredes. Si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia abajo, se produce una *iluminación directa*; por el contrario, si la mayor parte del flujo luminoso se envía hacia el techo para que llegue a la superficie iluminada después de proyectarse en el mismo y en las partes, tenemos la *iluminación indirecta*. Los demás sistemas de iluminación pueden considerarse como formas intermedias en las cuales, la luz emitida se radia tanto hacia arriba como hacia abajo.

En la tabla 2.1, se muestra un resumen de los sistemas de iluminación, indicando en todos ellos la distribución del flujo luminoso.

Tabla 2.1 Sistemas de iluminación

Sistemas de iluminación	Distribución del flujo luminoso en tanto por ciento	
	↑ Hacia arriba	↓ Hacia abajo
Iluminación directa	0 a 10	90 a 100
Iluminación semi-directa	10 a 40	60 a 90
Iluminación difusa	40 a 60	40 a 60
Iluminación semi-indirecta	60 a 90	10 a 40
Iluminación indirecta	90 a 100	0 a 10
Iluminación directa-indirecta	40 a 60	40 a 60

2.2. La luz

La luz es una forma de radiación electromagnética, llamada energía radiante, capaz de excitar la retina del ojo humano y producir, en consecuencia, una sensación visual.



Ya vimos que el concepto luz tiene absoluta relación con quien la percibe, y que es a través de ella que el hombre se conecta visualmente con el mundo que lo rodea.

La energía radiante fluye en formas de ondas en cualquier medio con una dirección determinada (propagación rectilínea), y solo es perceptible cuando interactúan con la materia, que permite su absorción o su reflejo. Hay entonces un cuerpo emisor de la energía radiante y otro que la recibe. Esta interacción o transferencia de energía de un cuerpo a otro se denomina *radiación*.

Físicamente se puede interpretar la luz de 2 maneras, asociadas entre si:

- Como onda electromagnética.
- Como un corpúsculo o partícula.

2.2.1. Características de la luz

- Amplitud (altura de la onda).
- Longitud de onda (comportamiento espacial): [nm].
- Velocidad: “c” [km/seg] es la distancia que recorre la onda en 1 segundo.
- Frecuencia (comportamiento temporal): “v” [hz], definido por el número de ondas que pasan en un segundo por un punto fijo. Tiene relación con la longitud de onda, ya que depende por su tamaño.

La luz se transmite en el vacío a la velocidad que denominamos “velocidad de la luz”, comprendiendo diferentes longitudes de onda y frecuencias. Cuando cambia de medio (aire, agua, vidrio, etc.) cambia su velocidad y su longitud de onda, permaneciendo constante su frecuencia.

2.2.2. Espectro electromagnético y espectro visible

La energía visible es una porción sumamente pequeña del *espectro electromagnético*, que es un enorme gama de energía radiante que se desplaza a través del espacio en formas de ondas electromagnéticas. Todas estas radiaciones son parecidas en su naturaleza y en la velocidad a que se transmiten ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$), diferenciándose tan solo en su frecuencia (f) y longitud de onda (λ), así como en las formas en que se manifiestan. Recordemos que la relación entre ambas es:



$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{2.1}$$

donde “c” es la velocidad de la luz en el vacío $c = 3.10^8 \text{ m/s}$

El **espectro visible** para el ojo humano es aquel que va desde los 380 nm de longitud de onda para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo. Fuera de estos límites, el ojo no percibe ninguna clase de radiación. La luz blanca percibida es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles. El espectro visible se puede descomponer en sus diferentes longitudes de onda mediante un prisma de cuarzo, que refracta las distintas longitudes de onda selectivamente.

La figura 2.1 que se muestra a continuación representa el Espectro Electromagnético.

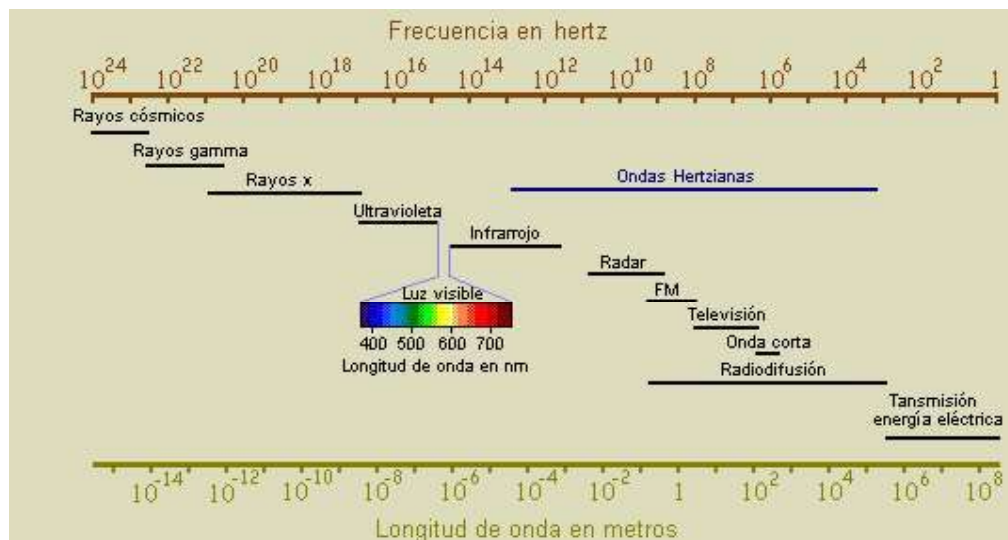


Figura 2.1 Espectro Electromagnético.

El color de la luz se determina por su longitud de onda. La energía del extremo de las ondas cortas del espectro visible produce la sensación de violeta desde 380 nm a 450 nm, aproximadamente. Las ondas visibles, más bajas, desde unos 630 nm a 780 nm aparecen como rojas. Entre las dos anteriores se encuentran las longitudes de onda que el ojo ve como azules (450 – 490 nm), verdes (490 – 560 nm), amarillas (560 – 590 nm)



y naranjas (590 – 630 nm), en suma, los colores del arco iris. La región del espectro inmediata al extremo de las largas longitudes de onda de la banda visible se conoce como infrarroja (por debajo del rojo); junto al final de la longitud de onda corta de la banda visible, esta la ultravioleta (por encima del violeta). Ni los rayos ultravioleta ni los infrarrojos son visibles para el ojo humano, pero ambos tienen aplicaciones en las que a veces se interesan los ingenieros de alumbrado.

Como mencionamos anteriormente, el ojo humano solo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca. A continuación en la siguiente figura 2.2 se muestra un resumen de la distribución espectral aproximada:



Figura 2.2 Espectro Luminoso

2.2.3. Propiedades de la luz

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca con la superficie y una parte se refleja. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose. Así pues, tenemos las siguientes posibilidades:



- Reflexión
- Transmisión
- Refracción
- Absorción

Reflexión. Es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmosfera, líquidos como el agua o sólidos) y está regida por la ley de reflexión. La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la *reflexión regular* (figura 2.3) en que toda la luz sale en una única dirección. Si la superficie es mate la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama *reflexión difusa* (figura 2.4). Y, por último, está el caso intermedio, *reflexión mixta* (figura 2.5), en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en las superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.

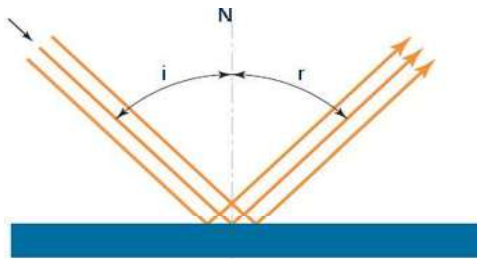


Figura 2.3 Reflexión regular

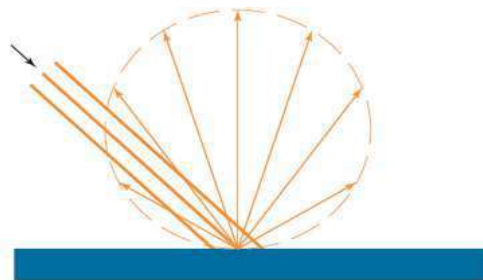


Figura 2.4 reflexión difusa



Figura 2.5 Reflexión mixta



Refracción (figura 2.6). Se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

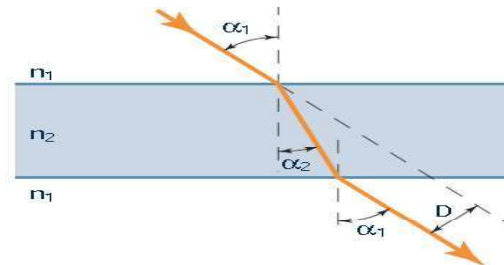


Figura 2.6 Refracción en el límite de entre dos medios

Transmisión. Se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la *transmisión es regular* (figura 2.7) como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la *transmisión difusa* (figura 2.8) que es lo que pasa en los vidrios translucidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la *transmisión mixta* (figura 2.9) como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.

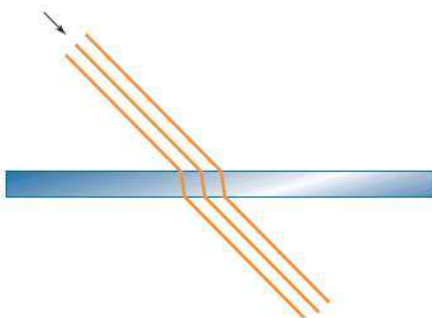


Figura 2.7 Transmisión Regular

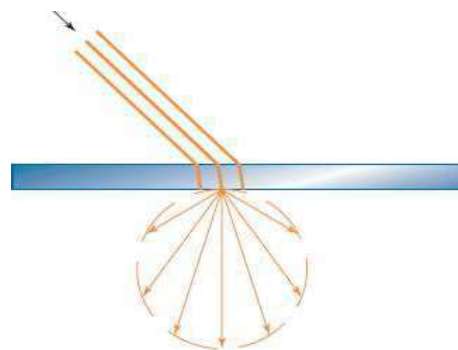


Figura 2.8 Transmisión difusa

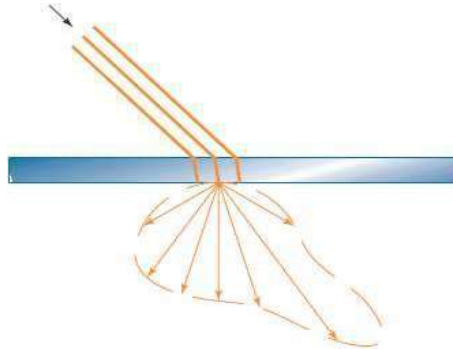


Figura 2.9 Transmisión mixta

Absorción. Existen superficies y objetos que absorben la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan. Estos objetos se ven de color negro. Otros tipos de superficies y objetos, absorben sólo unas determinadas gamas de longitudes de onda, reflejando el resto.

En el apéndice “A” la tabla A.1 se muestran los factores de reflexión, absorción y transmisión que corresponden a diversos materiales interesantes en Luminotecnia; en muchos casos, hemos indicado, además, el efecto resultante. Téngase siempre en cuenta que la absorción representa, en todos los casos, pérdida, por lo que debe utilizarse normalmente materiales de bajo factor de absorción, excepto en casos muy especiales (por ejemplo, iluminación decorativa).

2.3 Clasificación y características según su distribución luminosa.

Una primera manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o el suelo. Según esta clasificación se distinguen en seis clases. En la tabla 2.2 se muestra presenta el tipo de luminarias, la distribución del flujo y sus características:



Tabla 2.2 Clasificación de luminarias de acuerdo con la distribución del flujo luminoso.



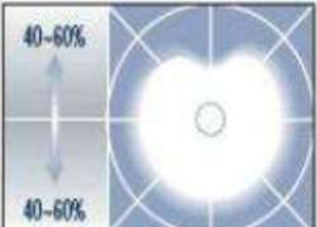
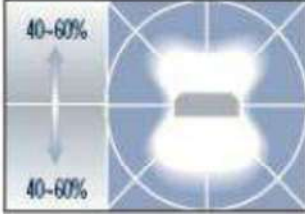
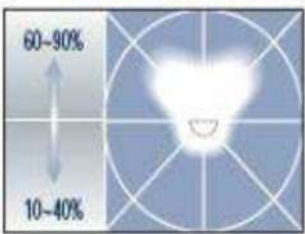
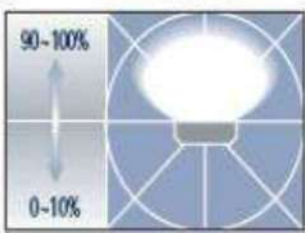
Tipo de iluminaria	Distribución del flujo Por hemisferios <i>%Superior</i> <i>%Inferior</i>	Características
Iluminación Directa	<p style="text-align: center;">Directa</p> 	Alta eficiencia energética. Posibilita buena uniformidad y balance de claridades en el campo visual. Con distribución concentrada puede requerir alumbrado suplementario para aumentar la iluminación en superficies verticales. El cieloraso o la cavidad sobre el plano del montaje pueden resultar poco iluminados. En general requiere control de luminancias para minimizar deslumbramiento (directo y reflejado).
Iluminación Semi-directa	<p style="text-align: center;">Semi-directa</p> 	Similares a tipo directo pero con menor eficacia energética. Reduce el contraste de luminancias con el cieloraso. La luz reflejada (difusa) suaviza sombras y mejora las relaciones de claridad. No debe instalarse demasiado cerca del cieloraso para evitar áreas de alta iluminancia que podrían resultar distractivas, perturbadoras y afectar la estética del ambiente.
Iluminación Difusa	<p style="text-align: center;">General-difusa</p> 	Combinadas entre tipos de directa y semi-directa pero con menor eficacia energética. Produce buenas relaciones de claridad y suavizado de sombras. Puede ocasionar deslumbramiento (directo y reflejado) aunque su efecto es compensado por la componente reflejada (difusa). Requiere altas reflectancias de paredes y cieloraso.



Tabla 2.2. (Continuación)

Iluminación Directa- Indirecta	<p style="text-align: center;">Directa-indirecta</p> 	En caso especial del tipo difusa pero con una eficiencia energética un poco mayor. Estas luminarias emiten poco flujo en ángulos próximos a la horizontal lo cual reduce las luminancias en la zona de deslumbramiento directo.
Iluminación Semi- indirecta	<p style="text-align: center;">Semi-indirecta</p> 	Similares al tipo semi-directo pero con menor eficacia energética. Las superficies del local deben tener alta reflectancia. La baja componente directa reduce las luminancias deslumbrantes y el contraste de claridades con el cieloraso.
Iluminación Indirecta	<p style="text-align: center;">Indirecta</p> 	Elimina virtualmente las sombras y el deslumbramiento directo y reflejado pero tiene baja eficiencia energética. Requiere altas reflectancias de paredes y de cieloraso y un adecuado programa de mantenimiento de artefactos y superficies. Hay que cuidar el balance de luminancias con el cieloraso.

2.4 Magnitudes y unidades luminosas

La luz artificial tiene como objetivo proporcionar una iluminación adecuada en aquellos lugares al aire libre o cubiertos donde se desarrollen actividades de todo tipo. Por lo tanto, es de gran importancia el buen manejo y el estudio de los conceptos fundamentales de la luminotecnica, así como las unidades más empleadas para su medición y que sirven para comparar y valorar las diversas fuentes o manantiales luminosos utilizados en la práctica.

Las magnitudes fundamentales que estudiaremos son:

- Flujo luminoso
- Intensidad luminosa



- Iluminación
- Luminancia
- Rendimiento luminoso

Flujo luminoso

Se define como la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz por unidad de tiempo, en todas las direcciones, o también podemos decir que es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. Se representa por la letra griega Φ y su unidad es el lumen (lm). Su expresión viene dada por (figura 2.10):

$$\phi_L = \frac{dQ_L}{dt} (lm) \tag{2.2}$$

Donde: ϕ_L = Flujo luminoso (lm).

dQ_L / dt = Cantidad de energía luminosa radiada por unidad de tiempo.

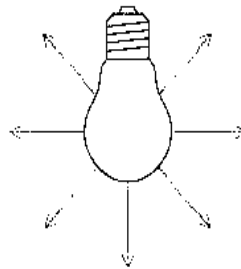


Figura 2.10: Concepto de flujo luminoso.

Intensidad Luminosa

Se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa misma dirección, medido en estereorradianes (sr). Siendo este el ángulo formado entre el centro de una esfera de radio unitario y una porción de superficie de unidad cuadrada de dicha esfera.



La candela 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. (figura 2.11).

$$I = \frac{\phi_L}{w} \text{ (cd)} \quad (2.3) \quad ; \quad w = \frac{S}{r^2} \quad (2.4)$$

Donde: I = Intensidad luminosa (cd).
 Φ_L = Flujo Luminoso (lm).
 w = Angulo sólido (sr).
 r = Radio de proyección (m).
 S = Superficie (m^2).

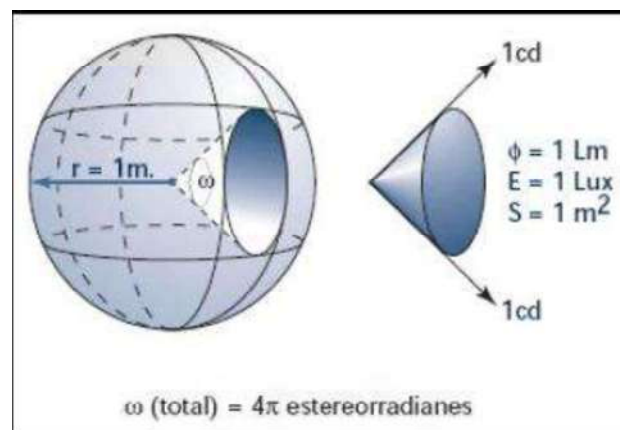


Figura 2.11: Concepto de intensidad luminosa.

Iluminación o iluminancia

Los niveles de iluminación se definen como la relación entre el flujo luminoso y el área de superficie a la cual incide dicho flujo. Se simboliza con la letra E y su unidad es el *lux*. Por lo tanto, su expresión queda así: (figura 2.12)



$$E = \frac{\phi_L}{S} \quad (2.5)$$

Donde: E = Iluminancia (*lux*).
 Φ_L = Flujo luminoso (*lm*).
S = Superficie (*m²*).

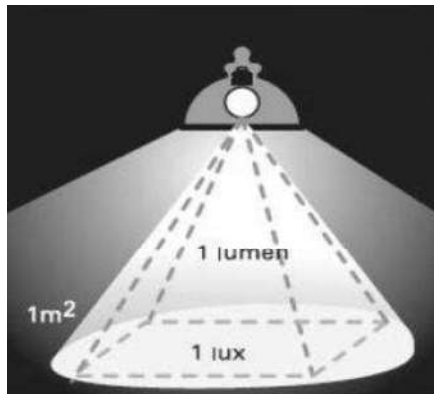


Figura 2.12: Concepto de iluminación

Luminancia

La luminancia se define como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie proyectada verticalmente a la dirección de irradiación. Dicha superficie es igual al producto de la superficie real iluminada por el coseno del ángulo (β) que forma la dirección de la intensidad luminosa y su normal. Su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2), y su expresión correspondiente es (*figura 2.13*):

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos(\beta)} \quad (cd/m^2) \quad (2.6)$$

Donde: L = Luminancia (*cd/m²*)
I = Intensidad luminosa (*cd*)
S = Superficie (*m²*)

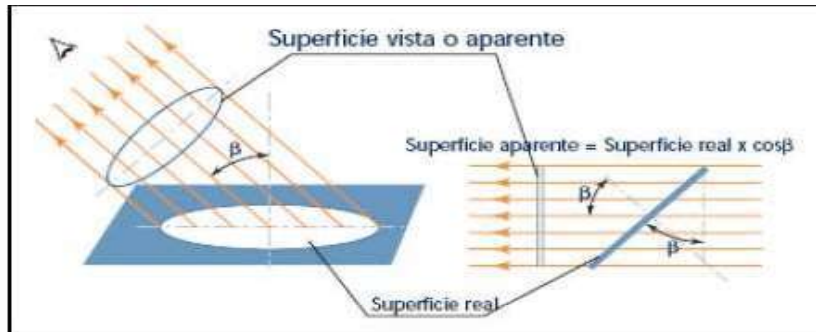


Figura 2.13: Luminancia de una superficie

Rendimiento luminoso (Eficacia luminosa)

Indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se representa por la letra griega “ε” y su unidad es el lumen/vatio (lm/W). La expresión de la eficacia luminosa viene dada por:

$$\varepsilon = \frac{\phi_L}{P} \quad (lm/W) \quad (2.7)$$

Donde: ε = Eficacia luminosa
 P = Potencia activa (W)

Leyes y principios fundamentales en luminotecnia

Ley fundamental. Partiendo de los conceptos de intensidad luminosa e iluminancia, se llega a la siguiente expresión mediante la sustitución de la ecuación (2.3) en la ecuación (2.5):

$$E = \frac{I \cdot w}{S} \quad (2.8)$$

Pero al sustituir el radio entre la fuente de la luz y la superficie considerada por una distancia “ d ”, el elemento de superficie esférica definido por el ángulo sólido queda de la siguiente manera:

$$w = \frac{S}{d^2} \quad (2.9)$$



Por lo tanto, al sustituir la ecuación (2.9) en la ecuación (2.8), se obtiene lo siguiente:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2.10)$$

Donde: E = Iluminancia (*lux*).
 I = Intensidad luminosa (*cd*).
 d = Distancia de la fuente a la superficie (*m*).

La ecuación (2.10) expresa la ley fundamental de la iluminación (*figura 2.14*), y dice así: “*la iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa, es directamente proporcional a la intensidad luminosa en dicha dirección, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa la fuente de dicha superficie.*”

De esta forma podemos establecer la relación de iluminancias E_1 y E_2 que hay entre dos planos separados una distancia “ d ” y “ D ” de la fuente de luz respectivamente:

$$E_1 \cdot d^2 = E_2 \cdot D^2$$
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{d^2} \quad (2.11)$$

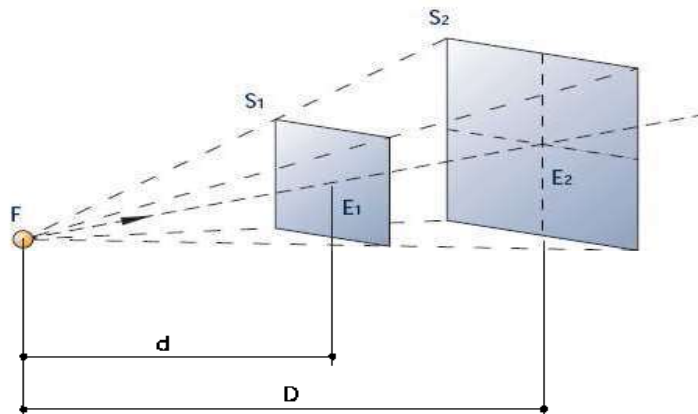


Figura 2.14: Distribución del flujo luminoso sobre distintas superficies



Para el caso en que el plano a iluminar no sea perpendicular a la dirección de los rayos incidentes a dicho plano, es necesario multiplicar a la ecuación (2.10) por el coseno del ángulo de incidencia, cuya expresión constituye la llamada **ley del coseno**, que se expresa como:

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \text{Cos}(\alpha) \quad \text{o} \quad E = \frac{I}{h^2} \cdot \text{Cos}^3(\alpha) \quad (2.12)$$

Donde: α = Angulo de incidencia
 d = Distancia de la fuente de luz (m)

“la iluminancia en el punto cualquiera de una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado”

En la figura 2.15 se representan dos fuentes de luz “F” y “F'” con igual intensidad luminosa (I) y la misma distancia (d) del punto “P”. A la fuente F con un ángulo de incidencia igual a cero, correspondiente un $\cos(0) = 1$, y produce una iluminación en el punto “P” de valor:

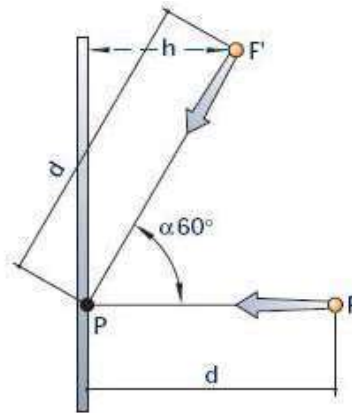


Figura 2.15: Iluminación en un punto desde dos fuentes de luz con diferente ángulo de incidencia.

$$E_p = \frac{I}{d^2} \cdot \text{cos}(0) = \frac{I}{d^2} \cdot 1 \Rightarrow E_p = \frac{I}{d^2} \text{ (lx)} \quad (2.13)$$

De la misma forma F' con un ángulo de 60°, al que corresponde el $\cos(60) = 0.5$, producirá el mismo punto una iluminación de valor:



$$E'_p = \frac{I}{d^2} \cdot \cos(60) = \frac{I}{d^2} \cdot 0.5 \Rightarrow E'_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{I}{d^2} \text{ (lx)} \quad (2.14)$$

Por lo tanto, para obtener la misma iluminación en el punto P, la intensidad luminosa de la fuente “F'” debe ser el doble de la que tiene la fuente “F”.

En la práctica, generalmente no se conoce la distancia d del foco al punto considerado, sino su altura “h” a la horizontal del punto.

Empleando una sencilla relación trigonométrica y sustituyendo en la ecuación inicial, obtenemos una nueva relación en el cual intervine la altura h:

$$\cos(\alpha) = \frac{h}{d} \Rightarrow d = \frac{h}{\cos(\alpha)} \quad (2.15)$$

$$E_p = \frac{I}{d^2} \cdot \cos(\alpha) = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos(\alpha)}\right)^2} \cdot \cos(\alpha) = \frac{I}{h^2} \cos^2 \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$E_p = \frac{I}{h^2} \cdot \cos(\alpha) \text{ (lx)} \quad (2.16)$$

Para determinar la iluminancia en un punto con la contribución de más de una fuente de luz, se usa la siguiente expresión:

$$E = \sum_{i=1}^{nf} \frac{I_i}{d_i^2} \cdot \cos(\alpha_i) \quad (2.17)$$

Donde: nf = Número de fuentes de luz.

α_i = Angulo de incidencia de la fuente i-ésima.

Iluminación normal, horizontal y vertical

Iluminación en un punto. En la *figura 2.16*, la fuente “F” ilumina tres planos distintos situados en una posición normal, horizontal y vertical. Por lo tanto cada plano



tendrá una iluminación diferente llamada: *iluminación normal* (E_N), *iluminación horizontal* (E_H) e *iluminación vertical* (E_V).

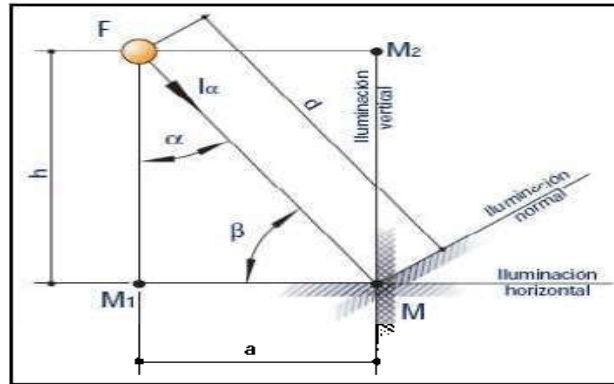


Figura 2.16: Iluminación normal, horizontal y vertical

Iluminación normal. Si partimos de la ecuación (2.12) de la *ley fundamental* y teniendo en cuenta que el ángulo que forma la dirección de los rayos luminosos (I_α) y la perpendicular de la superficie normal (F-M) es igual a cero grados (0°) entonces:

$$E_N = \frac{I_\alpha}{d^2} \cdot \text{Cos}(0) = \frac{I_\alpha}{d^2} \quad (2.18)$$

Donde: I_α = Intensidad Luminosa bajo el ángulo “ α ” (cd).

La iluminación normal de un punto se considera cuando éste se encuentra en línea recta con la fuente de luz (F) sobre el plano horizontal (M_1). Entonces la ecuación (2.18) se convierte en:

$$E_N = \frac{I}{h^2} \text{ (lux)} \quad (2.19)$$

y también cuando está situado en línea recta con la fuente sobre el plano vertical (punto M_2), siendo la iluminancia:



$$E_N = \frac{I}{a^2} (lx) \quad (2.20)$$

Iluminación Horizontal. Según la *ley fundamental* para el punto “M” en el plano horizontal se tiene que:

$$E_H = E_N \cdot \text{Cos}(\alpha) = \frac{I_\alpha}{d^2} \cdot \text{Cos}(\alpha) \quad (2.21)$$

Esta ecuación la podemos expresar en relación con la altura “h” que existe entre la fuente “F” y el punto “M” ($d = h / \text{cos}(\alpha)$).

$$E_H = \frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \text{Cos}^3(\alpha) \quad (2.22)$$

Iluminación vertical. Para este caso, según la ley fundamental para la iluminación en el punto “M” del plano vertical, se tiene que:

$$E_V = E_N \cdot \text{Cos}(\beta) \quad (2.23)$$

Entre los ángulos “ α ” y “ β ” existe una relación sencilla, ya ambos pertenecen a un triángulo rectángulo.

$$\alpha + \beta + 90^\circ = 180^\circ \Rightarrow \beta = 90 - \alpha$$

Aplicando relaciones trigonométricas:

$$\text{Cos}(\beta) = \text{Cos}(90 - \alpha) = \text{Cos}(90) \cdot \text{Cos}(\alpha) + \text{Sen}(90) \cdot \text{Sen}(\alpha) = \text{Sen}(\alpha) \quad (2.24)$$

Sustituimos este valor en la expresión y obtenemos que:

$$E_V = E_N \cdot \text{sen} \alpha$$



$$E_v = \frac{I_\alpha}{d^2} \cdot \text{sen } \alpha \quad (2.25)$$

Al aplicar el mismo razonamiento anterior utilizado para determinar E_H , resulta que:

$$E_v = \frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \text{Sen}(\alpha) \cdot \text{Cos}^2(\alpha) \quad (2.26)$$

Si se divide miembro a miembro las ecuaciones (2.26) entre (2.25), resulta que:

$$\frac{E_v}{E_H} = \frac{\frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \text{Sen}(\alpha) \cdot \text{Cos}^2(\alpha)}{\frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \text{Cos}^3(\alpha)} = \text{Tag}(\alpha) \quad \Rightarrow \quad E_v = E_H \cdot \text{Tag}(\alpha) \quad (2.27)$$

El procedimiento de la iluminación en un punto de cualquier plano a considerar, es la base para entender y determinar los valores necesarios para el proceso de cálculo y diseño de un proyecto de iluminación.



Capítulo 3. Diferentes tipos de lámparas

3.1 Introducción

Las primeras fuentes luminosas empleadas por el hombre estaban basadas en alguna forma de combustión, ya sea el fuego, las velas o las antorchas. Hoy en día existen varias formas y variedades de generar luz para las distintas aplicaciones necesarias en la industria.

Todas las fuentes de luz artificial implican la conversión de alguna forma de energía en radiación electromagnética, basándose principalmente en la excitación de átomos y luego de la emisión de fotones.

Artificialmente existen varias formas de producir radiación luminosa y están divididas por los procesos de *incandescencia* y la *luminiscencia*. Esta última, a su vez se divide principalmente en *descarga de gases*, *fotoluminiscencia* y *electroluminiscencia*. En la industria, los procesos de incandescencia y por descarga en gases son las más comunes y los más usados.

Las lámparas pueden ser de muchas clases, cada una de ellas con sus particularidades y características específicas. Como se dijo anteriormente, existen dos clasificaciones que describen el tipo de lámpara. En la figura 3.1 se puede observar dicha clasificación:

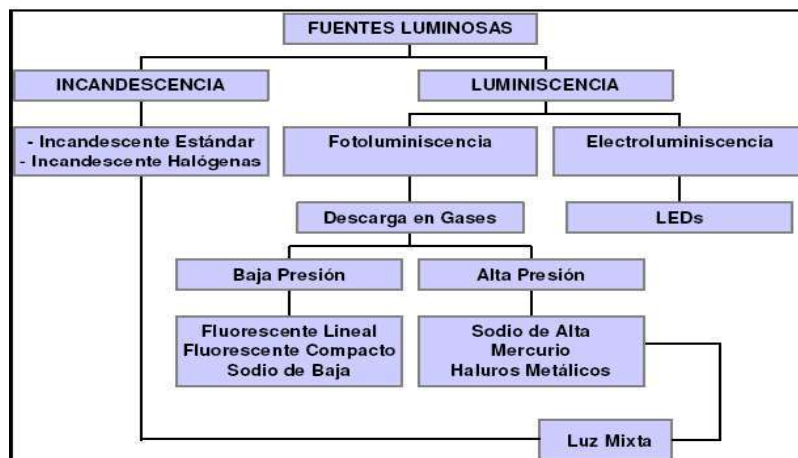


Figura 3.1: Clasificación general de las fuentes luminosas



3.1.1 Fuentes Luminosas

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

3.2 Lámparas incandescentes

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

En la figura 3.2, se observa la construcción más normal de una de estas lámparas, así como los tipos de casquillos de acoplamiento o conexión más utilizados.

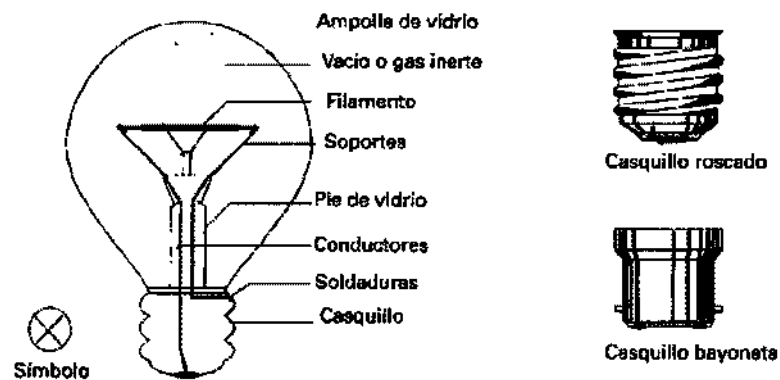


Figura 3.2 Lámpara incandescente y casquillos utilizados

Las Principales desventajas del foco incandescente son:

- Corta vida (de 750 a 1000 horas).
- Baja eficiencia (alrededor de 19 lúmenes por watt).
- Gran disipación de calor.



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

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

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

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

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

Los bulbos difusores se utilizan en la mayor parte de los proyectos de alumbrado general. Para conseguir la difusión del cristal, éste se esmerila con ácido, pero lo más común es recubrir el interior por medio de una capa de sílice blanca, la cual absorbe aproximadamente el 2% de la luz emitida.

Para las lámparas de mayor potencia (de 300 a 5000 watts) se utilizan bulbos esmerilados o transparentes. Las lámparas de bulbo, proyectoras y reflectoras, forman en el mismo bulbo la fuente de luz y un reflector parabólico de alta eficiencia. El reflector consiste en un baño de aluminio o plata vaporizado y aplicado en la parte



interior del bulbo. Los bulbos de estas lámparas se constituyen también de cristal refractario para usarse a la intemperie, pero solo para lámparas menores o de 150 watts.

En la figura 3.3 se observan los diferentes tipos de lámparas incandescentes.

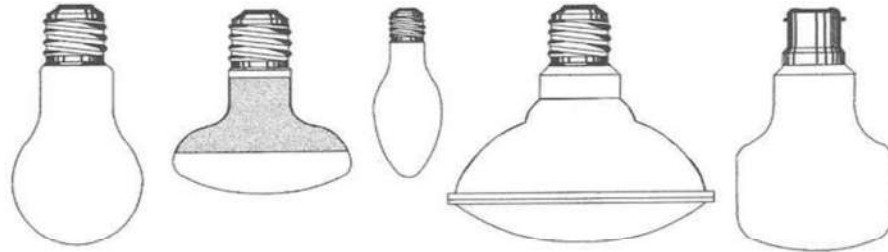


Figura 3.3 Tipos constructivos de lámparas incandescentes

3.3 Lámparas incandescentes halógenas

Otro tipo de lámparas incandescentes para uso general y especial son las halógenas o de yodo-cuarzo. En ellas se emplean un bulbo de cuarzo y yodo en su interior con el fin de producir un ciclo químico con el filamento de tungsteno sublimado para mantener el bulbo limpio. El bulbo de cuarzo permite una constitución compacta, resistente a los cambios bruscos de temperatura, alta eficiencia y un mantenimiento casi nulo durante su vida. Las lámparas de yodo-cuarzo se construyen en forma tubular y en diferentes longitudes, se utilizan en aviación, fotocopiadoras e iluminación con proyectores. Su eficiencia luminosa es de 122 lúmenes por watt.

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

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



En la figura 3.4 se ven algunos tipos de lámparas halógenas más utilizadas. Actualmente, este tipo de lámparas se emplea mucho en alumbrados decorativos, domésticos y en aparatos de proyección.

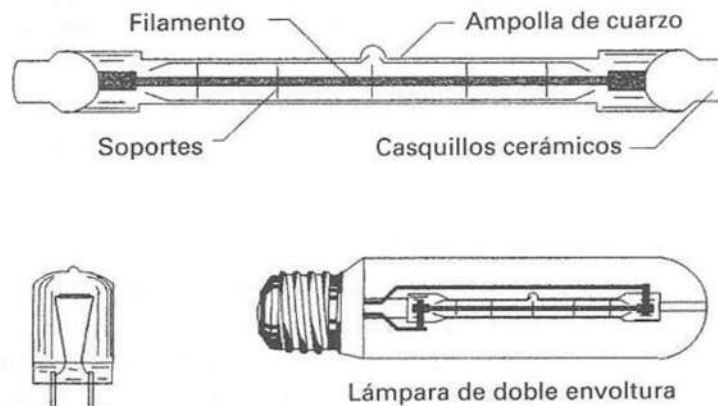


Figura 3.4 Lámparas halógenas o de cuarzo-yodo

3.4 Lámparas infrarrojas.

Son fuentes de energía radiante que es emitida en el rango de los 760 nm a los 500 nm, es decir, en la zona infrarroja del espectro electromagnético. Estas lámparas son similares a las incandescentes de uso general sólo que su filamento trabaja a bajas temperaturas, lo cual trae como consecuencia una baja emisión luminosa (8 lúmenes/watt) pero en cambio una gran duración (mas de 5000 horas). El tipo de bulbo de esta lámpara es el “R” con reflector interno, bulbo transparente o bulbo tubular de cuarzo.

Las lámparas infrarrojas tienen en su interior un reflector de forma parabólica, además, poseen un casquillo E-26 para facilitar su instalación, se representa en acabado claro o rubificado.

Aplicaciones:

- *Terapéuticas.* Reumatismo, dolores musculares, lumbago, resfriado, contusiones, entumecimientos, luxaciones y masajes.



- *Industriales.* Hornos industriales, secado de tintas en impresiones gráficas y textiles, secado de películas y negativos.
- *Pecuarías.* Cría de aves, lechones, becerros y en la tienda de mascotas.

3.5 Lámparas fluorescentes

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

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

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

Funcionamiento:

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

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

En la figura 3.5 se observa el funcionamiento de un tubo fluorescente.

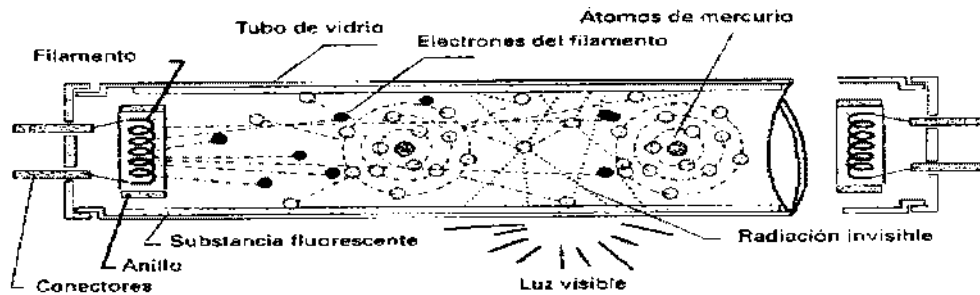


Figura 3.5 Funcionamiento de un tubo fluorescente

Las desventajas de este tipo de lámparas son:

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

Sus ventajas son:

- Alta eficiencia luminosa (más de 67 lúmenes/watts).
- Realce de los colores azules, violeta, verdes, y opacamiento del rojo y anaranjado, lo cual puede ser también una desventaja.
- Gran duración (12,000 horas en comparación con las 750-1000 horas de las lámparas incandescentes).

Tipos.

Las lámparas fluorescentes pueden ser clasificadas en dos grupos:

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



- Lámparas “Slim Line”
- Lámparas de encendido instantáneo.
- Lámparas de encendido rápido.
- Lámparas de precalentamiento de encendido rápido.
- Lámparas de alta emisión.
- Lámparas “Power Groove”.
- Lámparas “Circ Line” (circulares).

En lámparas tipo “Slim Line” se emplean balastras de alto voltaje, de manera que son encendidas instantáneamente. Los cátodos de estas lámparas están diseñados especialmente para soportar el voltaje de arranque.

Normalmente, a las lámparas “Slim Line” se les denomina de “encendido instantáneo”, pero dicho término se refiere en realidad a las lámparas con casquillo biclavillo que no requieren arrancador, es decir, aquellas de 40 watts en bulbos T-12 y T-17.

Los electrodos de estas lámparas están en corto circuito, de manera que no se puede utilizar el circuito de precalentamiento de las lámparas del primer grupo. Al igual que las lámparas “Slim Line”, las de encendido instantáneo requieren de una balastro que les proporcione relativamente el alto voltaje para su encendido.

Las lámparas de encendido rápido tienen sus electrodos (cátodos) conectados al circuito de caldeo de la balastro durante el periodo de encendido y de operación de la lámpara.

Las lámparas de precalentamiento o de encendido rápido pueden usarse con o sin arrancador, es decir, por medio de circuitos de precalentamiento o de arranque rápido.

Son una combinación de lámparas de 40 watts precalentadas y las de 40 watts de encendido rápido.

Las lámparas fluorescentes de alta emisión operan al igual que las anteriores, pero relativamente a altas corrientes.

En cuanto a las lámparas Power Groove, son las de mayor potencia fabricada hasta ahora; también operan con el principio de las de encendido rápido, se caracterizan



por las típicas curvas o muescas en su longitud, de manera que el arco que se forma dentro de la lámpara es forzado a seguir una trayectoria ondulada lo que equivale a tener una lámpara más larga. Se emplean en lugares donde se requiere de alto niveles de iluminación a bajo costo; también utilizan la base de doble contacto retardado y se fabrican en tamaño de 2.44, 1.22 y 1.83 metros.

Las lámparas “Circ Line” utilizan bases de cuatro clavillos y trabajan también con el principio de las de arranque rápido.

3.5.1 Lámparas compactas o de bajo consumo

Con este nombre se fabrican actualmente lámparas fluorescentes, con potencias comprendidas entre 5 y 60 W, de muy diversas formas y longitudes, aunque siempre reducidas, para uso doméstico e industrial. La mayoría de las veces se fabrican con casquillo E37, para ser acoplados a los portalámparas normales. Según cuál sea su construcción y el equipo de arranque que lleven incorporado, de forma compacta, podemos clasificarlas en cuatro tipos, a saber:

- Lámparas compactas integrales de casquillo.
- Lámparas compactas integrales con dos patillas.
- Lámparas compactas sin equipo de arranque y cuatro patillas.
- Lámparas compactas con cebador incorporado y dos patillas.

En la figura 3.6 vemos algunos tipos de lámparas compactas, de muy diversas formas y grado de compacidad.

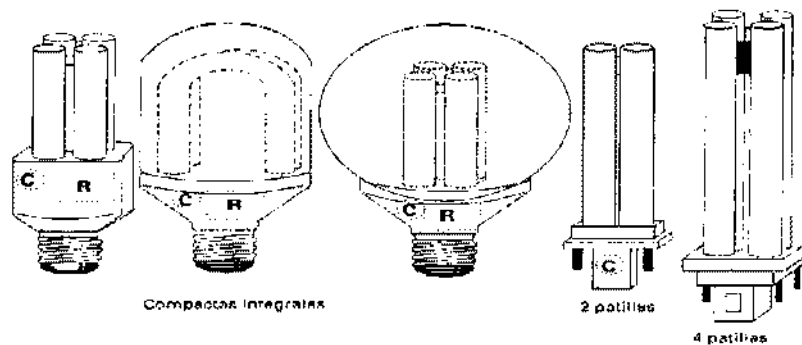


Figura 3.6 Tipos de lámparas compactas o de bajo consumo



a) Lámparas compactas integrales de casquillo

Este tipo se fabrica con casquillo tipo E27, Edison, e incluye en su base el equipo convencional de encendido (reactancia y cebador) o un equipo electrónico de arranque. Algunas se construyen con una ampolla exterior de vidrio, rayado o esmerilado, e incluso con un reflector incorporado.

b) Lámparas compactas integrales con dos patillas

Este tipo es similar al anterior en cuanto al equipo integrado, pero en vez de casquillo roscado tiene un conector de dos patillas para introducirlo en un zócalo de conexión apropiado.

c) Lámparas compactas sin equipo de arranque y cuatro patillas.

Este tipo de lámpara no tiene el equipo de arranque incorporado, por lo cual necesita un equipo adicional externo; tiene un conector de cuatro patillas como cualquier tubo fluorescente.

d) Lámparas compactas con cebador incorporado y dos patillas.

Este tipo de lámpara tiene integrada en su base solamente el cebador, necesitando una reactancia exterior; tiene por tanto un conector de dos patillas.

3.6 Lámparas de vapor de mercurio

En este tipo de lámparas la luz se genera directamente por el arco eléctrico que se forma entre los electrodos. Tiene una emisión de luz característica azul-verde, aunque se a logrado que emita radiaciones de los demás colores en forma limitada, por medio de polvos fluorescentes en la superficie interior del bulbo exterior de vidrio.

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



Funcionamiento

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

Generalmente todas las lámparas de vapor de mercurio se constituyen con dos bulbos: uno interior de cuarzo en el cual se produce el arco, y otro exterior de cristal que protege el bulbo de cuarzo contra cambios de temperatura y actúa como filtro para eliminar algunas longitudes de onda de radiación del arco. El espacio entre los dos bulbos se llena con un gas inerte.

En la figura 3.7 se muestra las diferentes tipos de lámparas de mercurio y su esquema de conexiones.

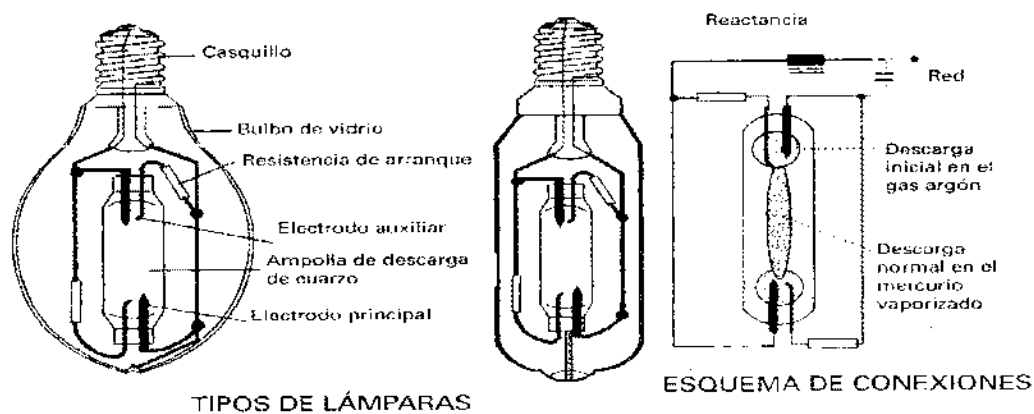


Figura 3.7 Tipos de lámparas de mercurio y esquema de conexiones.



Las desventajas de las lámparas de vapor de mercurio son:

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

Sus ventajas son:

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

3.7 Lámparas de haluros metálicos

Funcionamiento

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

El bulbo exterior envolvente no necesita la capa interior de fósforo para mejorar el espectro electromagnético visible de la lámpara, pues como se menciono, los colores



faltantes son añadidos por las sales de haluros metálicos. Sin embargo, el bulbo exterior sirve como filtro para impedir que salgan los rayos ultravioleta, que son dañinos a los seres vivos, también protege el tubo del arco, proporcionándole una temperatura constante de funcionamiento.

En la figura 3.8 se muestran los diferentes tipos de lámparas de haluros metálicos, a) alta potencia, b) baja potencia, c) tungsteno

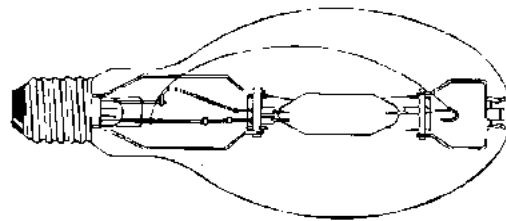


Figura 3.8a Lámpara de haluros metálicos de 400 W de alta potencia

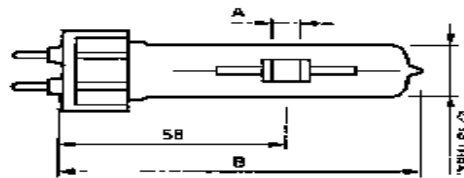


Figura 3.8b Lámpara de haluros metálicos de baja potencia

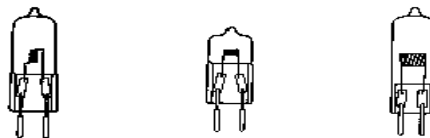


Figura 3.8c Lámpara de halógenas de tungsteno con diferentes configuraciones de filamentos.

3.8 Lámparas de luz mixta

Funcionamiento

Están formadas por una ampolla llena de gas cubierta con una capa de fósforo que contiene, además, el tubo de descarga de mercurio conectado en serie con un filamento de tungsteno.



La capa de fósforo convierte la radiación ultravioleta de la descarga de mercurio en luz visible, a esta se agrega la radiación visible del tubo de descarga y la luz cálida del filamento incandescente. La radiación de estas dos fuentes de luz (mercurio e incandescente) se combinan armoniosamente al atravesar la capa de fósforo, produciendo una luz blanca y difusa con un buen rendimiento de color y un buen aspecto cromático.

El filamento de tungsteno actúa como reactancia para la descarga de la ampolla mercurial estabilizando la corriente de la lámpara. Por lo tanto, no necesita reactor o balastro y pueden conectarse directamente a la red con los mismos sockets o casquillos de las lámparas incandescentes y sin necesidad de cambiar el cableado o el tablero.

Las lámparas de luz mixta tienen doble eficiencia que las incandescentes y una vida útil casi siempre a veces mayor.

En la figura 3.9 se muestra la lámpara de luz mixta.

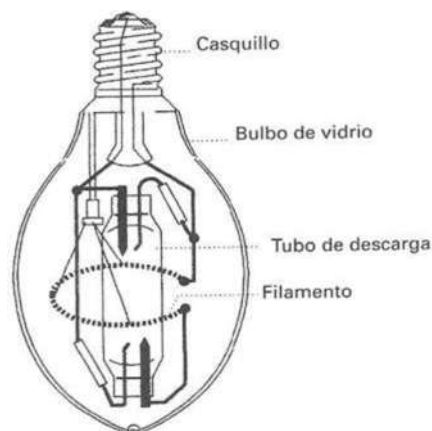


Figura 3.9 Lámpara de luz mixta

3.9 Lámparas de vapor de sodio de alta presión y baja presión

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



Este tipo de lámpara son las de mayor eficiencia de todos los demás tipos, incluyendo las de vapor de mercurio. Son ideales para el alumbrado a grandes alturas de montajes y amplias áreas en donde no se requiere trabajo de detalle, por lo tanto, son útiles en bodegas industriales, áreas generales, patios de maniobras, calles avenidas, autopistas, parques recreativos y estudios. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado al seleccionar este tipo de alumbrado para áreas donde se requiere inspeccionar, por ejemplo, defectos en ampollitas de vidrio, pues el alta brillo de las lámparas reflejada en el vidrio impide ver tales defectos.

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

3.9.1 Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Estas lámparas utilizan un tubo de arco de material cerámico como la alúmina policristalina. Tiene una eficiencia luminosa de 120 lúmenes por watt de luz blanca con un tono amarillo-anaranjado. Al igual que todas las demás lámparas de descarga requieren de un reactor o balastro especial.

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

Funcionamiento

El tubo de descarga de una lámpara de este tipo contiene una cantidad tal de sodio que cuando la lámpara funciona con una presión entre 13 y 26 KN/m² permite que en el interior del tubo queden remanentes de sodio, dando como resultado un vapor de sodio saturado, al mismo tiempo que sirve para compensar la absorción de las superficies interiores.



Se utiliza también un exceso de mercurio como gas amortiguador y se incluye xenón a baja presión para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor de arco hacia la pared del tubo. El tubo de descarga es de oxido de aluminio sinterizado que resiste la intensa actividad química de vapor de sodio a la temperatura de funcionamiento de 700°C, y se aloja en el interior de una ampolla protectora de vidrio puro en la que se ha hecho de vacío.

La eficiencia luminosa es de 130 lúmenes/watt y de temperatura de color es de aproximadamente 2100°K.

En la figura 3.10 se muestran los diferentes tipos de lámparas de sodio de alta presión.

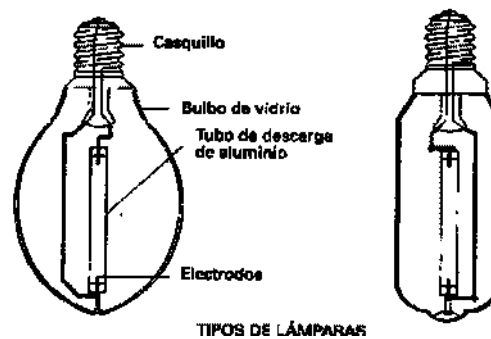


Figura 3.10 Lámparas de sodio de alta presión

3.9.2 Lámparas de sodio de baja presión

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

El tubo de descarga de una lámpara de vapor de sodio de baja presión es de vidrio; contenido sodio que se evapora a 98°C (con una presión bajísima) y una mezcla de gases inertes (neón y argón) a una presión de unos cientos de N/m² para conseguir una tensión de encendido baja. El tubo de descarga está situado en el interior de una ampolla de vidrio al vacío cubierta en su interior con óxido de indio. Este revestimiento



actúa como reflector infrarrojo y mantiene así la pared del tubo de descarga a la temperatura correcta de funcionamiento (270°C).

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

En la figura 3.11 se muestra la forma y construcción de la lámpara de sodio de baja presión.

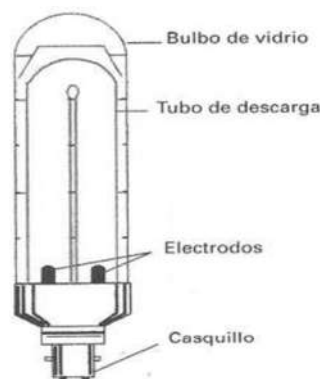


Figura 3.11 Lámpara de vapor de sodio de baja presión

En la tabla 3.1, se presentan las características más importantes de las lámparas:

Tabla 3.1: Características más importantes de las lámparas.

Lámparas	Potencia (Watts)	Temp. de color (°K)	Rendimiento (lm/W)	Índice De Rend. De Color (IRC)	Vida útil (horas)	Tiempo de encendido (minutos)
Incandescente estándar	15-300	2650-2800	2.8-17.6	100	200-800	0
Incandescente Halógena	20-1500	2600-3050	3.2-22.2	100	800-6000	0



Tabla 3.1 (Continuación)

Fluorescente Lineal	14-215	3500-6500	54.3-103.6	60-86	9000-24000	0
Fluorescente Compacta	9-42	2700-6500	52-76.2	80-84	3000-12000	0-1
Mercurio de Alta presión	80-400	3900	33.6-43.8	40-50	12000-24000	< 7
Haluros metálicos	100-2000	3700-5000	5.3V-102V 42.3H-88.7H	65-75	3000V-20000V 3000H-15000V	< 4
Sodio de alta Presión	35-1000	1900-2000	57.9-126	22	16000-28500	<6
Sodio de baja Presión	18-135	1800	87.2-141.8	0	16000-18000	< 6
Luz mixta	160-500	3940-5100	16.9-22.5	50	8000	< 2

3.10 Elementos reflectores

Como ya sabemos, las lámparas poseen unas características físicas que determina la geometría de su flujo y que depende de la disposición del filamento o quemador, así como los obstáculos fijos que la luz encuentre en su camino, puesto de no existir éstos, la emisión estaría caracterizada únicamente por su emisor. Si este fuese puntiforme, dispondríamos de una emisión esférica, y en caso de una superficie o línea, de emisión con forma más o menos ablató-esferoide.

Es lógico suponer que cualquier sólido situado en un vector del flujo variará la naturaleza de este, ya sea por alterar la direccionalidad por reflexión o por suprimir una parte de este por absorción, e incluso cambiando el propio balance cromático del haz, si la absorción es selectiva.



En el mundo real, la contraposición con el teórico, todo sólido es reflejado en mayor o menor grado, ya que ni el terciopelo o el negro de humo absorben la luz en su totalidad.

La mayoría de los reflectores reales son especulares, es decir, aquellos que, teóricamente, dirigen el haz íntegramente, sin alterar su cromaticidad. Sin embargo, en la práctica se denomina reflectores a todos los cuerpos, especulares o no, cuyos planos cambian la dirección del haz, mediante un proceso de reflexión, un cierto nivel de difusión y absorción selectiva que altera, a veces sensiblemente, la cromaticidad del mismo.

3.11 Reflectores

¿Qué es un reflector?

Son determinadas superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y la dirección del flujo de la lámpara.

La mayoría de las luminarias convencionales van provistas de un reflector de una u otra forma con objeto de crear una distribución adecuada de la luz.

Pero debemos tener en cuenta, que un reflector solo controla parte de la luz emitida.

- Luz emitida por la lámpara.
- luz reflejada por el reflector.

3.11.1 Reflectores especulares

Son estos los verdaderos reflectores, y se construyen únicamente de metal. Estos tipos de reflectores especulares se utilizan cuando requieren de una forma precisa o casi precisa de distribución de la luz, como ocurre en las luminarias para alumbrado por proyección, de haz concentrado.

Los reflectores pueden estar formados exclusivamente por el propio metal o soporte por otro elemento, como el vidrio, plástico o incluso otro metal.

Técnicamente los reflectores especulares se dividen en dos grupos, según sea su disposición física:



- a) Reflectores frontales.
- b) Reflectores de fondo.

a) *Reflectores frontales*

Son aquellos en los que la superficie reflectante es la primera que encuentra el haz en su camino y que, paradójicamente, engloban los reflectores de mejor calidad y los peores.

De hecho, cualquier metal debidamente pulimentado es un reflector.

El problema con un reflector metálico monolítico es que su rendimiento depende de la calidad del pulido, de las características geométricas, de la porosidad y pureza del metal, así como la degradación del mismo por oxidación y otros agentes externos.

A veces se recubren con una capa protectora que, aunque reducen su eficacia y los convierten técnicamente en reflectores de fondo, imparten al reflector la ventaja de protegerlo contra los agentes externos.

Este último tipo de reflector suele tener un rendimiento más alto que los de fondo, propiamente dicho, y pueden resultar considerablemente más económicos (*figura 3.12*).



Figura 3.12

b) *Reflectores de fondo*

En estos reflectores, el haz debe atravesar primero la estructura del soporte, como sucede con un espejo corriente, donde primero el haz atraviesa el vidrio para más tarde llegar al reflector (*figura 3.13*).



Figura 3.13



Esto resuelve el problema de la fragilidad de la superficie reflectante y del pulido, ya que el vidrio puede tener una buena planimetría. Así mismo, la limpieza es sencilla y eficaz.

No obstante, este tipo de reflectores presenta una serie de problemas. El primero es la refracción del medio del soporte, ya que es inevitable que el haz se desvíe al recorrer el vidrio, por lo cual es más difícil predecir su comportamiento.

Además estos reflectores sufren de un imponderable mecánico; un reflector frontal depende de su precisión geométrica para un buen funcionamiento y está determinado por la planimetría de una cara o superficie.

En el caso de un reflector de fondo, el problema se multiplica, ya que no es suficiente con que una cara este tratada o pulida (donde se deposita el reflector), la cara opuesta debe estar igualmente acabada, pero además ambos planos deben tener un paralelismo perfecto.

En el caso de espejos planos, el tema no suele revestir una mayor dificultad, ya que los procesos mecánicos están muy bien desarrollados para efectuar mecanizaciones planas con un altísimo nivel de precisión.

Sin embargo, la mayor parte de los reflectores suelen ser curvos o con una geometría compleja. Obtener un paralelismo entre planos en este tipo de espejo es prácticamente imposible.

Por otro lado, hay un problema de resistencia térmica. En este tipo de reflectores el haz debe atravesar una capa de vidrio en dos direcciones, con una absorción inevitable, y un calentamiento del soporte que puede llegar a una fractura del mismo, causada por las tensiones internas del medio.

Sus ventajas principales son la posibilidad de construcción de formas muy complejas con relativa facilidad, mediante prensado, soplado o vaciado del soporte, la facilidad de su mantenimiento y su bajo costo.

3.11.2 Geometría de los reflectores

Los reflectores se dividen en dos tipos generales en función de su geometría.

- a) *Reflectores planos.*
- b) *Reflectores curvos.*



a) Reflectores planos

Este tipo es el más sencillo de reflector que, en teoría, no altera la geometría intrínseca del haz, tan solo cambia la dirección de una parte del mismo, de forma que la porción del haz deseada se dirigía hacia una direccionalidad concreta. Un ejemplo puede ser la pantalla de un equipo fluorescente, donde una serie de reflectores planos dirigen la porción del flujo incidente en una dirección definida (*figura 3.14*).

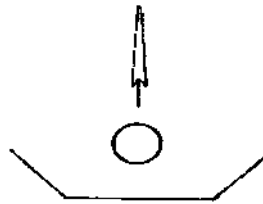


Figura 3.14

Debido a la relación existente entre el ángulo de luz incidente y el reflejado se utilizan, a menudo, los reflectores planos, conjuntamente con lámparas que ya viene provistas de un reflector plano y que, por lo tanto, tiene una emisión unidireccional o con cualquier tipo de lámpara y un reflector curvo, para acortar los proyectos y hacerlos más compactos, o simplemente para crear un camino de haz determinado (*figura 3.15*).

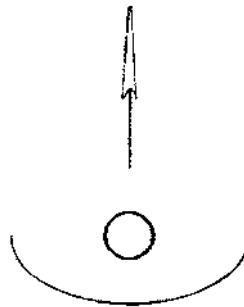


Figura 3.15

El tipo de reflector plano que se utiliza en luminarias del tipo fluorescente suele estar fabricado de aluminio, con pulido químico/eléctrico, por lo que la calidad del acabado suele ser muy buena.



Este tipo de aluminio, en planchas finas a partir de 0.2/0.3mm, recibe el apelativo de aluminio «superpureza» y se suministra generalmente en rollos o planchas, con la cara reflectante protegida por una película plástica que actúa de barrera durante el mecanizado y manipulación del reflector.

Este tipo de metal tiene un poro muy cerrado, cosa que influye favorablemente en el índice de reflectancia y que lo hace idóneo para reflectores plegados.

Otros tipo de reflector plano lo constituye los espejos frontales o de fondo, aunque su utilización es mucho más restringida.

b) Reflectores curvos

Así como los reflectores planos solamente alteran la direccionalidad del haz, los reflectores curvos, adicionalmente, tiene la propiedad de alterar y rectificar la geometría del haz, dirigiendo el flujo hacia un punto determinado.

Los reflectores curvos obedecen a dos configuraciones básicas.

- a) *Reflectores de revolución.*
- b) *Reflectores asimétricos.*

a) Reflectores de revolución

Los reflectores curvos son complejos de diseñar, puesto que obedecen a una gran cantidad de cálculos angulares, de cuyo número depende la precisión del mismo; es decir, cuantos más puntos se calculen en una lente o reflector curvo, más alta será su precisión.

Este tipo de reflectores adoptan una geometría esférica, parabólica o elipsoidal, la cual depende de los requerimientos del reflector (*figura 3.16*).

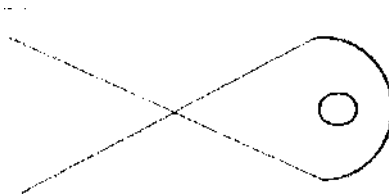


Figura 3.16



Los reflectores esféricos generan un foco secundario con las características del foco principal, en tanto que los parabólicos, elipsoidales y sobre todo las elipses corregidas y formas mixtas «mezclan» el haz, de forma que colocando una pantalla a una distancia anterior al foco secundario se obtiene manchas muy homogéneas.

El término «mancha» se refiere a la superficie que se origina al seccionar el cono de proyección a una cierta distancia antes de su resolución. Este punto de resolución, aunque en teoría debería ser un punto, en este tipo de reflectores, en términos prácticos, no lo es.

En un binomio fuente de luz/reflector idealizado, el foco secundario sería un punto. En la práctica, y dado que la fuente de luz no es puntiforme, el producto en el foco es una forma generada por la arquitectura del filamento o la masa de plasma en una lámpara de descarga con una forma aleatoria, y lo que es más importante, con una intensidad densidad de flujo en toda la superficie muy poco uniforme.

Para poner un ejemplo de fácil comprensión: todos hemos ido al cine en muchas ocasiones y, si ha leído el texto hasta este punto, apreciara fácilmente el sistema utilizado y cómo funciona el aparato para iluminar la pantalla (note que no decimos cómo funciona el aparato para producir el efecto del cine, o proyección de la película, ya que ello no nos incumbe en absoluto, pero iluminar la pantalla si).

Partiendo de una lámpara de descarga de suficiente potencia, un reflector curvo dirige el flujo de la lámpara en la dirección general de la película.

Para iluminar una película de 35 a 70 mm no necesitamos un punto, si no una mancha con dimensiones aproximadas de 20 X 35 mm, que en la práctica se traduce por un círculo de 38 mm de diámetro. Un sistema óptico posterior para encuadrar y ajustar el foco, de forma que las imágenes se vean con nitidez, y el sistema está completo.

No obstante, si ahora nos fuésemos con un luxómetro manual al plano de la pantalla y empezásemos a tomar medidas, probablemente se sorprendería al comprobar que los niveles de la iluminación de la pantalla son muy dispares, especialmente entre el centro y los extremos.

La gran pantalla, delante de la cual nos sentemos, es tan solo una imagen muy ampliada de la mancha producida por el reflector de la lámpara, recortada por una máscara para que posea la geometría de un rectángulo.



Para que todas las partes de la pantalla tuviesen un idéntico nivel de iluminancia, sería necesario que la mancha no solo fuese totalmente homogénea, sino que el sistema óptico concentrase una cantidad superior de luz en los extremos, ya que la distancia desde el proyector al centro de la pantalla es inferior que la distancia al extremo. Puesto que la iluminancia de un haz de luz en una superficie es el producto de la inversa al cuadrado de la distancia desde la fuente de la luz al plano, resulta que para obtener una iluminación de la pantalla totalmente igual en toda la superficie, necesitamos un sistema perfecto, cosa que no existe en el universo.

Lo más cercano a la perfección en la iluminación de grandes superficies, partiendo de una fuente de luz, se consigue mediante el uso de reflectores mixtos, los cuales mezclan los haces, como en el caso de las elipses corregidas, y dan como resultado unas manchas homogéneas, lo cual es muy importante en los sistemas de proyección más sofisticados para que se minimicen las áreas oscuras o menos iluminadas.

Además. La mancha lumínica sufre una deformación cuando el observador mira hacia el reflector bajo distintas condiciones, o cuando se desplaza a lo largo de un eje, lo cual añade complejidad a la determinación de la curva de distribución de un reflector de revolución (*figura 3.17*).

Esta curva depende en grado sumo de la posición de la lámpara con respecto al reflector, es decir, a la ubicación del F1, puesto que cualquier desviación posicional lleva consigo una pérdida de rendimiento considerable.

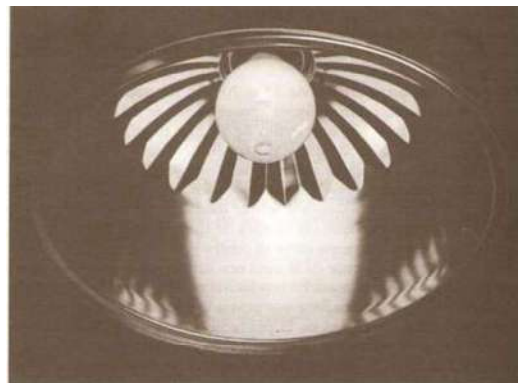


Figura3.17



Por ello, en proyectores y aparatos de una cierta precisión la lámpara va montada en un soporte ajustable que permite el ajuste micrométrico de la fuente de luz en el F1, para obtener el mayor rendimiento posible.

Unas de las razones del éxito de las lámparas halógenas con reflector dicroico es, ciertamente, la precisión en el montaje del bulbo que contiene el filamento mediante sistema totalmente automatizado. Estos reflectores, por cierto, son de tipo frontal, dado que la capa reflectora está situada en el interior del mismo.

b) Reflectores asimétricos

Como su nombre lo indica, son aquellos que no generan una mancha más o menos circular sino ovaloide. Por regla general tienen menos precisión que los reflectores de revolución, y se utilizan para la iluminación de grandes espacios.

Este tipo de reflector se construye generalmente mediante estampación o embutición de aluminio y su costo es económico. Este es el tipo de reflector que hay en muchos tipos de luminarias, construido a base de diversos planos o curvas simples.

Este tipo de reflector es también muy común en el caso de luminarias para iluminación en avenidas, proyectores para espacios deportivos y alumbrado de grandes zonas.

3.11.3 Tipos de reflectores especulares

Con reflectores especulares, la lámpara y la forma de la superficie determinan el modo en que la luz se distribuye a través del haz reflejado.

- 1.- Reflector circular.
- 2.- Reflector parabólico.
- 3.- Reflector elipsoidal.
- 4.- Reflector Hiperbólico.

1.- Reflector circular

Se emplean con profusión en sistemas de proyección y luces puntuales de estudio, “Spots” para aumentar la intensidad de la luz focalizada por el sistema de lentes.



Los reflectores cilíndricos, o con forma de artesa, junto con los reflectores esféricos, se emplean con algunos tipos de lámparas tubulares incandescentes, por ejemplo las lámparas utilizados en vitrinas. Colocando la lámpara en el foco del reflector, la luz se dirige precisamente allí donde se necesita. *Figura 3.18 reflector circular*

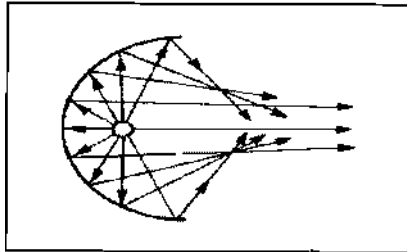


Figura 3.18 reflector circular

2.- Reflector parabólico.

La propiedad fundamental del espejo reflector de sección transversal parabólica consiste, en que una fuente de luz puntual, situada en foco, dará lugar a un haz paralelo de rayos reflejados según podemos ver en la siguiente figura 3.19.

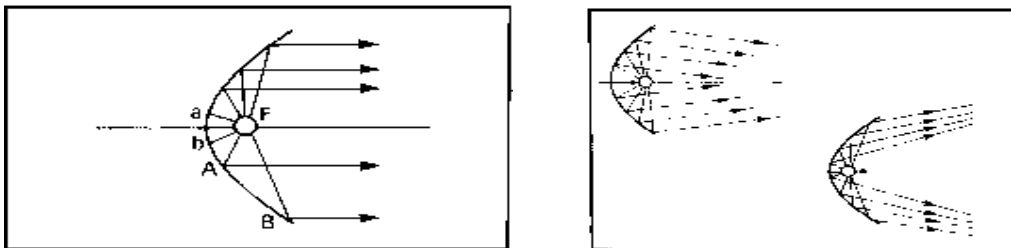


Figura 3.19 reflector parabólico

Los reflectores parabólicos se emplean mucho en alumbrado interior por proyección.

3.- Reflector elipsoidal

Es un instrumento de iluminación de uso teatral con un reflector elipsoidal, el cual dirige los rayos a un punto focal conjugado donde se localizan cuchillas ajustables.



El sistema consta de dos lentes plano convexo o un lente de paso, con enfoques en el punto focal (y las cuchillas), para producir una luz dura y afilada que está formada por las cuchillas interiores al seleccionar el modelo. Debido a este sistema de operación de mando, los reflectores elipsoidales son particularmente valiosos como instrumentos frontales, donde se debe cortar al borde del proscenio y la luz debe guardar el mínimo derramamiento. Debido al sistema conjugado focal, la luz se invierte del mismo modo que las imágenes entran a nuestro cerebro por los ojos, y debido a esto, la cuchilla de arriba controla el fondo de la luz y la cuchilla de abajo controla la cima de luz.

La mayoría de elipsoidales proyectan imágenes, cuentan con hendiduras para efectos (porta globos) localizadas al lado de las cuchillas. En las hendiduras se colocan los globos, que son laminas recortadas de imágenes determinadas por el diseñador o de manufactura; por ejemplo: un árbol, ventanas, edificios, hojas de árbol, etcétera, generalmente utilizados para efectos de atmósferas o especiales.

En la figura 3.20 se muestra la alineación de la lámpara elipsoidal.

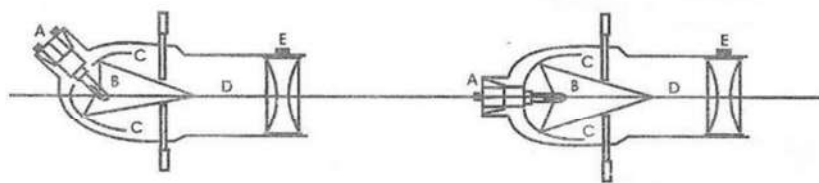


Figura 3.20 alineación de la lámpara elipsoidal

EL FILAMENTO DEBE ESTAR EN EL CENTRO DEL PUNTO FOCAL

- A TORNILLO DE AJUSTE
- B PUNTO FOCAL PRIMARIO
- C REFLECTOR ELIPSOIDAL
- D PUNTO FOCAL SECUNDARIO
- E LENTE PLANO CONVEXO

Los reflectores elipsoidales tienen una enorme variedad de tamaños. El diseño de lámparas va de 300 a 3000 watts, con una variedad de lentes que se clasifican según el tamaño: de 4 1/2" a 12" de diámetro. Los reflectores elipsoidales más antiguos



requirieron lámparas incandescentes que, debido a la posición del filamento, por su diseño se quema hacia arriba. Así, una porción bajo el reflector tiene que estar cortado para la alineación del filamento en el reflector. Con lámparas de tungsteno-halógeno se logro gran eficacia, pero el campo de enfoque todavía es desigual debido a la sección pedida del reflector.

Más tarde, los reflectores se diseñaron más pequeños, especiales para lámparas de tungsteno-halógeno: axiales montados. Este posicionamiento horizontal de la lámpara utiliza todo reflector y así proporciona un campo igual de luz y tiene más eficacia. Elipsoidales de foco variable, por lo común llamado **leko zoom**, están entre los reflectores más versátiles en el mercado.

4.-Reflector hiperbólico

El último contorno reflector básico a considerar, es la hipérbola.

Al contrario opera la elipse, el segundo foco de la hipérbola se encuentra atrás del reflector y los rayos de luz divergen desde ese punto. Por tanto un reflector hiperbólico solamente puede producir un haz divergente figura 3.21.

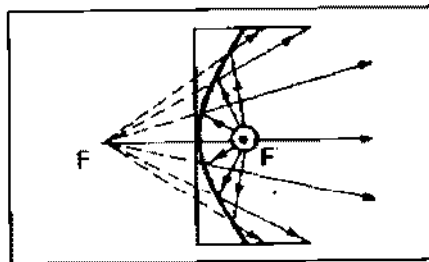


Figura 3.21 reflector hiperbólico

El reflector de sección hiperbólica produce un haz divergente pero, por ser poco profundo resulta difícil de apantallar.

3.11.4 Tipos de reflectores según el flujo máximo emitido.

En la siguiente tabla 3.2, se expresa el nombre que se da a los reflectores, según la situación del flujo máximo emitido.



Tabla 3.2 Tipos de reflectores

Angulo α del máximo flujo luminoso	Reflector
0° a 30°	Intensivo
30° a 40°	Semiintensivo
40° a 50°	Dispersivo
50° a 60°	Semi extensivo
60° a 70°	Extensivo
70° a 90°	Hiperextensivo

Conociendo la variación de la iluminación en función de la distancia, variación que se puede deducir de la curva de distribución luminosa, se puede determinar la distancia, que debe haber entre los reflectores, de forma que, sobre el plano de trabajo se obtenga un nivel de iluminación lo más uniforme posible. Para ello, llamaremos

e = distancia entre dos reflectores contiguos.

d = altura de La lámpara sobre El plano útil de trabajo (generalmente se adopta como plano útil de trabajo una superficie situada a 0.85 m del suelo).

En estas condiciones según la relación $\frac{e}{d}$ se adoptan los siguientes tipos de reflectores:

Para $e \leq 0.9 d \rightarrow$ Reflectores intensivos

Para $0.9 d < e < 1.2 d \rightarrow$ Reflectores semiintensivos

Para $1.2 d < e < 1.5 d \rightarrow$ Reflectores dispersivos

Para $1.5 d < e < 2 d \rightarrow$ Reflectores semiextensivo

3.11.5 Reflectores dispersores

En la reflexión dispersa, no se forma una imagen especular de la fuente, como sucede en el caso especular, a pesar de ello, el ángulo de máxima intensidad reflejada es igual al ángulo de incidencia.



Los reflectores dispersores que pueden ser de sección transversal circular, parabólica, o elíptica y de forma esférica o cilíndrica, se emplea donde se requiera un grado moderado de control óptico, para producir un haz de forma específica aunque el mayor énfasis deba ponerse en conseguir un haz suave (es decir, una distribución de luz exenta de irregularidades bruscas). Este tipo de reflectores ayuda a suavizar las discontinuidades en la distribución de la luz, debida a las imperfecciones en la forma del reflector producidas durante el proceso de fabricación.

Existen varias formas de conseguir un acabado dispersor. La reflexión dispersa es más pronunciada cuando una superficie especular (por ejemplo aluminio pulido) se martillea o moldea para obtener un estampado uniforme cuidadosamente diseñado. De esta forma es posible controlar la dispersión de la luz casi en cualquier modo que se desee. El modelo de estampación dispersante más comúnmente empleado consiste en pequeños hoyuelos o abolladuras como los que se obtienen a través del proceso denominado martillado o abolladura.

Los reflectores dispersores se utilizan en alumbrado de exhibición y en algunos tipos de proyectores, donde sea particularmente importante una distribución de luz bien definida pero uniforme.

3.11.6 Reflectores difusores

En el extremo opuesto a la reflexión especular se encuentra la reflexión difusa. Una superficie difusora teóricamente perfecta es aquella que aparece en todas direcciones la luz incidente desde cualquier ángulo.

Este tipo de reflectores no pueden proporcionar un control del haz fino o detallado, pero son inapreciables para la tarea menos exigente de dirigir masivamente la luz hacia amplias zonas de trabajo.

Los materiales con acabado mate y las pinturas lisas proporcionan superficies con acabado difusor.

Este tipo de reflector se utiliza en iluminación interior, en general para proporcionar niveles de luminancias bastante uniformes.



3.11.7 Reflector fresnel

Este instrumento proporciona una suave difusión de luz. La corta longitud focal (distancia entre el espejo reflector y el lente) permite que el fresnel sea más pequeño, más ligero y más fácil de manejar, es más eficaz porque el lente es más estrecho que la lámpara (captura más la luz), y requiere menos espacio para colgarse. Si se limita su uso a la parte anterior al proscenio, el lente de fresnel (el lente fresnel fue diseñado para faros y para reducir el espesor del vidrio) da una suave difusión de luz (*figura 3.22*).

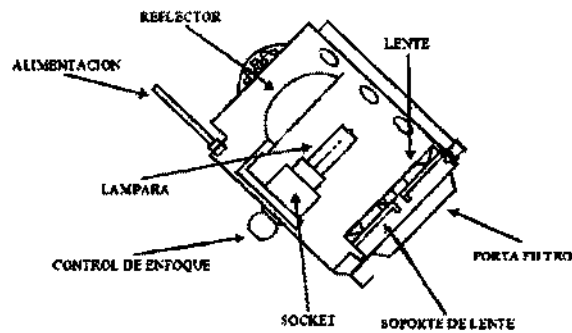


Figura 3.22 Reflector fresnel

3.11.8 Reflector par

Un par es básicamente una “lata”. Su diseño hace que el uso de la lámpara par sea práctico. Es el instrumento de batalla en la iluminación de conciertos, y trata de luchar por el mismo reconocimiento en aplicaciones teatrales. El par es versátil, durable, y es un instrumento de peso ligero para su enfoque. Tiene dos dimensiones, anchura y longitud, marcando un rectángulo, la dirección rectangular se controla girando el socket y la lámpara.

Los par son muy simples de usar. En realidad no hay mucho que hacer: apuntar y ya está.

Dependiendo del tipo de lámpara seleccionada, se puede utilizar una luz de par para un baño general de luz (*figura 3.23*).

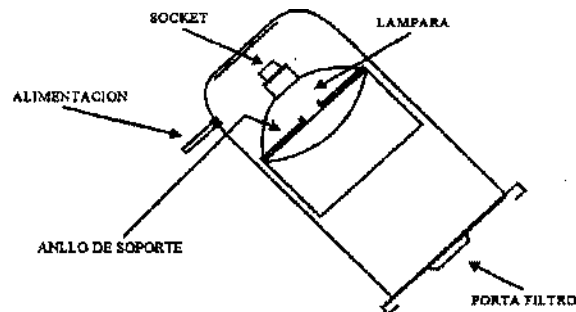


Figura 3.23 Reflector par

3.11.9 Difusores

Elemento de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa.

El difusor translucido, o difusor transmisor, esparce la luz emitida por la lámpara o lámparas en todas las direcciones, reduciendo así el brillo de la luminaria para todos los ángulos de visión.

Los difusores se fabrican normalmente de vidrio opal para aquellos luminarias que alojan lámparas incandescentes y de plástico translucido (generalmente poliestireno o acrílico) para las equipadas con lámparas fluorescentes.

3.11.10 Filtro dichroico

Es un espejo cubierto con capas alternadas de materiales de alto y bajo índice refractivo, ha sido diseñado para reflectores con longitud de onda de luz. Un espejo frio refleja los rayos visibles del espectro, y permite excitar los rayos (infrarrojos) al pasar a través del cristal. De un modo reciproco, el espejo caliente permite que los rayos visibles pasen a través del vidrio y reflejan solo los rayo de calor. Por selectividad la longitud de onda queda fuera, la filtración del dichroico puede producir color puro y tener un factor de transmisión superior a los medios de comunicación del color convencional. Este reflector es utilizado como luz decorativa y en el teatro es muy útil para espacios pequeños o efectos de iluminación concentrada (*figura 3.24*).

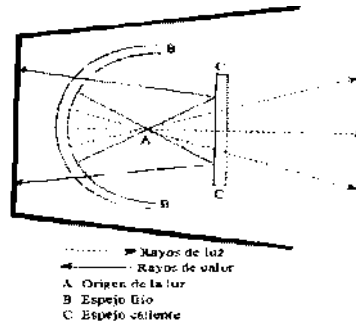


Figura 3.24 filtro dichroico

3.11.11 Diabla o batería

El uso más común para la batería o diabla es de fondo o iluminación del ciclorama. Se usa, de forma extensiva, para iluminar el escenario con un baño general de luz, principalmente de arriba hacia abajo.

Batería: justo lo que significa, una tira de luces en batería. Hay muchos tipos de baterías o diablitas. Hay baterías que emplean lámparas del tipo regular “A” que se atornillan en un reflector, otras usan lámparas tipo “R” o lámparas par que se desbordan, otras utilizan lámparas T3, y otras unidades usan lámparas MR-16 de bajo voltaje.

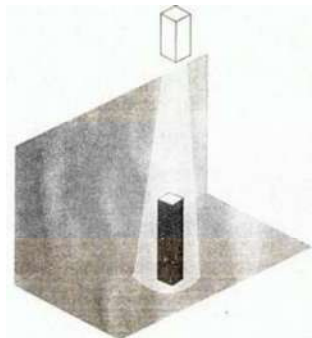
Las baterías o diablitas se conectan en 3 ó 4 circuitos (figura 3.25).



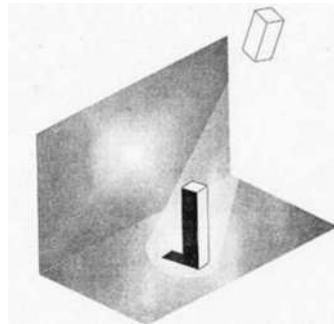
- Diabla R40
- Lámpara R40 o Par 38 a 120V 150W
- CYC
- Lámpara T3 a 120V de 500W a 2000W
- Mini batería
- Lámpara MR16 12V 75W
- Batería
- Lámpara Par 56 o Par 64 120V de 500W a 1000W

Figura 3.25 Diabla ó batería

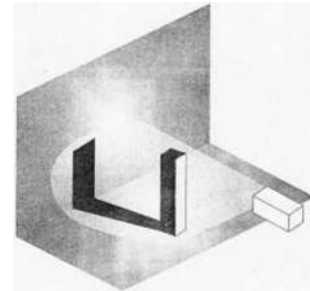
En la figura 3.26 se muestran las diferentes posiciones de los reflectores sobre el escenario.



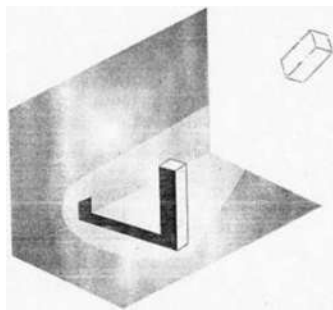
CENTAL



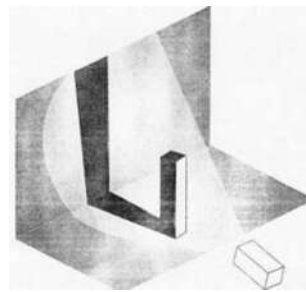
CENTAL FRONTAL



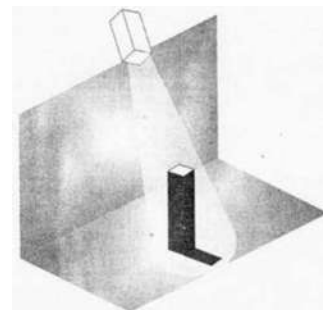
FRONTAL



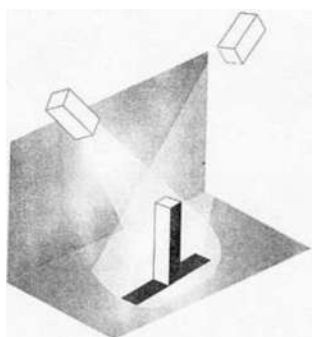
FRONTAL 45°



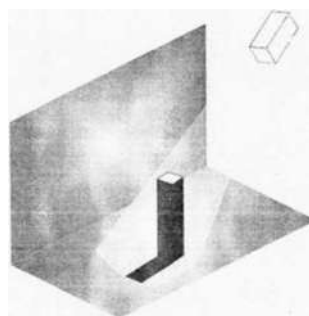
FRONTAL PISO



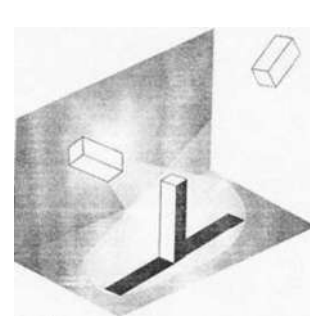
CENTAL EN CONTRA LUZ



CENTALES LATERALES

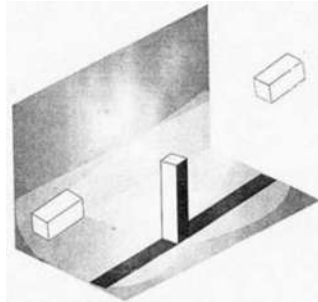


CENTAL LATERAL

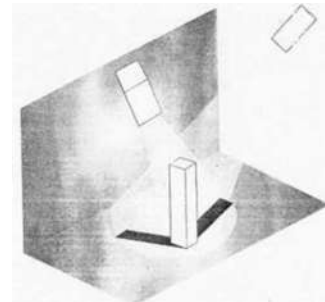


LATERALES 45°

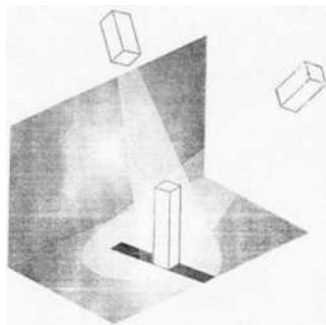
Figura 3.26 Diferentes posiciones de los reflectores sobre el escenario.



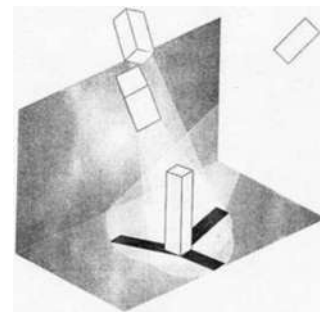
LATERALES EN CALLE



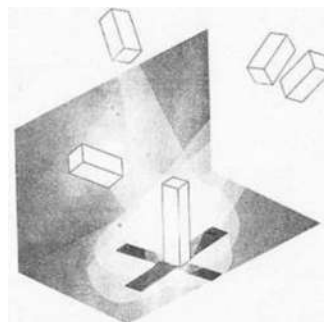
FRONTALES LATERALES A 45°



FRONTAL Y CONTRA LUZ A 45°



FRONTALES LATERALES A 45°,
CONTRA LUZ AL CENTRO A 45°



LATERALES, FRONTAL Y CONTRA LUZ A 45°

Figura 3.26 Diferentes posiciones de los reflectores sobre el escenario.



Capítulo 4. Procedimientos y metodologías para el diseño de iluminación y aplicación al auditorio.

4.1 Introducción

Establecer un procedimiento sistemático para diseñar un sistema de iluminación es bastante complejo, ya que cualquier proyecto puede tener diferentes puntos de factores y criterios a considerar. Por lo tanto, es recomendable definir y esquematizar un proyecto de iluminación bajo cuatro procedimientos principales bien definidos, estos son los que se indican en la figura 4.1:

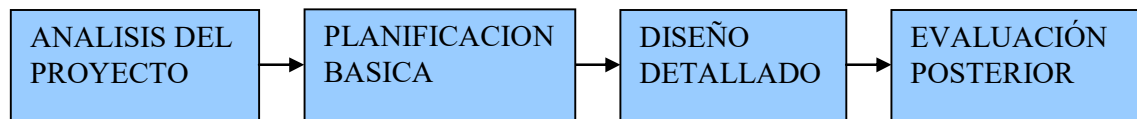


Figura 4.1 Proceso principal de diseño de iluminación

Como indica la figura 4.1, el proceso principal esta comprendido por dichos procedimientos, y se encuentra ordenado según como debería ser la metodología para cualquier proyecto de iluminación. A su vez, cada procedimiento es un proceso distinto conformado por otros procesos más. Cada uno de ellos considera los aspectos generales de diseño, de tal manera que las particularidades del proyecto dependen del procedimiento que escoja el personal encargado.

Es importante notar que para las distintas aplicaciones en los proyectos de iluminación, ya sea de interiores o exteriores, habrá dos métodos que contengan aspectos y criterios distintos para la realización y el cumplimiento del proceso. Estos métodos se llamaran: *método práctico* y *método teórico*. El *método práctico* consiste en realizar cada procedimiento de forma empírica predeterminada. El *método teórico* consiste en realizar cada procedimiento en forma detallada y deducida. A continuación se presenta en forma general los aspectos y procedimientos de cada uno de los procesos (ver figura 4.2).

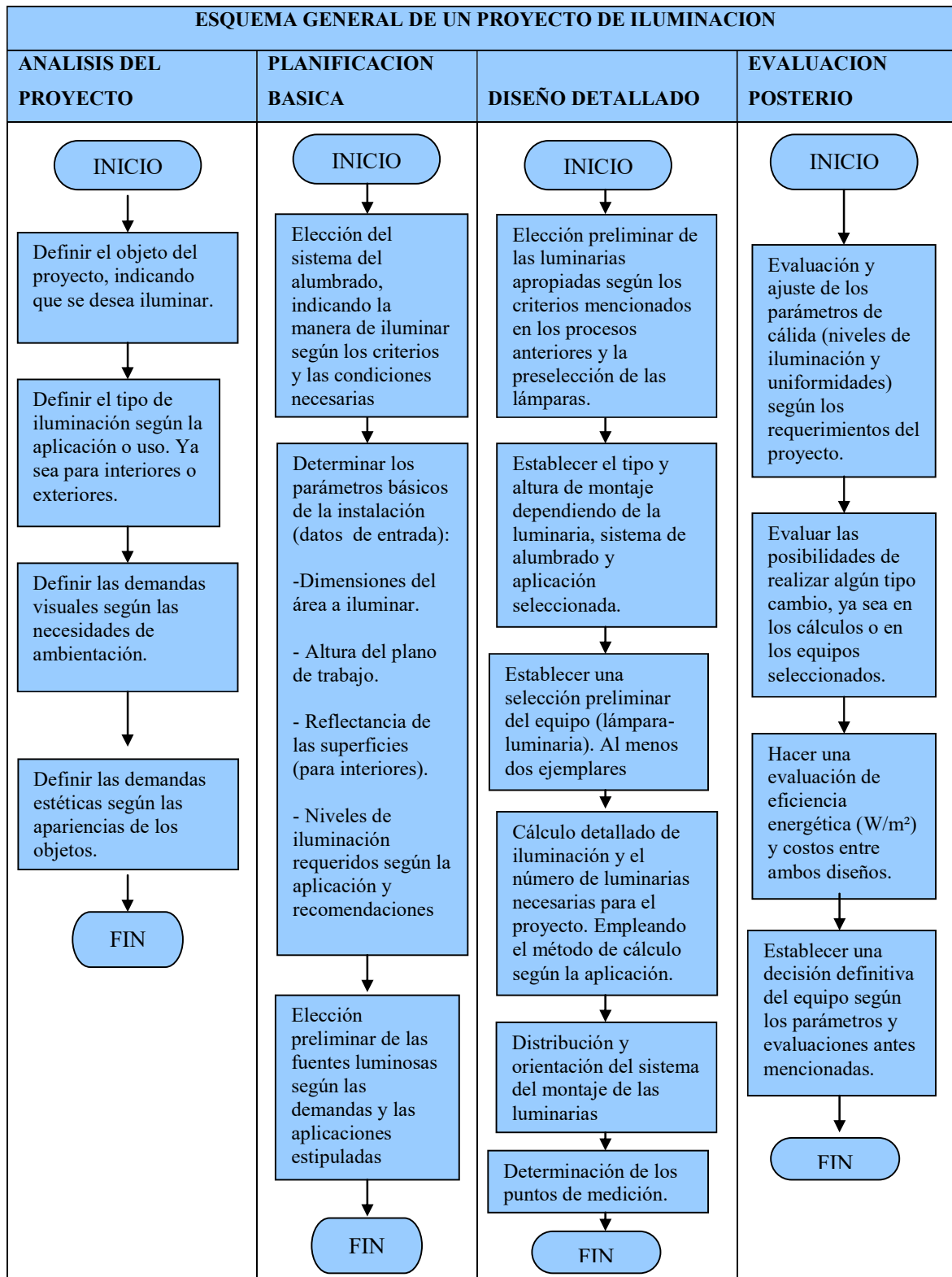


Figura 4.2 Esquemización de los procesos generales indicando los procedimientos correspondientes de un proyecto de iluminación.



4.1.1 Normatividad.

Actualmente no se cuenta con normas específicas para el cálculo de la distribución de los aparatos de alumbrado, sino muchos manuales y libros de luminotecnia son escritos por Ingenieros y empresas como Philips, Westinghouse, Osram etc... que han hecho investigaciones científicas, estudios teóricos y experimentales, para ofrecer sus propios metodologías y procedimientos para el cálculo de la distribución de los aparatos de una manera uniforme y elegir de manera adecuada el tipo de lámpara dependiendo de la tarea visual a desarrollar, variando los “niveles de iluminación” de acuerdo a la normatividad de cada país.

De acuerdo a que existen varias enciclopedias, manuales y libros para el cálculo de la distribución de los aparatos, se opto para el proyecto de la Iluminación del “Auditorio Cultural” el método de los lúmenes, por ser de mayor facilidad de comprensión y aplicación, usando los procedimientos y metodologías de la Enciclopedia CEAC de Electricidad. Luminotecnia, basada en la normatividad de los niveles de iluminación de España, debido a que los niveles de iluminación fueron prescritos mediante investigaciones científicas, para los distintos tipos de locales y diferentes tareas visuales, mejorando de manera importante los aspectos comerciales, laborales y del hogar. En México actualmente no hay manuales o libros especialmente para realizar proyectos de iluminación sino que se basan en los que actualmente ya existentes, usando como niveles de iluminación la normatividad de México, que son niveles de iluminación mínimos, estando dentro del rango de la iluminación mínima e iluminación recomendada de la normatividad de España.

4.2 Análisis del proyecto.

Este procedimiento es el primero de considerar cuando se requiere realizar nuevos diseños.

Consiste principalmente en reunir los datos necesarios que permiten determinar cuáles son las demandas visuales y estéticas de iluminación, y establecer los objetos del trabajo.



1.- Es importante definir primero el *objeto del proyecto*, especificando que es lo que se va a iluminar. Luego determinar el *tipo de iluminación* que se va emplear, ya sea iluminación de interiores o exteriores. Después se determina la *aplicación deseada* para descartar y darle más prioridad a las características fundamentales.

2.- Las *demandas visuales* son aquellas que se determinan a partir de una evaluación de las necesidades de ambientación. Por lo general se refiere a la apariencia de color del ambiente.

3.- La *demanda estética* se refiere a la posibilidad de poder destacar el objeto a iluminar (apariencia de objetos).

Por lo general, la mayoría de los datos necesarios para establecer un análisis del proyecto se obtiene de la documentación técnica que suministra el cliente. Pero también depende del responsable del trabajo o el diseñador de realizar una inspección visual de la obra, ya que permitirá completar y verificar los detalles y datos técnicos.

4.3 Planificación básica.

A partir del análisis descrito en el proceso anterior, es posible establecer un perfil detallado de las características principales que debe tener la instalación. Lo que se busca aquí es definir las ideas básicas y los datos esenciales del diseño sin llegar a establecer todavía un aspecto específico.

Por lo tanto, solo se considera los siguientes puntos de diseño: los parámetros básicos de la instalación (*datos de entrada*), la elección “preliminar” del sistema de alumbrado y las características de las fuentes luminosas requeridas.

4.3.1 Planificación básica empleada en iluminación de interiores.

Para el caso de iluminación de interiores, habrá algunas diferencias con respecto a los puntos de diseño en comparación con el diseño de exteriores. A continuación se describa cada uno de dichos puntos considerados.



4.3.1.1 Datos de entrada.

Son aquellos que definen los valores principales para los distintos tipos de cálculo a realizar en el proceso de *diseño detallado*. Dichos datos son: *dimensiones del local*, *altura del plano de trabajo*, *reflectancias* y los *niveles de iluminación*. A continuación se describe brevemente cada uno, indica el orden del procedimiento:

1.- Dimensiones del local: Se debe disponer de los planos del (de los) ambiente (s) a iluminar para obtener toda la información de las medidas del área, que son la longitud (l), el ancho (a) y la altura total (H) de dicho ambiente.

2.- Altura del plano de trabajo: El plano de trabajo es la superficie real o imaginaria situada a una cierta distancia del piso, la cual en ella estará situada el objetivo a iluminar o se realizara la actividad principal del local. Por lo general para los efectos del diseño, mientras no se indique lo contrario, se establecerá un plano de trabajo” tipo” a una altura 0.85 metros del piso.

3.- Reflectancias: La reflexión de una superficie es el porcentaje de la cantidad de la luz que se refleja de la superficie. Las superficies con colores claros, tendrán reflexiones mayores que las superficies con acabados oscuros. Por lo tanto, se deberá determinar las reflexiones del *piso*, *pared* y *techo* según sus colores o acabados.

4.- Nivel de iluminación: Un adecuado nivel de iluminación dependerá de la actividad y la demanda visual. Los niveles de iluminación pueden seleccionarse por medio de tablas recomendadas realizadas por varias sociedades y estudios de luminotecnica (Apéndice A.2).

4.3.1.2 Elección del sistema de alumbrado.

La principal función de definir un sistema de alumbrado consiste en determinar como y en que forma el diseñador va a tomar en cuenta la distribución y emplazamiento de las luminarias y la luz. En este proceso no hay un procedimiento en específico, ya que depende totalmente del criterio o la arquitectura del área a iluminar. A continuación se describen los principales sistemas de alumbrado utilizados en interiores:

- **Alumbrado general.** Se caracteriza por proveer una iluminación uniforme en todo el espacio ya que las luminarias se distribuyen en forma regular y



equidistante. Se puede dar el caso en que el área se divida en secciones, por lo que es necesario emplear un alumbrado general en cada una de ellas (ver figura 4.3).

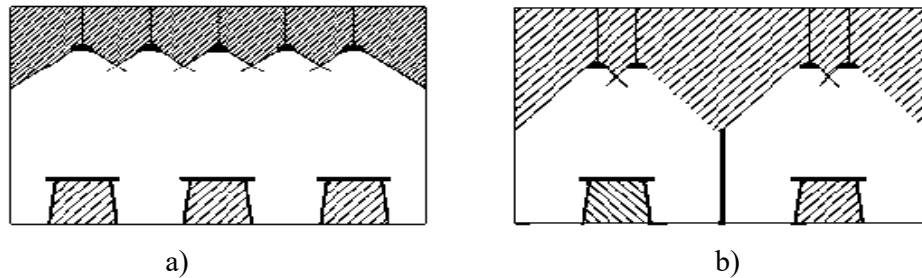


Figura 4.3: Ejemplos de alumbrados general: a) sin restricción de espacio, b) con restricción de espacio.

- **Alumbrado localizado.** En este caso el arreglo de las luminarias se diseña para proveer altos valores de iluminación solamente en el área de trabajo y donde se desea destacar los objetos. Esto hace que deje el resto de la instalación con niveles menores (ver la figura 4.4).

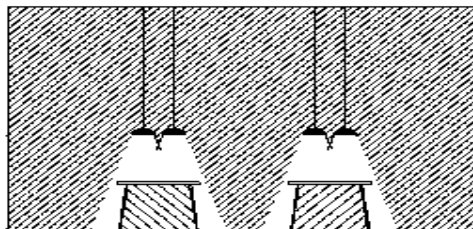


Figura 4.4: Ejemplo de alumbrado generalizado.

- **Alumbrado general y localizado.** Se caracteriza por proporcionar una intensidad relativamente alta en puntos específicos de trabajo, mediante el uso de equipos que emplean un alumbrado localizado combinado con un alumbrado general (ver figura 4.5).

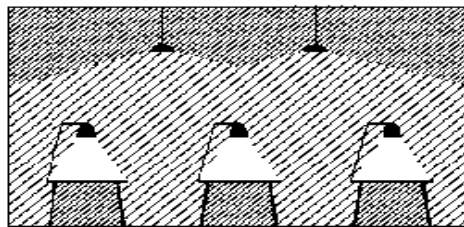


Figura 4.5: Ejemplo de alumbrado general y localizado



A continuación se presenta la tabla 4.1 que resume las características más importantes a tener en cuenta y así podrá ayudar al diseñador planificar el sistema de alumbrado más adecuado.

Tabla 4.1: Características más importantes de cada sistema de alumbrado.

Sistema de alumbrado	Disposición de la luminaria	Características luminotécnicas
General	Uniforme	<ul style="list-style-type: none">- Altos niveles de iluminación en todo el espacio.- Excelente uniformidad.- Reducción de contraste y brillos.- Minimiza la proyección de sombras.
General (con Restricción de Espacio)	Uniforme por Sectores	<ul style="list-style-type: none">- Alto nivel de iluminación en cada sector.- Excelente uniformidad- Reducción de contraste.- Minimiza la proyección de sombras.
Localizado	Irregular	<ul style="list-style-type: none">- Nivel alto de iluminación sólo en áreas de interés.- Uniformidad baja.- Contrastes elevados.- Puede causar proyección de sombras.
General y localizado	Uniforme (general) e irregular (localizado)	<ul style="list-style-type: none">- Iluminación relativamente alta en áreas de interés.- Uniformidad baja.- Contrastes elevados.-Puede causar proyecciones de sombra.

4.3.1.3 Elección de las fuentes luminosas.

Para esta etapa de planificación básica, solamente es necesario definir el tipo de lámpara que conviene dependiendo de las demandas antes descritas en el proceso de análisis del proyecto (visuales o estéticas). En pocas palabras, solo se decide el tipo de fuente luminosa (*incandescencia o luminiscencia*) y el tipo de lámpara (*incandescente, halógena, sodio de baja o alta presión, fluorescentes, etc.*) que se va emplear, tomando en cuenta las características funcionales: rendimiento luminoso (*lm/W*), temperatura de color (*°K*), índice de rendimiento de color (*IRC*) y el tiempo de encendido.



En la tabla 4.2 se indica algunos requerimientos básicos e indispensables para la selección de las fuentes con respecto al diseño deseado:

Tabla 4.2: Factores de diseño para la selección de la lámpara en el proceso de planificación básica.

Características de las fuentes	Requerimientos o factores de diseño a tener
Luminosas.	En cuenta.
Rendimiento luminoso (lm/W)	-Tiempo diario de funcionamiento. - Uso racional de la energía.
Temperatura de color ($^{\circ}K$)	- Necesidad de ambientación. - Demanda visual.
Índice del rendimiento de color (IRC)	- Demanda estética. - Reproducción de colores. - Apariencia de objetos.
Tiempo de encendido	- Tiempo de puesta en servicio de la iluminación. - Requerimientos de mantenimiento.

Por lo tanto, el procedimiento recomendado para la selección preliminar de la lámpara más adecuada según el criterio de proyecto es el siguiente:

1.- Simultáneamente, se debería seleccionar aquellas lámparas que cumplan con los requerimientos básicos según las demandas y las recomendaciones según las distintas aplicaciones existentes.

Por lo tanto, se elegirán aquellas lámparas que cumplan los valores del índice de rendimiento de color (IRC), la temperatura de color (T_c) recomendada y la aplicación requerida. Por lo general se recomienda no utilizar lámparas con índice de rendimiento de color menor 80% en espacios interiores donde trabajen personas durante un largo tiempo.

2.- De aquellas lámparas que cumplieron con las características mencionadas, se procede a seleccionar aquellas que presenten el mayor rendimiento luminoso (lm/W), ya que cuando más grande sea esta, menor será el consumo energético para conseguir la misma iluminación. Se recomienda que sólo se elijan máximo tres lámparas (por practicidad), de las tantas seleccionadas en el procedimiento anterior y así poder comparar entre ellas otros parámetros y criterios que serán aplicados en otros procesos.



Las especificaciones técnicas (potencia, forma, tamaño, modelo, vida útil, etc.) se consideraran luego, ya que la selección definitiva de la lámpara se realiza en dos procesos distintos junto con una selección de la luminaria.

4.4 Diseño detallado

En esta etapa, en función del perfil definido en la fase de planificación básica, se comienza a resolver los aspectos específicos del proyecto, estos comprenden: la selección preliminar de la luminaria, el tipo y altura de montaje, la preselección del equipo (lámpara luminaria), el número preliminar de luminarias a emplear y las ubicaciones de los puntos de medición.

4.4.1 Selección preliminar de la luminaria.

El mercado ofrece una amplia variedad de luminarias que permiten satisfacer, prácticamente, cualquier tipo de demanda. Sin embargo, se debe tener en cuenta a primera instancia, que las luminarias deben ser seleccionadas preliminarmente de acuerdo a la aplicación, los aspectos fotométricos, el tipo de lámpara y las condiciones del ambiente de trabajo. Esto significa que una vez definido las principales características, el universo de luminarias disponibles se reduce. Por lo tanto, estas se seleccionan según las distintas clasificaciones en el orden indicado:

- 1.- **Seleccionar las luminarias según el tipo de iluminación:** Interiores o exteriores.
- 2.- **Seleccionar las luminarias según el tipo de aplicación:** Alumbrado público, deportivo, áreas decorativas, áreas extensas, etc.
- 3.- **Seleccionar las luminarias según el tipo de lámpara:** Seleccionar aquellas luminarias compatibles con la preselección de lámparas en el proceso anterior.
- 4.- **Seleccionar las luminarias según su distribución luminosa:** Seleccionar aquellas según la distribución espacial de luz y el sistema de alumbrado elegido.
- 5.- **Seleccionar las luminarias según su grado de protección:** Contra el ingreso de polvo, húmeda y cuerpos extraños. De aquí se determina si la luminaria debe ser abierta, ventilada, cerrada, hermética, etc.



6.- **Seleccionar las luminarias según su tolerancia térmica:** determinar la máxima temperatura de operación según las condiciones del ambiente.

7.- **Seleccionar las luminarias según sus dimensiones físicas:** Deben concordar con las dimensiones del área y otras luminarias.

4.4.2 Establecer el tipo y altura de montaje de las luminarias.

Por lo general, las alturas de montaje de las luminarias quedan definidas por las características de la arquitectura o incluso por el cliente. Muchas veces se puede jugar con las alturas, pero hay casos donde existen restricciones, por ejemplo: estructuras, puentes, grúas, etc. A continuación se presenta los métodos de cálculo para ambas aplicaciones.

4.4.2.1 Elección de la altura de suspensión de los aparatos de alumbrado.

La altura de suspensión de los aparatos de alumbrado es una característica fundamental de todo proyecto de iluminación interior.

Llamaremos:

d = distancia vertical de los aparatos de alumbrado al plano útil de trabajo, situado, como sabemos, a 0.85 m. del suelo.

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

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

En los locales de altura normal, tales como oficinas, salas de clases, habitaciones, etc., la tendencia actual es situar los aparatos de alumbrado tan altos como sea posible. Procediendo de esta manera se disminuye considerablemente el riesgo de deslumbramiento y, como vamos a ver enseguida, pueden separarse los focos luminosos, lo que permite disminuir también el número de dichos focos.

Para iluminación directa, semidirecta y difusa la relación entre “ d ” y “ h ” será como mínimo:

$$d = \frac{2}{3}h \quad (4.1)$$



y, siempre que sea posible, se debe procurar que

$$d = \frac{3}{4}h \quad (4.2)$$

o, mejor todavía

$$d = \frac{4}{5}h \quad (4.3)$$

Para iluminación indirecta, la distancia entre los aparatos de alumbrado y el techo, no debe descender por debajo de cierto límite, con objeto de aprovechar la uniformidad de alumbrado de este último.

Generalmente, se toma

$$d \approx \frac{h}{4} \quad (4.4)$$

4.4.3 Distribución de los aparatos de alumbrado

Casi siempre, los locales, que se trata de iluminar, son de forma rectangular; en este caso, los aparatos de alumbrado se sitúan formando hieleras paralelas al eje mayor o el eje menor del local. En los demás casos, la situación de los aparatos del alumbrado depende, evidentemente, de la forma que tenga la superficie de trabajo.

En lo que sigue, llamaremos

e = distancia horizontal entre dos focos contiguos.

d = distancia vertical de los focos al plano útil de trabajo.

La uniformidad de la iluminación depende de la forma en que se cortan los haces luminosos de los aparatos de alumbrado que, a su vez depende de la abertura de dichos aparatos (aparatos concentrantes, extensivos, etc.) y además, de la altura de suspensión “ d ”. Para un mismo tipo de aparato de alumbrado, no cambia la forma en que se cortan los haces luminosos si, a la vez, se modifican proporcionalmente los valores de “ e ” y de “ d ”; dicho de otra manera, la uniformidad de iluminación es función de la relación:

$$\frac{e}{d} \quad (4.5)$$

Por lo tanto, para asegurar esta uniformidad bastara con fijar un límite superior para la relación antedicha.



Las características fotométricas de los modernos aparatos de alumbrado, conducen a las normas que vamos a desarrollar a continuación, con la ayuda de las figuras 4.6 y 4.7.

Para iluminación directa (figura 4.6) llamaremos ϕ a la fracción del flujo luminoso total del aparato de alumbrado radiada en un cono luminoso de 80° de abertura, dirigido hacia abajo y teniendo como eje vertical el aparato de alumbrado.

El valor de la relación:

$$\frac{e}{d} \tag{4.6}$$

Se adoptara de acuerdo con el valor ϕ , según se expresa a continuación:

$$\phi < 0.40 \rightarrow \text{Aparatos extensivos} \rightarrow \frac{e}{d} \leq 1.6 \tag{4.7}$$

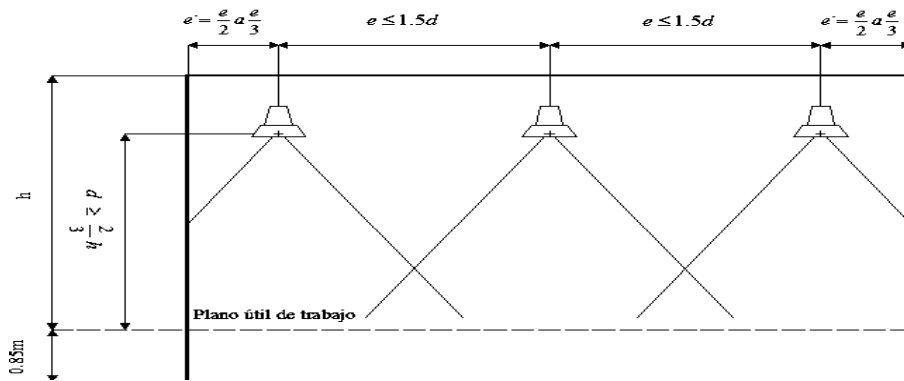


Figura 4.6.- Distribución de los aparatos de alumbrado para instalación de iluminación directa.

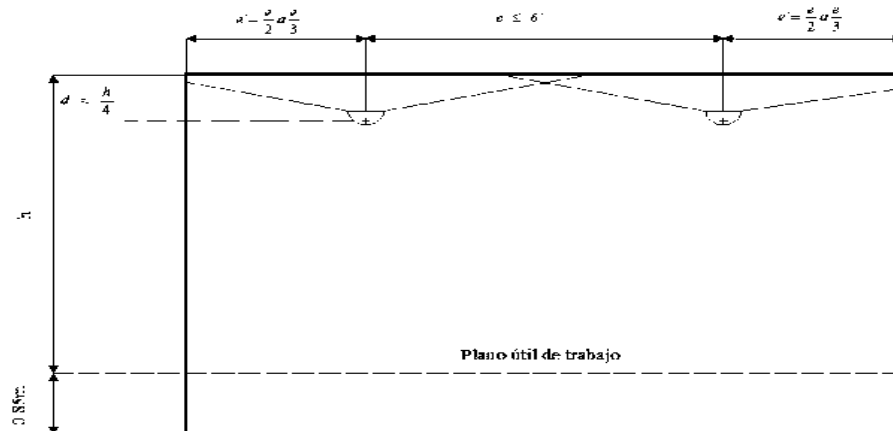


Figura 4.7.- Distribución de los aparatos de alumbrado para instalación de iluminación Semiindirecta e indirecta.



$$0.40 \leq \varphi \leq 0.45 \rightarrow \text{Aparatos medios} \rightarrow \frac{e}{d} \leq 1.5 \quad (4.8)$$

$$0.45 < \varphi \leq 0.50 \rightarrow \text{Aparatos intensivos} \rightarrow \frac{e}{d} \leq 1.2 \quad (4.9)$$

Para aparatos muy intensivos, en los que

$$\varphi > 0.5 \quad (4.10)$$

evidentemente, habrá que disminuir aun más el límite admitido para $\frac{e}{d}$

En cuanto a la utilización de estos aparatos en función de la altura del local, las normas a seguir son las siguientes:

Aparatos extensivos \rightarrow Locales con alturas hasta 4m.

Aparatos semiextensivos \rightarrow Locales con alturas entre 4m y 6m.

Aparatos semiintensivos \rightarrow Locales con altura entre 6m y 10m.

Aparatos intensivos \rightarrow Locales con altura superiores a 10m.

Para los sistemas de iluminación semidirecta y mixta (figura 4.6) la reflexión de parte del flujo luminoso por el techo y las paredes, tienden a mejorar la uniformidad; en estos casos se podrá adoptar siempre:

$$\frac{e}{d} \leq 1.5 \quad (4.11)$$

Para los casos de iluminación semiindirecta e indirecta (figura 4.7) llamaremos: d' = distancia vertical de los aparatos de alumbrado al techo.

En estos casos, resulta preponderante la influencia del techo; por lo tanto, hay que asegurar una iluminación lo más uniforme posible del mismo.

Los aparatos de alumbrado empleados en este sistema de iluminación son muy extensivos y la relación anterior toma la forma:

$$\frac{e}{d'} \leq 6 \quad (4.12)$$

Si se admite que:

$$d' \approx \frac{h}{4} \quad (4.13)$$



Lo que es razonable para habitaciones y locales de altura normal, la relación anterior se convierte en:

$$\frac{e}{h} \leq 1.5 \tag{4.14}$$

Para todos los sistemas de iluminación (directa, indirecta, etc.), para determinar la distancia desde los aparatos de alumbrado a los muros o paredes, llamaremos:

e' = distancia horizontal desde los aparatos extremos de una fila al muro perpendicular a esta fila.

En general se adopta este valor:

$$e' = \frac{e}{2} \tag{4.15}$$

y en los casos particulares que los puestos de trabajo tales como pupitres, mesas, máquinas, etc., deben situarse a lo largo de este muro, se adoptara el valor:

$$e' = \frac{e}{3} \tag{4.16}$$

4.4.4 Número mínimo de aparatos de alumbrado

Llamaremos:

L = longitud total del local que se ha de iluminar

A = anchura total del local que se ha de iluminar

Según las consideraciones expresadas en el párrafo anterior, el número mínimo n , según la longitud del local, se podrá expresar teniendo en cuenta que:

$$(n-1)e + 2e' = L \tag{4.17}$$

de donde

$$n = \frac{L - e + 2e'}{e} \tag{4.18}$$

$$n = \frac{L + e - 2e'}{e} \tag{4.19}$$

Por ejemplo, si se trata de iluminación directa o semidirecta o mixta y admitimos que:



$$e = 1.5 d \quad (4.20)$$

lo que, por otra parte, es el caso más general, tendremos para:

$$e' = \frac{e}{2} \quad (4.21)$$

$$e' = \frac{1.5d}{2} \quad (4.22)$$

$$e = 0.75 d$$

y llevando estos valores a la expresión anterior :

$$n = \frac{L + 1.5d - 2 \times 0.75d}{1.5d} \quad (4.23)$$

$$n = \frac{L}{1.5d} \quad (4.24)$$

En el caso que:

$$e' = \frac{e}{3} \quad (4.25)$$

$$e' = \frac{1.5d}{3} \quad (4.26)$$

$$e' = 0.5 d \quad (4.27)$$

y llevando los valores a la primera expresión:

$$n = \frac{L + 1.5d - 2 \times 0.5d}{1.5d} \quad (4.28)$$

$$n = \frac{L \times 0.5d}{1.5d} \quad (4.29)$$

$$n = \frac{L}{1.5d} + \frac{0.5d}{1.5d} \quad (4.30)$$

$$n = \frac{L}{1.5d} + \frac{1}{3} \quad (4.31)$$



Para el caso de iluminación semiindirecta, sabemos que:

$$e \approx 1.5h \quad (4.32)$$

y, por lo tanto, las expresiones anteriores tomarán la forma siguiente:

$$n = \frac{L}{1.5d} \quad (4.33)$$

$$\text{(para } e' = \frac{e}{2} \text{)}$$

$$n = \frac{L}{1.5h} \pm \frac{1}{3} \quad (4.34)$$

$$\text{(para } e' = \frac{e}{3} \text{)}$$

Tomaremos para “n” el valor de menor número entero que satisfaga las condiciones indicadas.

Realizaremos idénticas operaciones para determinar el número mínimo de aparatos de alumbrado, según el ancho del local; o sea que tendremos:

Para iluminación directa, semidirecta o mixta:

$$n' = \frac{A}{1.5d} \quad (4.35)$$

$$\text{(para } e' = \frac{e}{2} \text{)}$$

$$n' = \frac{A}{1.5h} + \frac{1}{3} \quad (4.36)$$

$$\text{(para } e' = \frac{e}{3} \text{)}$$

Para iluminación semiindirecta o indirecta:

$$n' = \frac{A}{1.5h} \quad (4.37)$$

$$\text{(para } e' = \frac{e}{2} \text{)}$$

$$n' = \frac{A}{1.5d} + \frac{1}{3} \quad (4.38)$$



$$\left(\text{para } e' = \frac{e}{2} \right)$$

El número mínimo total de aparatos de alumbrado será igual a:

$$N_{\min} = n \times n' \quad (4.39)$$

La determinación del número mínimo total de aparatos de alumbrado es, sobre todo, indispensable cuando se utilicen lámparas de incandescencia ya que en estos casos, si se eligen lámparas de gran potencia, existe el riesgo de adoptar un número insuficiente de aparatos de alumbrado y, como consecuencia una desfavorable uniformidad de iluminación.

4.4.5. Calculo del flujo luminoso total

Una vez que se han determinado las condiciones que hemos expuestos en los capítulos anteriores: determinación del nivel de iluminación, distribución y número mínimo de equipos etc., se ha de calcular el flujo luminoso total que necesitamos para conseguir el nivel de iluminación adecuado, cumpliendo todos los requisitos previos citados.

En instalaciones interiores la determinación del flujo luminoso se realiza calculando previamente el factor de utilización, para comprender lo que significa este factor y, a la vez, para justificar este procedimiento de cálculo, son precisos unos razonamientos previos, que vamos a exponer a continuación:

En el local cerrado, el flujo luminoso emitido por las lámparas, no llega en su totalidad a la superficie útil de trabajo. Una parte de este flujo se pierde totalmente por absorción en las paredes y techos.

En la figura 4.8 se expresa la distribución en el espacio del flujo luminoso emitido por las lámparas, después de haber sido absorbida una parte de dicho flujo por los aparatos de alumbrado.

Una parte del flujo luminoso (1 en la figura 4.8) llega directamente a la superficie de trabajo; otra parte de este flujo (2 en la figura 4.8), se dirige hacia las paredes donde una fracción se absorbe y otra fracción llega también a la superficie de trabajo, después de una o varias reflexiones; finalmente, otra parte del flujo luminoso (3 en la figura 4.8) se emite hacia el



techo donde, como antes, una porción se absorbe y otra llega a la superficie de trabajo después de varias reflexiones.

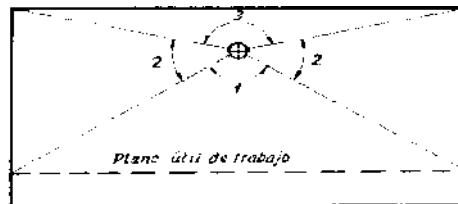


Figura 4.8.- Distribución del flujo luminoso en un local cerrado

Para llegar al concepto de factor de utilización llamaremos:

Φ_o = flujo luminoso total emitido por las lámparas.

Φ_A = flujo luminoso emitido por los aparatos de alumbrado.

Φ_n = flujo luminoso útil, que llega a la superficie de trabajo.

Como hemos visto, en los aparatos de alumbrado hay pérdida del flujo luminoso, debido a la absorción de los materiales que constituyen dichos aparatos. Se da el nombre de *rendimiento de los aparatos de alumbrado*, a la relación:

$$\eta_A = \frac{\Phi_A}{\Phi_o} \quad (4.40)$$

Se denomina *utilancia*, a la siguiente relación:

$$\eta_n = \frac{\Phi_n}{\Phi_A} \quad (4.41)$$

Finalmente, el factor de utilización viene definido por la siguiente relación:

$$u = \frac{\Phi_n}{\Phi_o} \quad (4.42)$$

y, de acuerdo con las definiciones anteriores:

$$u = \eta_A \cdot \eta_n \quad (4.43)$$

Es decir, que el factor de utilización es la relación entre el flujo luminoso útil y el flujo total emitido por las lámparas. Naturalmente, siempre será menor que la unidad puesto que se trata, en realidad, de la expresión de un rendimiento.



Téngase en cuenta que la parte de flujo luminoso que no es absorbida por las paredes y techo ni llega tampoco a la superficie de trabajo, no interviene en la iluminación de dicha superficie; pero cumple una función visual muy importante, ya que ilumina y hace visible la parte de espacio comprendida dentro del local.

El valor del factor de utilización depende, evidentemente, de todas las pérdidas de flujo que pueden producirse entre la emisión de la luz por las lámparas hasta la llegada del flujo a la superficie de trabajo. A su vez, estas pérdidas de flujo dependen de los siguientes factores:

- 1.- Del rendimiento de los aparatos de alumbrado.
- 2.- De la forma en que el flujo se divide en tres partes que se dirigen, respectivamente, al techo, a las paredes, y al plano útil de trabajo.
- 3.- De los factores de reflexión de las paredes y del techo.
- 4.- Las dimensiones del local.

Resulta evidente que, a igualdad de las demás condiciones el factor de utilización será tanto mejor, es decir, tanto más próximo a la unidad, cuanto más elevado sea el rendimiento de los aparatos de alumbrado.

En lo que se refiere a la distribución del flujo, dirigido hacia las paredes, techo y superficie de trabajo, respectivamente, esta condición está determinada por la distribución fotométrica del aparato de alumbrado y por las dimensiones del local. Para un local determinado, la influencia de las paredes y del techo sobre el valor del factor de utilización, aumenta si se reemplaza, sucesivamente, la iluminación directa, por la semidirecta, la mixta, la semiindirecta y la indirecta; lo que quiere decir que, por esta causa el factor de utilización irá disminuyendo.

También es fácil comprender que si tenemos dos locales de las mismas dimensiones, y utilizamos las mismas lámparas y los mismos aparatos de alumbrado, tendrán mejor factor de utilización, el local cuyas paredes y techo tengan más elevado factor de reflexión.

Finalmente, el factor de utilización depende también de las dimensiones del local. Para comprender mejor los conceptos que vamos a desarrollar, supongamos (figura 4.9), un local que vamos a iluminar con un sistema de iluminación determinado, por ejemplo, iluminación semidirecta; si tenemos otro local (4.10) cuyas dimensiones,



tomadas con relación a la superficie útil de trabajo, son proporcionales al local anterior, instalamos el mismo número de lámparas, distanciadas entre si, y respecto a muros y plano útil de trabajo de forma también proporcional a las lámparas del local anterior, podríamos decir que ambas instalaciones, son «semejantes» y, para cada aparato, los ángulos sólidos que determinan la parte de flujo luminoso correspondiente, respectivamente, al techo, a las paredes son iguales en ambos locales. Por lo tanto, a igualdad de las demás circunstancias, el factor de utilización es también el mismo para los dos locales.

Por el contrario, en un local de gran longitud y poca altura (figura 4.11) la distribución del flujo luminoso es muy diferente a la de un local de gran altura y poca longitud (figura 4.12); además podemos observar en las dos figuras anteriores, que la cantidad de flujo enviado al plano útil de trabajo es proporcional a las dimensiones horizontales del local (largo y ancho) e inversamente proporcional a la altura del local. Por lo tanto, para un mismo aparato de alumbrado y suponiendo iguales las demás condiciones (reflexión de los muros, y paredes, nivel de iluminación, etc.), obtendremos mejor factor de utilización en aquellos locales cuyas dimensiones horizontales son grandes respecto a su altura y, recíprocamente, un factor de utilización pequeño, en los locales de gran altura y reducidas dimensiones horizontales. Por otra parte, no hay que olvidar que esta influencia de las dimensiones del local sobre el valor del factor de utilizations hace más acusadas cuanto mayor sea la proporción del flujo luminoso enviada hacia el techo y las paredes (iluminación indirecta, por ejemplo); y también, cuando menores sean los factores de reflexión del techo y de las paredes.

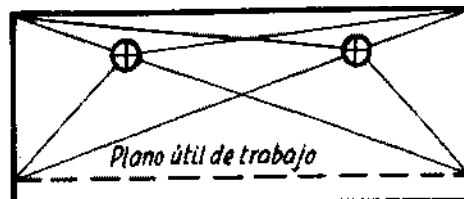


Figura 4.9.- Figura explicativa del concepto de factor de utilización.

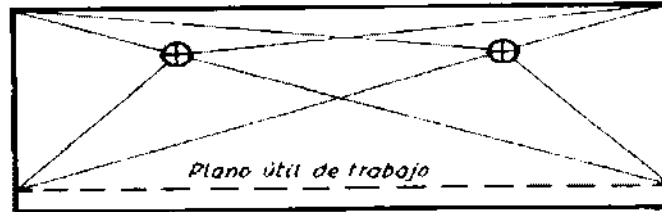


Figura 4.10.- Las dimensiones de este local son proporcionales al de la figura 4.9, y su factor de utilización es el mismo.

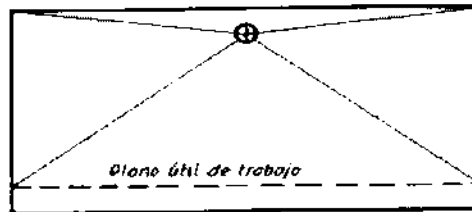


Figura 4.11.- En un local de pequeña altura y grandes dimensiones horizontales, se obtiene un buen factor de utilización.

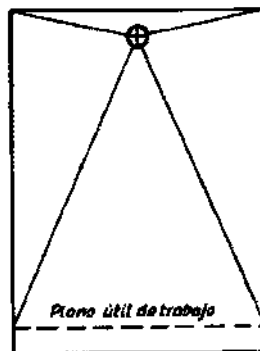


Figura 4.12.- En un local de gran altura y pequeñas dimensiones horizontales se obtiene deficiente factor de utilización.

Los proyectos de iluminación se refieren generalmente a locales paralelepípedicos rectangulares. Desde el punto de vista de factor de utilización, los estudios teóricos y experimentales han demostrado que la «forma» de estos locales puede caracterizarse por un coeficiente, denominado *índice de local*, que combina las relaciones de la longitud y la anchura del local con su altura. Es decir, que el índice del



local, resume las relaciones de las tres dimensiones del local; viene expresado por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{2.L + 8.A}{10.H} \quad (4.44)$$

K = índice del local

L = longitud del local en m

A = anchura del local m

H = altura en m. se considerará como altura:

1.- para iluminación directa, semidirecta y difusa, la distancia vertical entre los aparatos de alumbrado y la superficie útil de trabajo.

— para iluminación semiindirecta e indirecta, la distancia vertical entre el techo y la superficie útil de trabajo.

Por ejemplo, una nave industrial, cuya altura de suspensión de equipos luminosos es de 20 m. y la superficie de 30 X 25 m² tiene un índice de local:

$$K = \frac{2 \times 30 + 8 \times 25}{10(20 - 0.8)} = 1.36$$

Una oficina cuya altura es de 5 m. y la superficie de 20 X 10 m² y suponiendo una iluminación indirecta, tiene un índice de local:

$$K = \frac{2 \times 10 + 8 \times 10}{10(5 - 0.8)} = 2.9$$

La determinación de los factores de utilización se realiza por medio de tablas (Apéndice A.3), cuyos valores son el resultado de trabajos teóricos y experimentales. En dichas tablas, se expresan los factores de utilización para diferentes tipos de aparatos de alumbrado, distintos valores del índice del local, factores de reflexión de techo y paredes, etc. Más adelante se ha preparado una tabla de factores de utilización cuyo manejo explicaremos a su tiempo.

Una vez conocido el factor de utilización ya podemos calcular el flujo luminoso necesario para producir una iluminación “E” sobre la superficie útil de trabajo “S”,



expresada en metros cuadrados. Evidentemente, el flujo luminoso útil para iluminar esta superficie, vale:

$$\Phi_n = E \times S \quad (4.45)$$

recordando que el factor de utilización viene expresado por:

$$u = \frac{\Phi_n}{\Phi_o}$$

tendremos que:

$$u = \frac{EXS}{\Phi_o} \quad (4.46)$$

De donde podemos deducir inmediatamente

$$\Phi = \frac{EXS}{u} \quad (4.47)$$

fórmula que nos permite calcular el flujo luminoso total que necesitamos para conseguir una iluminación media “E” sobre la superficie útil de trabajo.

Sin embargo, la fórmula encontrada no expresa exactamente las necesidades de iluminación de un local: solamente es válida para «estrenar» la instalación. Pero las lámparas sufren un proceso de envejecimiento durante el cual el flujo luminoso va disminuyendo; además, los aparatos de alumbrado y las pinturas del local también envejecen, y disminuyen, por lo tanto, el factor de reflexión de unos y otros; finalmente, en muchas ocasiones, la acumulación de polvo en las paredes, techo y aparatos de alumbrado también contribuyen a aumentar la depreciación de la instalación. Todos los efectos citados se han de tener en cuenta en los cálculos de iluminación; generalmente se expresan por medio de un factor correctivo, “ δ ” denominado *factor de depreciación*, siempre mayor que la unidad y que expresa el aumento del flujo luminoso que debemos tener en cuenta por este concepto.

Contando con el factor de depreciación, la fórmula definitiva que nos expresa el flujo luminoso necesario para iluminar un local, es la siguiente:

$$\Phi_o = \frac{EXS \times \delta}{U} \quad (4.48)$$



En las tablas de factor de utilización que estudiaremos más adelante, se incluyen también los factores de depreciación para los distintos aparatos de alumbrado, y para diferentes condiciones de funcionamiento.

4.4.6. Tablas para cálculo de proyectos de alumbrado interior.

Se han preparado unas tablas para la determinación de los factores de utilización y los factores de depreciación en los diferentes casos que se puede presentar en los proyectos de alumbrado interior (Apéndice A.3).

En estas tablas se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- 1.- Sistema de iluminación.
- 2.- Rendimiento de los aparatos de alumbrado.
- 3.- Factores de reflexión de techo y paredes.
- 4.- Índice de local.
- 5.- Distribución de los aparatos de alumbrado.
- 6.- Factor de depreciación.

Vamos a resumir la influencia de todos los factores citados.

1.- Sistema de iluminación

En la columna de la izquierda de las tablas se han dibujado esquemáticamente aparatos de alumbrado típico, correspondiente a cada sistema de iluminación. También se ha expresado gráficamente la forma de la curva de distribución luminosa de cada aparato, se ha dibujado la línea llena, la curva fotométrica que corresponde a la dirección transversal y de línea a trazos la curva fotométrica correspondiente a la dirección longitudinal.

2.- Rendimiento del aparato de alumbrado.

Como ya sabemos, es la relación entre el flujo luminoso emitido por el aparato de alumbrado, y el flujo luminoso de la lámpara o lámparas instaladas en dicho aparato. Este rendimiento viene expresados en las tablas por η_A y se ha distribuido en el flujo luminoso por encima o por debajo de la horizontal.



3.- Factores de reflexión de techo y paredes

En las tablas se expresan:

ρ_T = factor de reflexión del techo.

ρ_p = factor de reflexión de las paredes.

En las tablas, se resume la reflexión de techo y paredes de la siguiente manera:

Techo de color blanco	$\rho_T = 0.7$
Techo de color muy claro	$\rho_T = 0.7$
Techo de color claro	$\rho_T = 0.5$
Techo de color medio	$\rho_T = 0.3$
Paredes de color claro	$\rho_T = 0.5$
Paredes de color medio	$\rho_T = 0.3$
Paredes de color oscuro	$\rho_T = 0.1$

Si no se tiene datos sobre el color de techo y de las paredes o en caso de duda se adoptaran los siguientes valores:

Techo	$\rho_T = 0.5$
Paredes	$\rho_T = 0.3$

4.- Índice del local

El índice del local debe calcularse previamente de acuerdo con la fórmula expresada en el capítulo anterior. En las tablas, viene representado por “K” y sus valores están comprendido entre 1 y 10; si en los cálculos resulta un valor intermedio no expresado en las tablas habrá que interpolar; si el valor resultante es superior a 10, se tomara el último valor como índice del local pues está demostrado que para índices de local superiores de 10, el aumento de dicho índice apenas tiene influencia sobre el factor de utilización.

5.- Distribución de los aparatos de alumbrado

El valor del factor de utilización está influido también por la distribución de los aparatos de alumbrado. Las tablas han sido desarrolladas teniendo en cuenta las



condiciones expuestas en un capítulo anterior sobre la distribución de los aparatos de alumbrado, altura de suspensión de dichos aparatos, distancia de los aparatos extremos a las paredes y número mínimo de aparatos de alumbrado.

Para los locales, cuyo índice de local está comprendido entre los valores siguientes:

$$K = 1 . . . 2$$

Puede resultar interesante instalar un solo aparato de alumbrado en el centro, en cuyo caso el factor de utilización es mayor, y, por lo tanto se precisa menos flujo luminoso para iluminar el local; pero hay que tener en cuenta en los locales iluminados de esta manera, la iluminación en el centro es bastante más elevada que en las paredes lo que, en ciertos casos, puede resultar un decisivo inconveniente. En las tablas se ha previsto un apartado especial para las instalaciones con aparatos de alumbrado situados en el centro del local.

6.- Factor de depreciación

En las tablas que estamos describiendo, los factores de depreciación se dividen en tres grupos que corresponden a:

- Ensuciamiento ligero, como correspondientes a tiendas, oficinas, escuelas, habitaciones en viviendas particulares y, en general en locales donde la suciedad es escasa.
- Ensuciamiento normal, en los locales que no están comprendidos en ninguno de los otros dos aparatos.
- Ensuciamiento alto como el que existe en altos hornos, fundiciones, minas y, en general, en locales donde hay mucho polvo y suciedad.

A su vez, cada uno de estos grupos se subdivide en:

- a) limpieza periódica de lámparas y aparatos cada año.
- b) limpieza periódica de lámparas y aparatos cada 2 años.
- c) limpieza periódica de lámparas y aparatos cada 3 años.

En algunos casos de ensuciamiento ligero o grande, no se indica ningún factor de depreciación; cuando esto ocurre así, es que existen razones de carácter económico,



estético o luminotécnico que desaconsejan la elección del tipo de aparato de alumbrado más apropiado.

En las instalaciones para iluminación indirecta con cornisas, se indican periodos de limpieza cada seis meses y cada año, pues la experiencia ha demostrado que un año es el tiempo máximo permitido para la limpieza de lámparas y cornisas. Además, se recomienda emplear cornisas, solamente en locales con ensuciamiento ligero.

4.5. Evaluación posterior.

La etapa de *evaluación posterior* tiene como objetivo simular (por medio de un programa especializado en luminotecnia) y luego analizar los resultados del proyecto en términos técnicos y fundamentalmente en términos “económicos”. La evaluación técnica implica el análisis de los parámetros y criterios luminotécnicos antes descritos en todos los procesos anteriores, con el fin de evaluar las condiciones de calidad en el plano considerado. Luego del análisis, es preciso tener en cuenta si los equipos seleccionados proporciona el *nivel de iluminación* previsto en la planificación del proyecto y como varía la iluminación en dicha área (condiciones de *uniformidad* y *varianza*). De lo contrario, se debe ser las correcciones necesarias para que dichos factores de calidad se cumplan.

La evaluación económica por su parte, a punta a evaluar principalmente el factor de costos y la relación entre el número de unidades necesarias para la instalación de alumbrado y el consumo de energía de dichos equipos seleccionados.

4.6. Aplicación de los procedimientos de diseño de iluminación.

Siguiendo los procesos principales y metodología de diseño de iluminación descrita anteriormente se va a iluminar el AUDITORIO- CULTURAL del municipio de Tangancícuaro Michoacán, en la *figura 4.13* muestra la a) planta Arquitectónica, b) fachadas del AUDITORIO-CULTURAL.

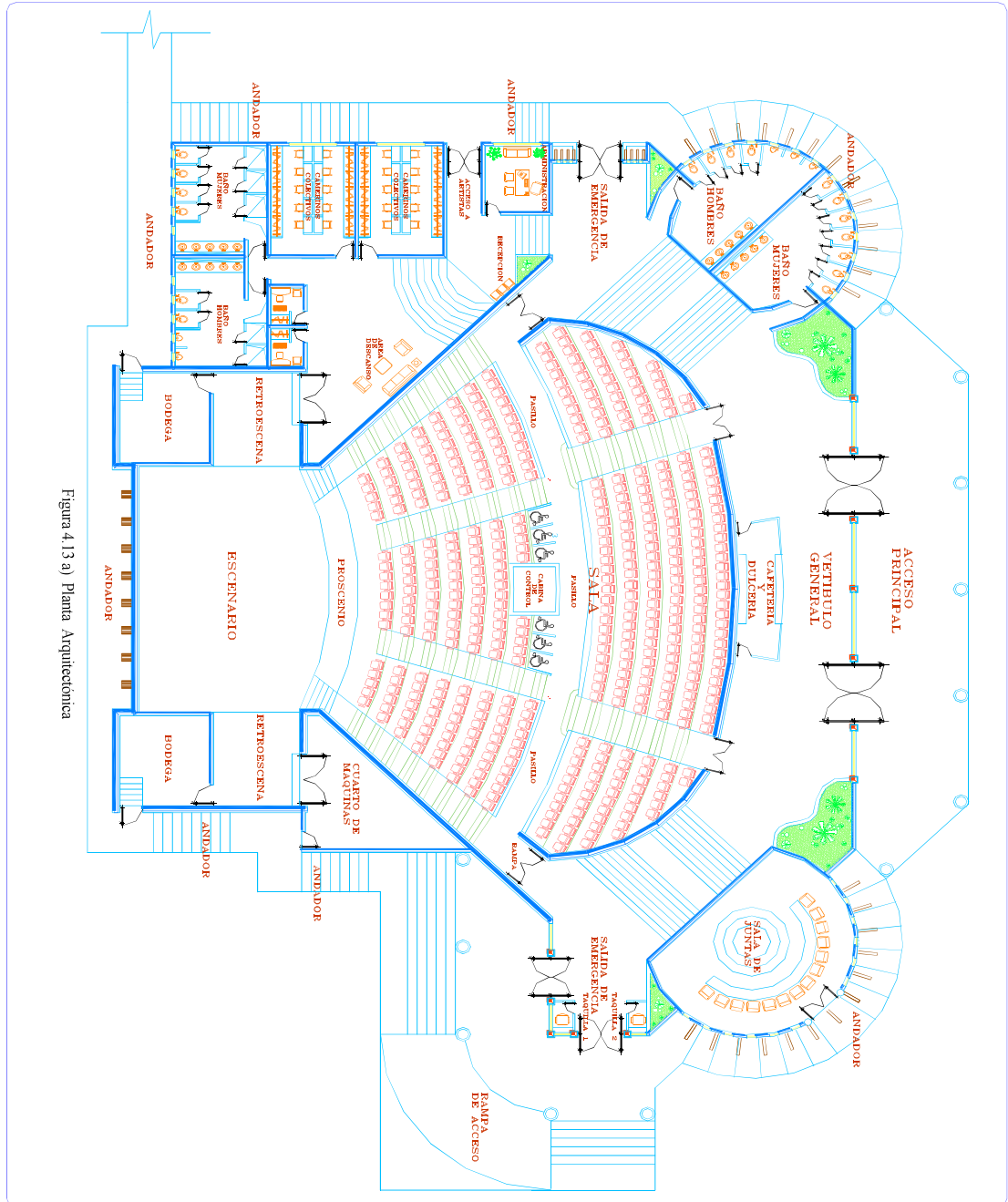


Figura 4.13 a) Planta Arquitectonica

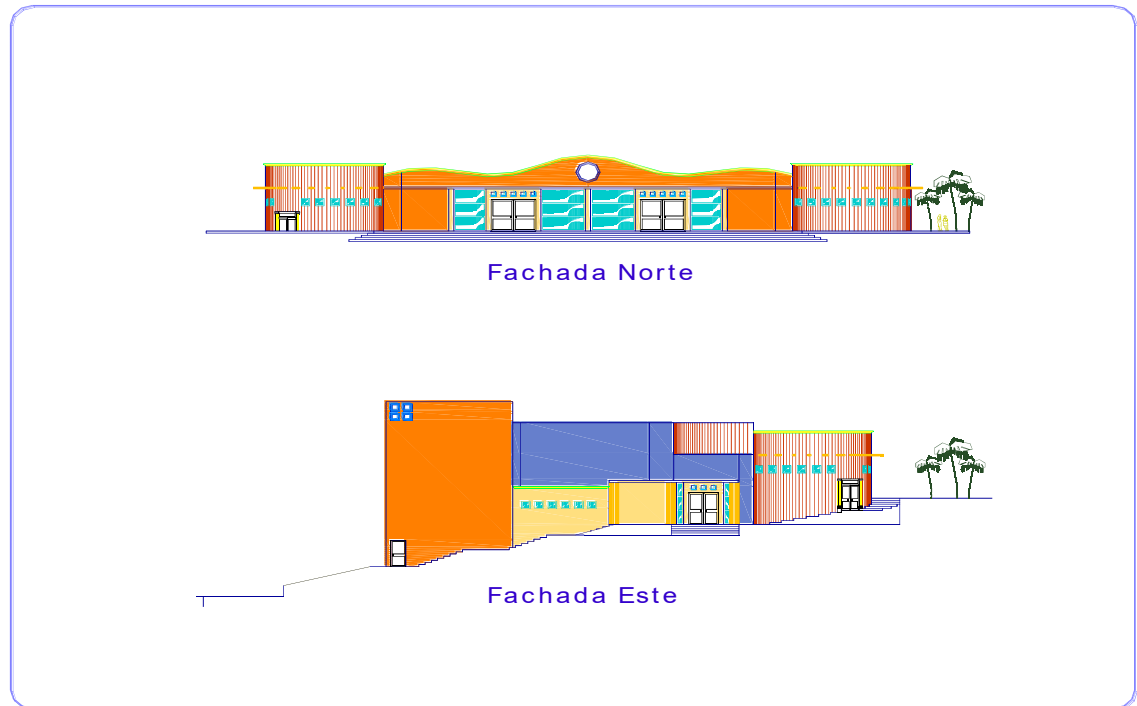


Figura 4.13 b) Fachadas del AUDITORIO-CULTURAL



El objetivo del proyecto es iluminar todo el AUDITORIO-CULTURAL, por lo cual va ser necesario dividir por partes cada área que forma parte del AUDITORIO-CULTURAL y realizar los cálculos necesarios. A continuación se realiza los cálculos para cada área siguiendo los procesos y procedimientos antes descritos (figura 4.14).

Camero individual

Características:

Cupo:	1 a 2 personas
Altura:	3.10 m.
Largo:	2.35 m.
Ancho:	2.0 m.
S:	4.70 m ²

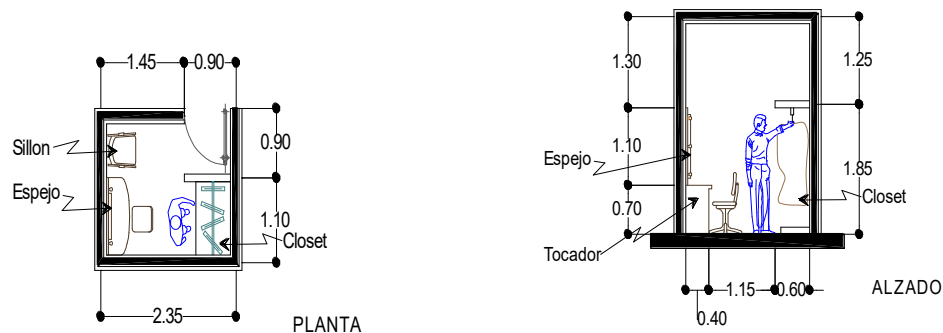


Figura 4.14 Dimensiones del camero individual

Pasos:

1.- Determinación del nivel de iluminación

De las tablas de niveles de iluminación (ver Apéndice A.2), no está especificado el del camero individual por lo que tome, como niveles de iluminación para Espejos (sobre el rostro), debido a las características del camero, lo cual se expresa los siguientes valores:

Valor mínimo = 200 Lux

Valor recomendado = 500 Lux

Tomando como nivel de iluminación de 500 lux



2.- Elección del tipo de lámpara

De acuerdo con las normas generales del proyecto, la lámpara más apropiada es la lámpara fluorescente, ver Apéndice A.4 (Aplicaciones principales para cada tipo de lámparas).

3.- Elección del sistema de iluminación y de los aparatos de alumbrado

Eligiendo un sistema de *iluminación general para una iluminación semidirecta*, el aparato de alumbrado elegido esta formado con una armadura de celosías, con un rendimiento $\eta_A = 0.88$ (ver Apéndice A.3).

4.- Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado

Plano útil de trabajo = 0.70 m.

$$h = H - 0.70 = 3.10 - 0.70 = 2.40m$$

a) *Distancia de los aparatos al plano útil de trabajo* (iluminación semidirecta)

$$d = \frac{4}{5}h = \frac{4}{5} * 2.40m = 1.92m.$$

5.- Distribución de los aparatos de alumbrado

$$e \leq 1.5d = 1.5(1.92) = 2.88m.$$

Para los aparatos extremos:

$$e' = \frac{e}{3} = \frac{2.88}{3} = 0.96m.$$

6.- Número mínimo de aparatos de alumbrado

$$n = \frac{L + e - 2e'}{e} = \frac{2.35 + 2.88 - 2(0.96)}{2.88} = \frac{3.28}{2.88} = 1.13 \approx 1$$

$$n' = \frac{A + e - 2e'}{e} = \frac{2 + 2.88 - 2(0.96)}{2.88} = \frac{2.96}{2.88} = 1.02 \approx 1$$



$$N_{\min} = 1 \times 1 = 1 \text{ aparato}$$

Dada las características del camerino individual, adopte la distribución de aparatos representado en la figura 4.15

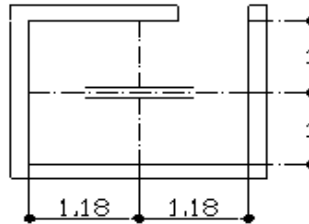


Figura 4.15 Distribución provisional de los aparatos de alumbrado

7.- Cálculo del flujo luminoso total

Calculando en índice del local:

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{2(2.35) + 8(2)}{10(1.92)} = \frac{20.7}{19.2} = 1.07$$

Debido a que no se tiene los datos sobre el color del techo y las paredes, se adoptaran los siguientes factores de reflexión:

Techo $\rightarrow \rho_T = 0.5$

Paredes $\rightarrow \rho_P = 0.3$

Interpolando en las tablas, (Apéndice A.3) para sacar el factor de utilización (1 aparato de alumbrado en el centro del local) tenemos:

Para $K = 1 \rightarrow u = 0.22$

Para $K = 1.2 \rightarrow u = 0.27$

Dado que $K = 1.07$, por lo tanto el factor de utilización es:

$$u = 0.23$$

Factor de depreciación

Suponiendo limpieza cada año y ensuciamiento bajo, tenemos:

$$\delta = 1.40$$



Flujo luminoso necesario para iluminar el camerino individual:

$$\phi_o = \frac{E \times S \times X \times \delta}{u} = \frac{500(4.70)(1.40)}{0.23} = \frac{3290}{0.23} = 14304.34 \text{ Lúmenes}$$

8.- Distribución del número definitivo de aparatos de alumbrado

El tipo lámpara fluorescente es una MASTER TL-D Eco de 51 W y proporciona un flujo luminoso de 4800 lúmenes (Apéndice A.5). Por lo tanto, el número de lámparas que necesitaremos Será:

$$N = \frac{\phi_o}{\varphi} = \frac{14304.34}{4800} = 2.98 \approx 3$$

Como el número mínimo aparatos de alumbrado, era de 1 aparato, para conservar el número mínimo es:

$$\frac{3}{1} = 3 \text{ Lámpara por aparato}$$

Numero total de aparatos = 1

Número total de lámparas = 3

Flujo total proporcionado por las lámparas es:

$$3 \times 4800 = 14400 \text{ lúmenes.}$$

Iluminación media sobre el plano de trabajo es:

$$E = \frac{\phi_o \times X \times u}{S \times X \times \delta} = \frac{14400(0.23)}{4.7(1.40)} = \frac{3312}{6.58} = 503.3 \text{ lux}$$

9.- Consumo de energía eléctrica

Potencia total instalada = 3 lámpara X 51 W= 162 W

Por lo tanto la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado se muestra en la siguiente figura 4.16:

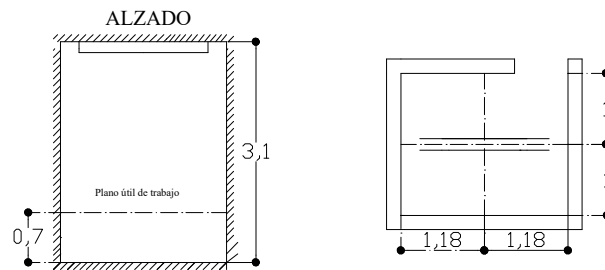


Figura 4.16 Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado

Camerino colectivo

Características:

- Cupo: 3 a 12 personas
- Ancho: 2.15 m.
- Largo: 6.50 m.
- Altura: 3.10 m.
- S: 13.97 m².

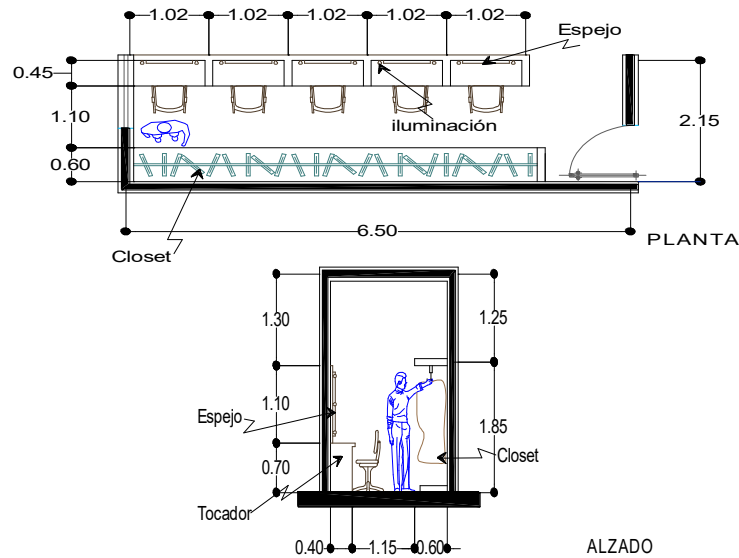


Figura 4.17 Dimensiones del camerino colectivo

1.- Determinación del nivel de iluminación

De las tablas de niveles de iluminación (Apéndice A.2)



Valor mínimo = 200 Lux

Valor recomendado = 500 Lux

Tomando como nivel de iluminación de 500 lux

2.- Elección del tipo de lámpara

De acuerdo con las normas generales del proyecto, la lámpara mas apropiada es la lámpara fluorescente, ver Apéndice A.4 (Aplicaciones principales para cada tipo de lámparas).

3.- Elección del sistema de iluminación y de los aparatos de alumbrado

Eligiendo un sistema de *iluminación general para iluminación semidirecta*, el aparato de alumbrado elegido esta formado con una armadura de celosías, con un rendimiento $\eta_A = 0.88$ (ver Apéndice A.3).

4.- Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado

Plano útil de trabajo = 0.70 m.

$$h = H - 0.70 = 3.10 - 0.70 = 2.40m$$

a) *Distancia de los aparatos al plano útil de trabajo (iluminación semidirecta)*

$$d = \frac{4}{5}h = \frac{4}{5} * 2.40m = 1.92m.$$

5.- Distribución de los aparatos de alumbrado

$$e \leq 1.5d = 1.5(1.92) = 2.88 m.$$

Para los aparatos extremos:

$$e' = \frac{e}{3} = \frac{2.88}{3} = 0.96m.$$



6.- Número mínimo de aparatos de alumbrado

$$n = \frac{L + e - 2e'}{e} = \frac{6.50 + 2.88 - 2(0.96)}{2.88} = \frac{7.46}{2.88} = 2.59 \approx 3$$

$$n' = \frac{A + e - 2e'}{e} = \frac{2.15 + 2.88 - 2(0.96)}{2.88} = \frac{3.11}{2.88} = 1.07 \approx 1$$

$$N_{\min} = 3 \times 1 = 3 \text{ aparatos}$$

Dada las características del camerino colectivo, adopte la distribución de aparatos representado en la figura 4.18

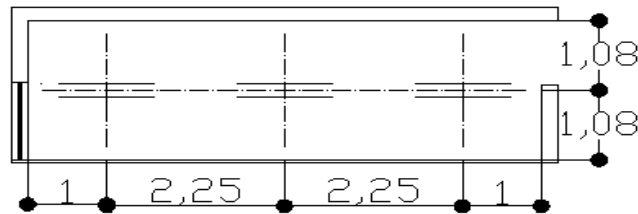


Figura 4.18 Distribución provisional de los aparatos de alumbrado

7.- Cálculo del flujo luminoso total

Calculando en índice del local:

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{2(6.50) + 8(2.15)}{10(1.92)} = \frac{30.3}{19.2} = 1.5$$

Debido a que no se tiene los datos sobre el color del techo y las paredes, se adoptaran los siguientes factores de reflexión:

Techo → $\rho_T = 0.5$

Paredes → $\rho_P = 0.3$

Dado que $K = 1.5$, por lo tanto el factor de utilización es:

$$u = 0.31$$



Factor de depreciación

Suponiendo limpieza cada año y ensuciamiento bajo, tenemos:

$$\delta = 1.40$$

Flujo luminoso necesario para iluminar el camerino colectivo:

$$\phi_o = \frac{E \ X \ S \ X \ \delta}{u} = \frac{500(13.97)(1.40)}{0.31} = \frac{9779}{0.31} = 31545.16 \text{ Lúmenes}$$

8.- Distribución del número definitivo de aparatos de alumbrado

El tipo lámpara fluorescente es una MASTER TL-D Eco de 63 W y proporciona un flujo luminoso de 5600 lúmenes (Apéndice A.5). Por lo tanto, el número de lámparas que necesitaremos será:

$$N = \frac{\phi_o}{\varphi} = \frac{31545.16}{5600} = 5.6 \approx 6$$

Como el número mínimo aparatos de alumbrado, era de 3 aparatos, para conservar el número mínimo es:

$$\frac{6}{3} = 2 \text{ Lámpara por aparato}$$

Número total de aparatos = 3

Número total de lámparas = 6

Flujo total proporcionado por las lámparas es:

$$6 \ X \ 5600 = 33600 \text{ lúmenes.}$$

Iluminación media sobre el plano de trabajo es:

$$E = \frac{\phi_o \ X \ u}{S \ X \ \delta} = \frac{33600(0.31)}{13.97(1.40)} = \frac{10416}{19.558} = 532.5 \text{ lux}$$



9.- Consumo de energía eléctrica

Potencia total instalada = 6 lámpara X 63 W= 378 W

Por lo tanto la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado se muestra en la siguiente figura 4.19:

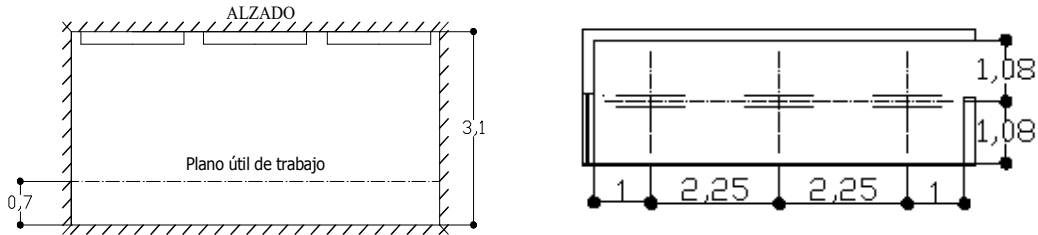


Figura 4.19 Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado

En los siguientes cálculos de las diferentes áreas del AUDITORIO-CULTURAL se va utilizar el mismo tipo de lámpara, el mismo sistema de iluminación general para iluminación semidirecta y los mismos factores de reflexión debido a que no se tiene datos sobre el color del techo y paredes, factor de depreciación, especificando todo lo contrario si se utiliza otro tipo de lámpara o factor de reflexión etc.

Baños de hombre y mujeres

Características: *Hombres Mujeres*

Longitud:	6.30 m.	6.30 m.
Ancho:	4.80 m.	4.80 m.
Altura:	3.10 m.	3.10 m.
S:	30.24 m ²	30.24 m ²

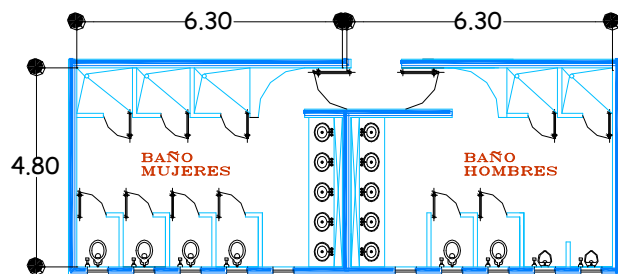


Figura 4.20 dimensiones de los baños



1.- Determinación del nivel de iluminación

De las tablas de niveles de iluminación

Valor mínimo = 50 Lux

Valor recomendado = 100 Lux

Tomando como nivel de iluminación de 100 lux

4.- Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado

Plano útil de trabajo = 0.85 m.

$$h = H - 0.85 = 3.10 - 0.85 = 2.25m$$

$$d = \frac{4}{5}h = \frac{4}{5} * 2.25m = 1.8m.$$

5.- Distribución de los aparatos de alumbrado

$$e \leq 1.5d = 1.5(1.8) = 2.7 m.$$

$$e' = \frac{e}{3} = \frac{2.7}{3} = 0.9m.$$

6.- Número mínimo de aparatos de alumbrado

$$n = \frac{L + e - 2e'}{e} = \frac{6.3 + 2.7 - 2(0.9)}{2.7} = \frac{7.2}{2.7} = 2.6 \approx 2$$

$$n' = \frac{A + e - 2e'}{e} = \frac{4.80 + 2.7 - 2(0.9)}{2.7} = \frac{5.7}{2.7} = 2.1 \approx 2$$

$$N_{\min} = 2 \times 2 = 4 \text{ aparatos}$$

Dada las características del baño de hombres y mujeres, adopte la distribución de aparatos representado en la figura 4.21.

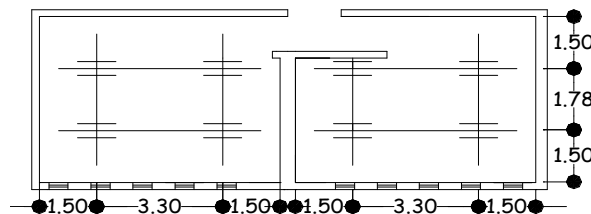


Figura 4.21 Distribución provisional de los aparatos de alumbrado.



7.- Cálculo del flujo luminoso total

Calculando en índice del local:

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{2(6.3) + 8(4.80)}{10(1.8)} = \frac{51}{18} = 2.8$$

Dado que $K = 2.8$, por lo tanto el factor de utilización es:

$$u = 0.464$$

Flujo luminoso necesario para iluminar Los baños:

$$\phi_o = \frac{E \times S \times X \delta}{u} = \frac{100(30.24)(1.40)}{0.464} = \frac{4233.6}{0.464} = 9124.13 \text{ Lúmenes}$$

8.- Distribución del número definitivo de aparatos de alumbrado

El tipo lámpara fluorescente es una MASTER TL-D Eco de 32 W y proporciona un flujo luminoso de 2850 lúmenes. Por lo tanto, el número de lámparas que necesitaremos será:

$$N = \frac{\phi_o}{\phi} = \frac{9124.13}{2850} = 3.2 \approx 3$$

Como el número mínimo aparatos de alumbrado, era de 4 aparatos, para conservar el número mínimo es:

$$\frac{3}{4} = 0.75 \approx 1 \text{ Lámpara por aparato}$$

Número total de aparatos = 4

Número total de lámparas = 4

Flujo total proporcionado por las lámparas es:

$$4 \times 2850 = 11400 \text{ lúmenes.}$$

Iluminación media sobre el plano de trabajo es:



$$E = \frac{\phi_o \times X \times u}{S \times X \times \delta} = \frac{11400(0.464)}{30.24(1.4)} = \frac{5289.6}{42.336} = 124.9 \text{ lux}$$

9.- Consumo de energía eléctrica

Potencia total instalada = 4 lámpara X 32 W= 128 W

Por lo tanto la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado se muestra en la siguiente figura 4.22:

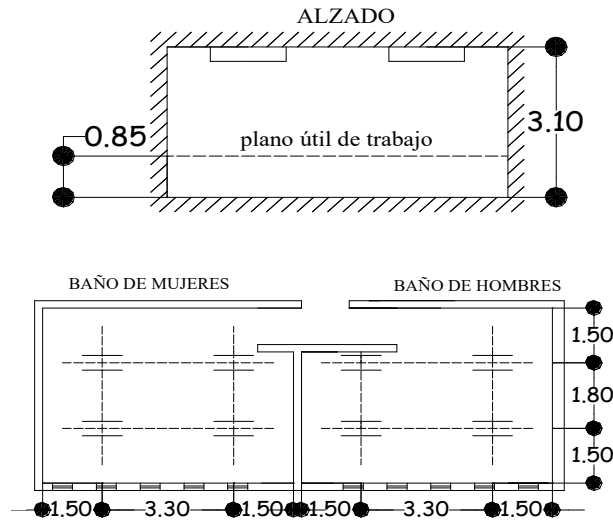


FIGURA 4.22 Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado.

Sala de juntas:

Características:

S: 91.6 m²

Altura: 6.2 m

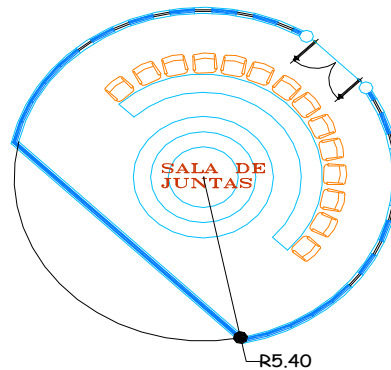


Figura 4.23 Dimensiones de la sala de juntas



1.- Determinación del nivel de iluminación

De las tablas de niveles de iluminación.

Valor mínimo = 200 Lux

Valor recomendado = 500 Lux

Tomando como nivel de iluminación de 200 lux

4.- Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado

Plano útil de trabajo = 1 m.

$$h = H - 1 = 6.20 - 1 = 5.20m$$

$$d = \frac{4}{5}h = \frac{4}{5} * 5.20m = 4.16m.$$

5.- Distribución de los aparatos de alumbrado

$$e \leq 1.5d = 1.5(4.16) = 6.24m.$$

$$e' = \frac{e}{2} = \frac{6.24}{2} = 3.12m.$$

6.- Número mínimo de aparatos de alumbrado

$$n = \frac{L + e - 2e'}{e} = \frac{10.80 + 6.24 - 2(3.12)}{6.24} = \frac{10.8}{6.24} = 1.73 \approx 2$$

$$n' = \frac{A + e - 2e'}{e} = \frac{10.8 + 6.24 - 2(3.12)}{6.24} = \frac{10.8}{6.24} = 1.73 \approx 2$$

$$N_{\min} = 2 \times 2 = 4 \text{ aparatos}$$

Dada las características de la sala de juntas que es circular, hice unas consideraciones para poder realizar los cálculos de los aparatos de alumbrado tomando como "L" y "A", longitudes de un cuadrado que supuse, que rodea el círculo por lo cual, adopte la distribución de aparatos representado en la figura 4.24:

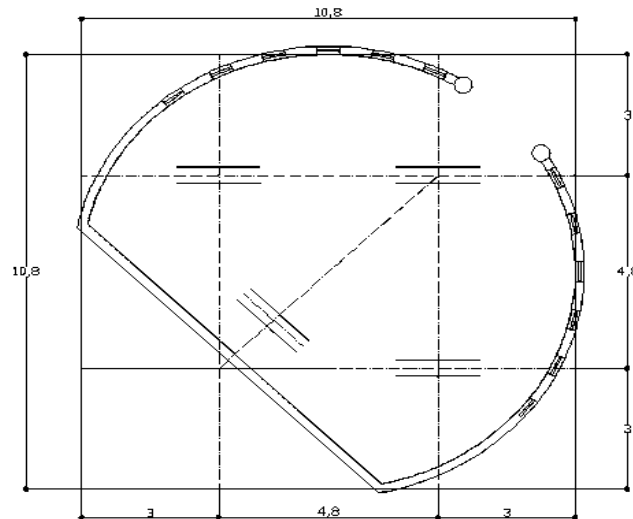


Figura 4.24 Distribución provisional de los aparatos de alumbrado

7.- Cálculo del flujo luminoso total

Calculando en índice del local:

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{2(10.8) + 8(10.8)}{10(4.16)} = \frac{108}{41.6} = 2.5$$

Dado que $K = 2.5$, por lo tanto el factor de utilización es:

$$u = 0.44$$

Flujo luminoso necesario para iluminar la sala de juntas:

$$\phi_o = \frac{E \times S \times X \times \delta}{u} = \frac{200(91.6)(1.40)}{0.44} = \frac{25648}{0.44} = 58290.9 \text{ Lúmenes}$$

8.- Distribución del número definitivo de aparatos de alumbrado

El tipo lámpara fluorescente es una MASTER TL-D Eco de 63 W y proporciona un flujo luminoso de 5600 lúmenes. Por lo tanto, el número de lámparas que necesitaremos será:

$$N = \frac{\phi_o}{\varphi} = \frac{58290.9}{5600} = 10.4 \approx 10$$



Como el número mínimo aparatos de alumbrado, era de 4 aparatos, para conservar el número mínimo es:

$$\frac{10}{4} = 2.5 \approx 3 \text{ Lámpara por aparato}$$

Número total de aparatos = 4

Número total de lámparas = 12

Flujo total proporcionado por las lámparas es:

$$12 \times 5600 = 67200 \text{ lúmenes.}$$

Iluminación media sobre el plano de trabajo es:

$$E = \frac{\phi_o \times u}{S \times \delta} = \frac{67200(0.44)}{91.6(1.40)} = \frac{29568}{128.24} = 230.56 \text{ lux}$$

9.- Consumo de energía eléctrica

Potencia total instalada = 12 lámpara X 63 W= 756 W

Por lo tanto la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado se muestra en la figura 4.25

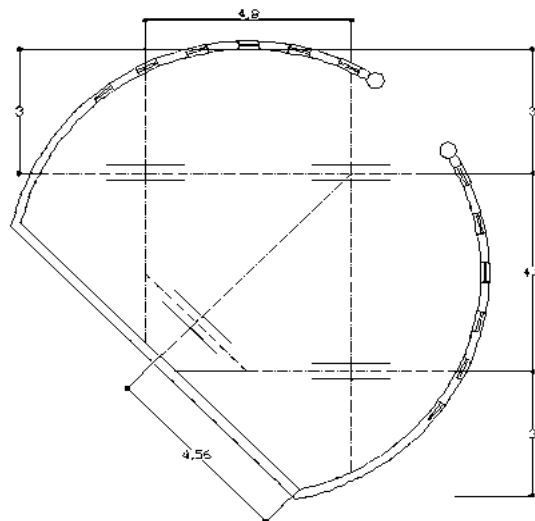


Figura 4.25 Distribución definitiva de los aparatos de distribución.



Baños:

Características:

Radio: 5.40 m.

Altura: 4m.

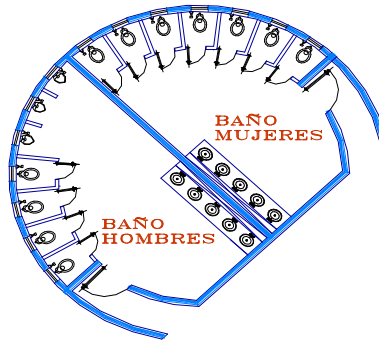


Figura 4.26 Dimensiones de los baños

1.- Determinación del nivel de iluminación

De las tablas de niveles de iluminación.

Valor mínimo = 50 Lux

Valor recomendado = 100 Lux

Tomando como nivel de iluminación de 100 lux

4.- Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado

Plano útil de trabajo = 0.85 m.

$$h = H - 0.85 = 4 - 0.85 = 3.15m$$

$$d = \frac{4}{5}h = \frac{4}{5} * 3.15m = 2.52m.$$

5.- Distribución de los aparatos de alumbrado

$$e \leq 1.5d = 1.5(2.52) = 3.78m.$$

$$e' = \frac{e}{3} = \frac{3.78}{3} = 1.26m.$$

6.- Número mínimo de aparatos de alumbrado

$$n = \frac{L + e - 2e'}{e} = \frac{8 + 3.78 - 2(1.26)}{3.78} = \frac{9.26}{3.78} = 2.44 \approx 2$$



$$n' = \frac{A + e - 2e'}{e} = \frac{5 + 3.78 - 2(1.26)}{3.78} = \frac{6.26}{3.78} = 1.6 \approx 1$$

$$N_{\min} = 2 \times 1 = 2 \text{ aparatos}$$

Dada las características de los baños, hice unas consideraciones para poder realizar los cálculos de los aparatos de alumbrado tomando como “L” y “A”, longitudes de un rectángulo que supuse, que rodea el medio círculo por lo cual, adopte la distribución de aparatos representado en la siguiente figura 4.27:

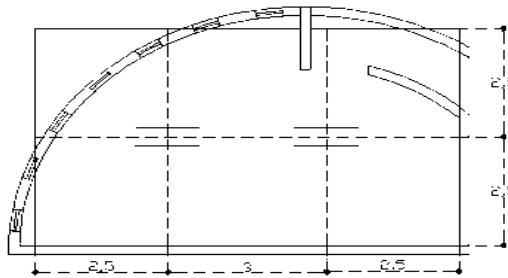


Figura 4.27 Distribución provisional de los aparatos de alumbrado

7.- Cálculo del flujo luminoso total

Calculando en índice del local:

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{2(8) + 8(5)}{10(2.52)} = \frac{56}{25.2} = 2.22$$

El factor de utilización es:

$$u = 0.41$$

Flujo luminoso necesario para iluminar los baños es:

$$\phi_o = \frac{E \times S \times X \times \delta}{u} = \frac{100(40)(1.40)}{0.41} = \frac{5600}{0.41} = 13658.53 \text{ Lúmenes}$$

8.- Distribución del número definitivo de aparatos de alumbrado

El tipo lámpara fluorescente es una MASTER TL-D Eco de 32 W y proporciona un flujo luminoso de 2850 lúmenes. Por lo tanto, el número de lámparas que necesitaremos será:



$$N = \frac{\phi_o}{\varphi} = \frac{13658.53}{2850} = 4.79 \approx 5$$

Como el número mínimo aparatos de alumbrado, era de 2 aparatos, para conservar el número mínimo es:

$$\frac{5}{2} = 2.5 \approx 3 \text{ Lámpara por aparato}$$

Número total de aparatos = 2

Número total de lámparas = 6

Flujo total proporcionado por las lámparas es:

$$6 \times 2850 = 17100 \text{ lúmenes.}$$

Iluminación media sobre el plano de trabajo es:

$$E = \frac{\phi_o \times u}{S \times \delta} = \frac{17100(0.41)}{40(1.40)} = \frac{7011}{56} = 125.19 \text{ lux}$$

9.- Consumo de energía eléctrica

Potencia total instalada = 6 lámpara X 32 W= 192 W

Para obtener una mejor uniformidad en el alumbrado, opte por aumentar otro aparato conservando el mismo número de lámparas distribuidas 2 lámparas por aparato, por lo tanto la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado se muestra en la siguiente figura 4.28:

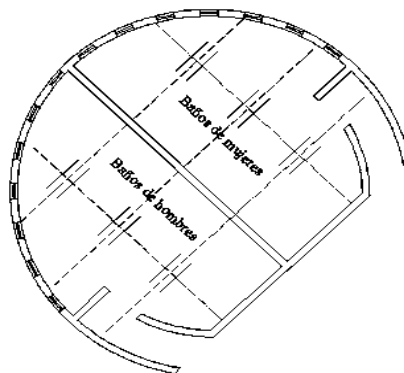


Figura 4.28 Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado.



Anfiteatro

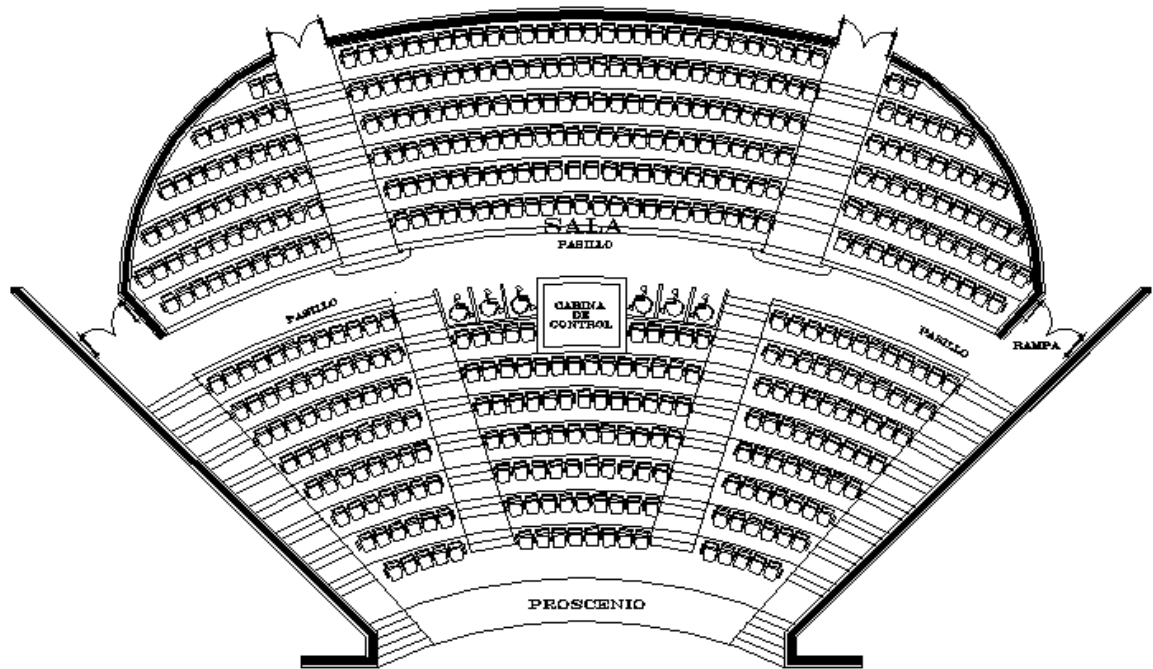


Figura 4.29 Características del Anfiteatro del Auditorio cultural

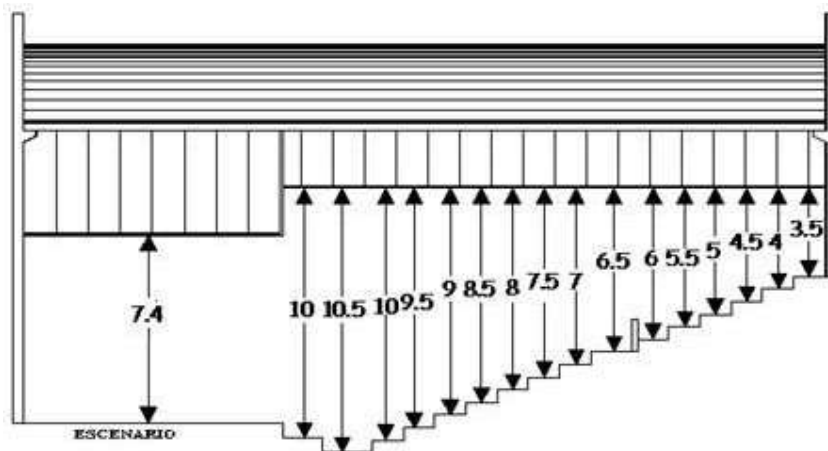


Figura 4.30 Alturas del Anfiteatro del Auditorio cultural

Debido a las características del Anfiteatro, para sacar el número de aparatos, voy a realizar los cálculos en partes como se muestra en la siguiente figura:



Características:

Longitud: 22.50 m.
Ancho: 6.35m.
Altura: 10.50.
S: 142.875 m²

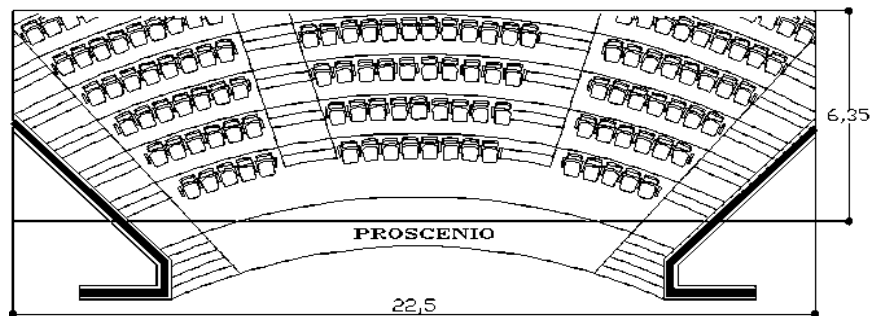


Figura 4.31 Parte I del anfiteatro del auditorio.

1.- Determinación del nivel de iluminación

De las tablas de niveles de iluminación

Valor mínimo = 100 Lux

Valor recomendado = 200 Lux

Tomando como nivel de iluminación de 200 lux

2.- Elección del tipo de lámpara

Lámpara incandescente, para así poder manipular el flujo luminoso, con un variador electrónico (*timmer*) y poder graduar la luz a las necesidades que se requieran.

3.- Elección del sistema de iluminación y de los aparatos de alumbrado

Eligiendo un sistema de *iluminación general para iluminación directa* con un rendimiento de $\eta_A=0.8$ (ver Apéndice A.3).

4.- Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado

Plano útil de trabajo = 1.5 m.



Considerando como $H = 10.5$ metros, debido a que es la altura mayor, para realizar el cálculo de la distribución de aparatos en la parte I del anfiteatro.

$$h = H - 1.5 = 10.5 - 1.5 = 9m$$

a) *Distancia de los aparatos al plano útil de trabajo* (iluminación directa)

$$d = \frac{4}{5}h = \frac{4}{5}(9) = 7.2m.$$

Los pasos “5” y “6” en este caso se omiten debido a que es para calcular la distancia contigua de cada aparato y el número de aparatos, en el cual se va determinar en el paso “8” dependiendo del número de lámparas que se van a requerir.

7.- Cálculo del flujo luminoso total

Calculando en índice del local:

$$K = \frac{2L + 8A}{10H} = \frac{2(22.5) + 8(6.35)}{10(7.2)} = \frac{95.8}{72} = 1.33$$

Debido a que no se tiene los datos sobre el color del techo y las paredes, se adoptaran los siguientes factores de reflexión:

$$\text{Techo} \rightarrow \rho_T = 0.5$$

$$\text{Paredes} \rightarrow \rho_P = 0.3$$

Dado que $K = 1.33$, por lo tanto el factor de utilización es:

$$u = 0.28$$

Factor de depreciación

Suponiendo limpieza cada 2 años y ensuciamiento normal, tenemos:

$$\delta = 1.55$$

Flujo luminoso necesario para iluminar el Anfiteatro:

$$\phi_o = \frac{E \times S \times X \times \delta}{u} = \frac{200(142.875)(1.55)}{0.28} = \frac{44291.3}{0.28} = 158183 \text{ Lúmenes}$$

8.- Distribución del número definitivo de aparatos de alumbrado

El tipo de lámpara es una incandescente tipo CLAS A CL 500 W, 230 V, E40 con un flujo luminoso 8300 lúmenes (Apéndice A.5).



$$N = \frac{\phi_o}{\phi} = \frac{158183}{8300} = 19.05 \approx 19 \text{ Lámparas}$$

Debido a que se va utilizar luminarias Downlight empotrables para lámparas incandescentes, opte por aumentar 2 lámparas más para tener una mejor uniformidad, por lo tanto tenemos:

Número total de aparatos = 21

Número total de lámparas = 21

$$21 \times 8300 = 174300 \text{ lúmenes}$$

Iluminación media sobre el plano de trabajo es:

$$E = \frac{\phi_o \times u}{S \times \delta} = \frac{174300 (0.28)}{142.875(1.55)} = \frac{48804}{221.456} = 220.37 \text{ lux}$$

9.- Consumo de energía eléctrica

Potencia total instalada = 21 lámpara X 500W= 10500 W.

Por lo tanto la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado se muestra en la siguiente figura 4.32

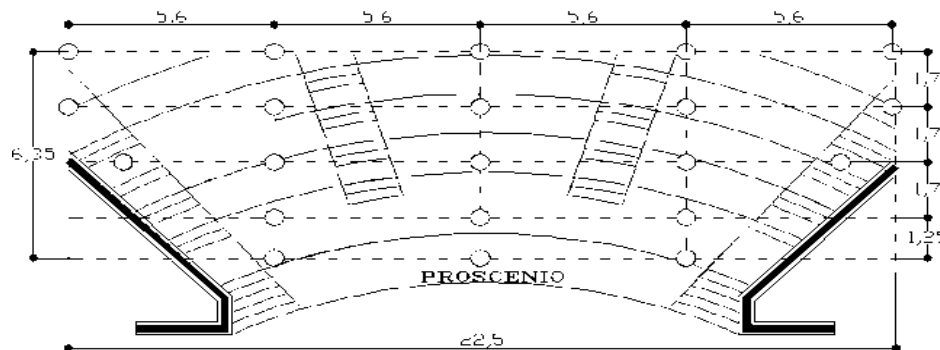


Figura 4.32 Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado.

En la figura 4.33 se muestra la parte II y III del anfiteatro que falta calcular las lámparas con sus respectivos aparatos de alumbrado.

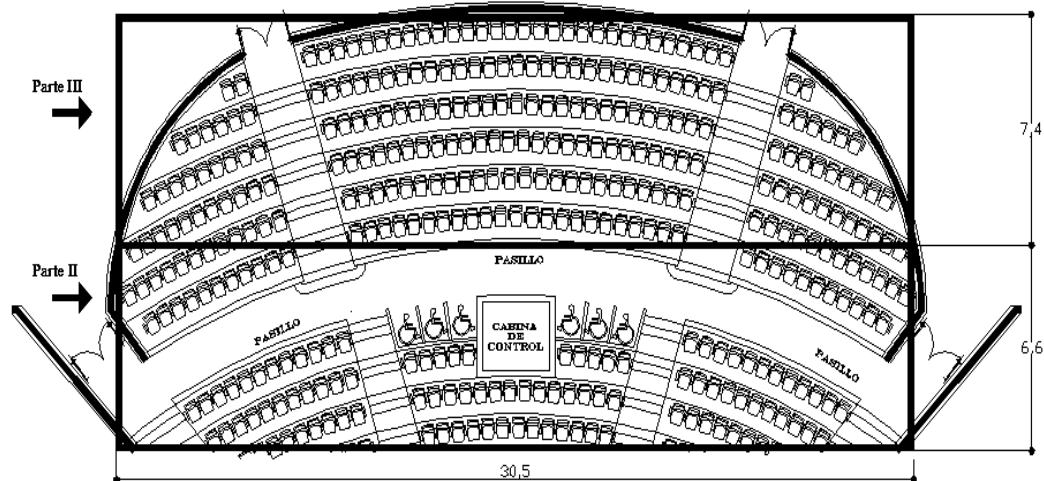


Figura 4.33 Parte II y III del Anfiteatro.

Siguiendo los mismos pasos que utilice para la distribución de lámparas para el anfiteatro en la parte I, la distribución definitiva de las partes II y III se muestra en la figura 4.34

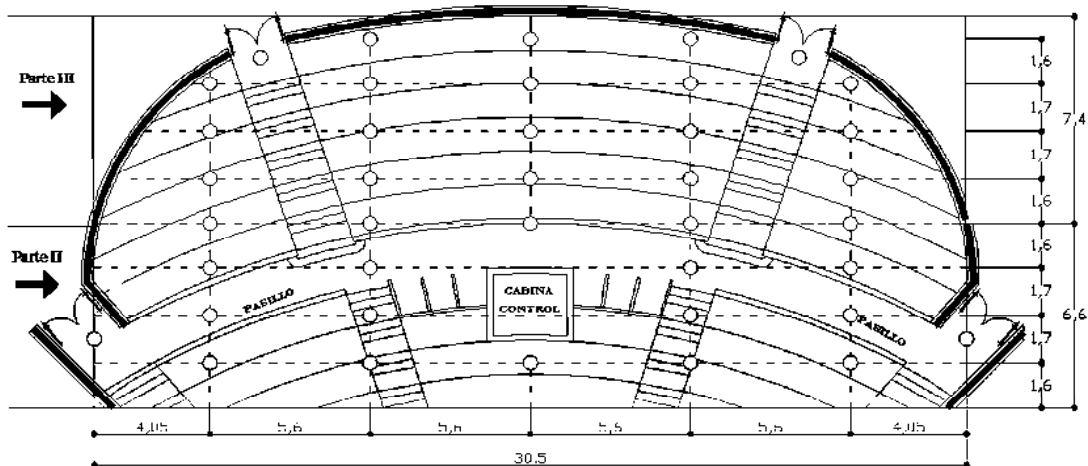


Figura 4.34 Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado.

En el apéndice “A.7” se muestra los resultados que se obtuvieron para calcular el número de lámparas con sus correspondientes aparatos de alumbrados, de las partes que faltaron del Auditorio.



Escenario

Características:

Longitud:	14.20 m.
Ancho:	10 m.
Altura:	7.40 m.
S:	142 m ²

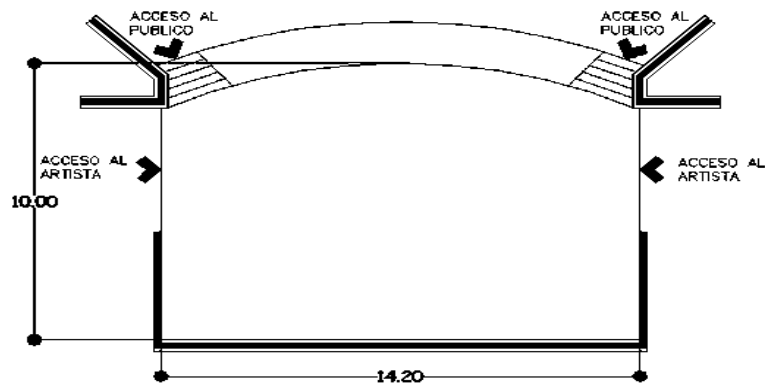


Figura 4.35 Características del escenario

Para la iluminación del escenario se va utilizar el método llamado “punto por punto” por ser el más exacto y preciso en el cual consiste en el cálculo del nivel de iluminación o de iluminancia en un punto y a partir de ese resultado, repetir la fórmula “N” veces, hasta que todos los puntos de un mismo plano de trabajo, sean calculados. Esta “red de puntos” es definida por un proyectista y cuanto más próximos se encuentren los puntos más confiable se toma el cálculo, la fórmula de cálculo para la iluminación en un punto es la siguiente:

$$E_H = \frac{I \cos^3(\alpha)}{h^2}$$

E_H = Iluminancia en un punto.

I = Intensidad luminosa (cd).

h = Distancia del centro de la iluminancia hasta un punto.

α = Angulo formado por la intensidad luminosa y la iluminancia en un plano no perpendicular a la dirección de la luz incidente.



Para iluminar el escenario voy utilizar luminarias de interior, empotrado redondo para reflectores tipo PAR 38 de 120 W y una intensidad luminosa de 3100 cd. en el Apéndice “A.6” se muestra la luminaria y el reflector con su curva fotométrica.

En la figura 4.36 se muestra la distribución de los aparatos, en el cual lo primero que voy a determinar es la iluminación producida por varios aparatos de alumbrado.

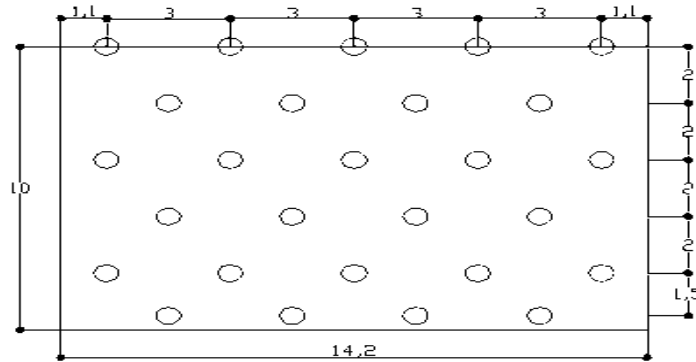


Figura 4.36 Distribución de los aparatos.

Sobre la curva fotométrica, se van determinando los distintos ángulos que corresponden a las distancias hasta el pie de la lámpara.

Suponiendo que el plano de trabajo esta 0.9 m. del suelo por lo que la altura que hemos de tener en cuenta para los cálculos, es:

$$h = 7.40m - 0.9m = 6.5m.$$

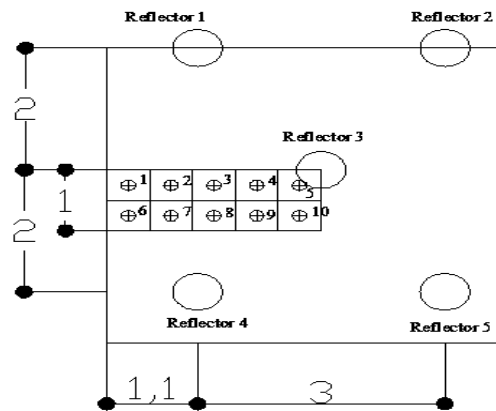
En la tabla 4.3 se muestran los resultados de los cálculos obtenidos para hallar la iluminación horizontal a las diferentes distancias hasta el pie de la lámpara.

Tabla 4.3 Iluminación horizontal a las diferentes distancias hasta el pie de la lámpara.

Distancia al Pie de la Lámpara (metros)	Angulo α (grados)	$\cos^3 \alpha$	$I\alpha$ (Candelas)	Iluminación Horizontal EH (Lux)
0	0	1	3100	73.3728
0.5	4.398	0.9911	3000	70.3805
1	8.746	0.9655	2860	65.3583
1.5	12.994	0.9251	2360	51.676
2	17.102	0.8731	1700	35.1317
2.5	21.037	0.8130	1170	22.516
3	24.775	0.7485	830	14.7046
3.5	28.300	0.6825	415	6.7046
4	31.607	0.6177	250	3.6552
4.5	34.695	0.5558	160	2.1048



Una vez ya calculado la iluminación horizontal, en la siguiente figura se muestra a escala un tramo del escenario que se va a iluminar, en el cual se va a determinar la iluminación en una parte de esta superficie, que dividiremos en 10 rectángulos iguales, y calcularemos la iluminación en el centro de cada rectángulo de acuerdo con la distancia a los aparatos de alumbrado; en cada rectángulo, solamente tenemos en cuenta la iluminación producida por cinco aparatos de alumbrado más cercanos, ya que la iluminación que producen los restantes, es despreciable.



En la tabla 4.4 se muestran los resultados de los cálculos de la iluminación en el centro de cada rectángulo:

Tabla 4.4 Iluminación total de los reflectores en los diferentes puntos

Número de Puntos	Distancia (metros)				
	Reflector 1	Reflector 2	Reflector 3	Reflector 4	Reflector 5
1	2.40	4.45	2.35	1.94	4.21
2	2.27	4.01	1.83	1.77	3.75
3	2.25	3.59	1.32	1.76	3.3
4	2.36	3.20	0.81	1.89	2.87
5	2.56	2.85	0.36	2.14	2.48
6	2.87	4.72	2.45	1.5	4.03
7	2.76	4.31	1.96	1.29	3.54
8	2.75	3.92	1.5	1.26	3.06
9	2.84	3.57	1.08	1.44	2.6
10	3.01	3.26	0.79	1.76	2.15



Tabla 4.4 (Continuación)

Número de Puntos	Iluminación (Lux)					Iluminación Total (Lux) E1 + E2 + E3 + E4 + E5
	Reflector 1 E1	Reflector 2 E2	Reflector 3 E3	Reflector 4 E4	Reflector 5 E5	
1	25.0391	2.2602	26.3007	37.117	3.0042	93.7212
2	28.3197	3.6242	40.7568	42.7421	5.1799	120.623
3	28.8239	6.1557	56.6016	43.073	9.9046	144.559
4	26.0484	11.504	67.2667	38.7214	16.7356	160.276
5	21.5786	17.048	71.2183	31.5993	23.0206	164.47
6	16.7356	1.4347	23.7776	51.676	3.5622	97.1861
7	18.4541	2.6942	36.4552	57.4226	6.4606	121.487
8	18.6103	4.1431	51.676	58.2435	13.7446	146.418
9	17.2042	6.2776	63.1691	53.3179	20.9537	160.923
10	14.5446	10.5446	67.4676	43.073	31.347	166.977

Calculando la iluminación media:

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10}}{10}$$

$$E_m = 137.664 \text{ Lux}$$

$$P = 27 \times 120W = 3240 \text{ Watts.}$$

El flujo luminoso que llega a la superficie del suelo se calcula como sigue.

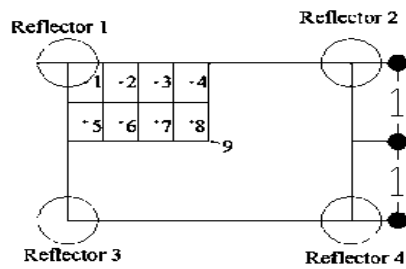
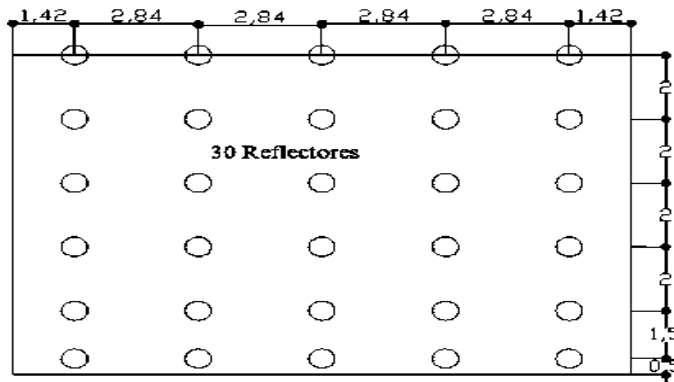
$$S = 14.2m (10m) = 142 \text{ m}^2$$

$$\text{Flujo luminoso útil } \Phi_n = E_m \times S = 137.664 \times 142 = 19,548.3 \text{ lúmenes}$$

De acuerdo con la tabla de niveles de iluminación para alumbrado general, $E_{min} = 100$ y $E_{rec} = 200$, el valor obtenido " E_m " queda dentro de los valores que pueden aceptarse como base para el proyecto.

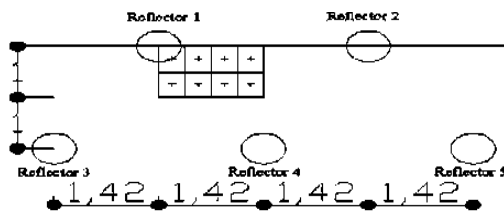
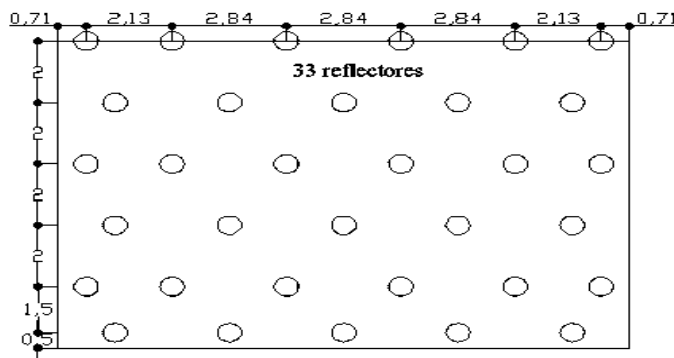
En la figura 4.37 se muestran otras opciones de distribución de reflectores sobre el escenario con su valor " E_m " ya calculado.

En la figura 4.38 a) se muestra el escenario con el equipo teatral de iluminación y figura 4.38 b) se muestra el Auditorio completo con la distribución de todos los aparatos con sus respectivas lámparas.



$E_m = 160.604 \text{ Lux}$

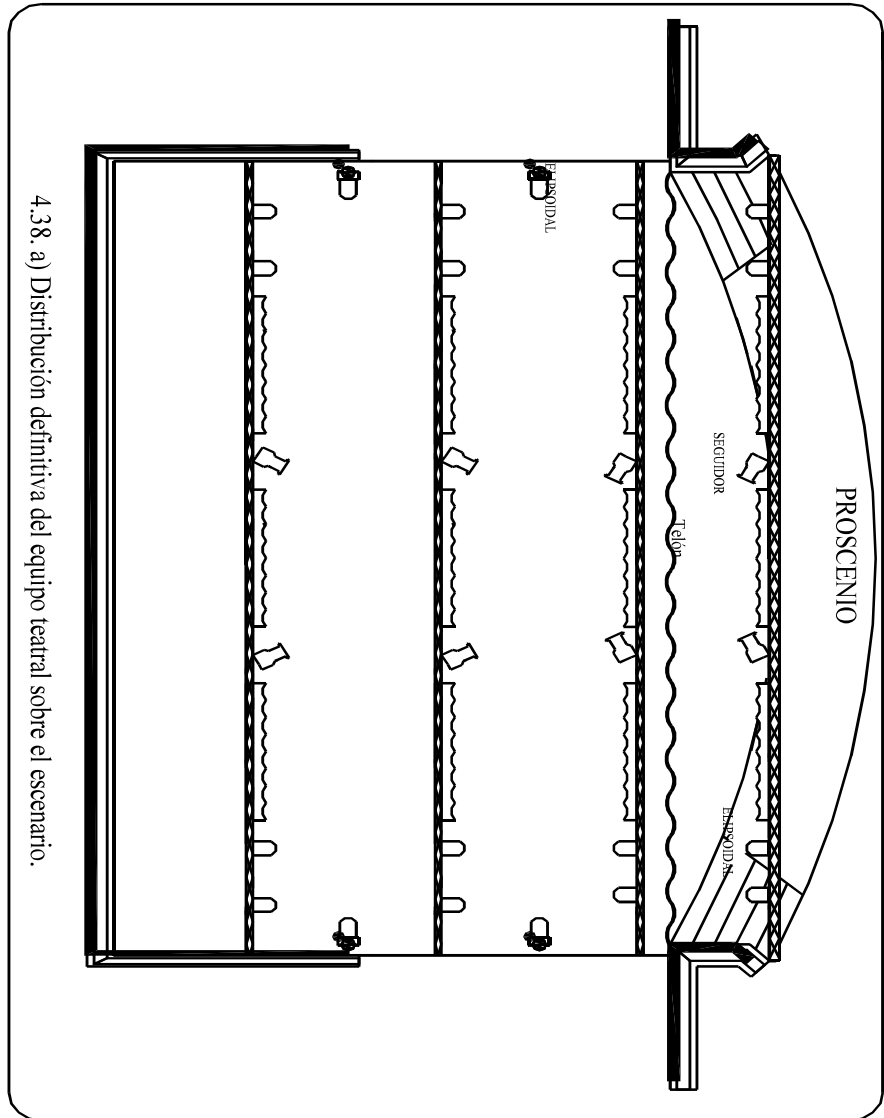
$P = 3600 \text{ Watts}$



$E_m = 167.511 \text{ Lux}$

$P = 3960 \text{ Watts.}$

Figura 4.37 Diferentes opciones de distribución de aparatos de alumbrado sobre el escenario.



Nota: Todo el equipo teatral que esta colocado sobre el escenario, como las baterías y los reflectores se pueden desmontar de acuerdo a las necesidades del evento que se presente (Conferencias, Obras teatrales, Conciertos etc..).



Capítulo 5. Conclusiones

En esta tesis se procuro no descuidar la calidad de iluminación, tratando siempre de mantener la adecuada selección del equipo, los niveles de iluminación a apropiados y los factores de uniformidad dentro de los límites establecidos, además los procedimientos establecidos sobre la clasificación y selección de los equipos a emplear, resultan ser muy sencillos y prácticos, para personas que no tiene buena base de la luminotecnica.

Espero que este trabajo sirva de algo para futuros Ingenieros electricistas, ya que tiene información que puede ser útil para elaborar cualquier otro proyecto ya sea de interiores o de exteriores, pues desarrolla temas generales en la iluminación.

Actualmente no se ha llevado acabo la construcción del Auditorio Cultural en el Municipio de Tangancicuaro debido por cuestiones políticas, debido a que la nueva administración Presidencial no tuvo el apoyo económico aceptable para iniciarse la construcción, en el cual el partido político que propuso dicho Auditorio esta trabajando para conseguir dichos apoyos económicos y llevarlo acabo lo antes posible, resolviendo la falta de espacios para el esparcimiento de la cultura, recreación y cultivar las actividades artísticas. Con esto se le proporcionara al publico un espacio cómodo y seguro donde se tendrá una mejor visualización y se podrá escuchar de una manera clara los diferentes actos que se presenten.

La información contenida en esta tesis debe someterse a las revisiones necesarias para mantener actualizados los procedimientos con la relación de las normas y las nuevas tecnologías en el mercado de la iluminación.



Apéndice

A.1: Factores de reflexión, absorción y transmisión.

Material	Factor de reflexión ρ	Factor de absorción α	Factor de transmisión τ	Observaciones
Superficie pintada castaña	0.1 – 0.5	0.9 – 0.5	0	Reflexión difusa
Superficie pintada roja	0.1 – 0.35	0.9 -0.65	0	Reflexión difusa
Superficie pintada verde	0.1 – 0.6	0.9 – 0.4	0	Reflexión difusa
Superficie pintada azul	0.05 – 0.5	0.95 -0.5	0	Reflexión difusa
Superficie pintada gris	0.2 – 0.6	0.8 – 0.4	0	Reflexión difusa
Superficie pintada negra	0.04 - 0.08	0.96- 0.92	0	Reflexión semidirigida
Vidrios y cristales				
Vidrio opaco negro	0.5	0.95	0	Reflexión dirigida
Vidrio opaco blanco	0.75–0.8	0.25 -0.2	0	Reflexión difusa
Vidrio transparente claro (2 a 4 mm.)	0.08	0.02	0.9	Transmisión muy dirigida
Vidrio deslustrado al ext. (1.5 a 2mm.)	0.07-0.20	0.06- 0.17	0.87 – 0.63	Transmisión escasamente difusa
Vidrio deslustrado al interior (1.5 a 3 mm.)	0.06-0.16	0.05- 0.07	0.89-0.77	Transmisión escasamente difusa
Vidrio opalino blanco (1.5 a 3 mm.)	0.30-0.55	0.04- 0.08	0.66-0.36	Transmisión difusa
Vidrio opalino rojo (2 a 3 mm.)	0.04-0.05	0.92- 0.93	0.04-0.02	Transmisión difusa
Vidrio opalino anaranjado (2 a 3 mm.)	0.05-0.08	0.85- 0.86	0.1- 0.06	Transmisión difusa
Vidrio opalino amarillo (2 a 3 mm.)	0.25-0.3	0.55- 0.58	0.2-0.12	Transmisión difusa
Vidrio opalino verde (2 a 3 mm.)	0.08-0.1	0.83- 0.87	0.09-0.03	Transmisión difusa



Tabla A.1 (Continuación)

Vidrio opalino azul (2 a 3 mm.)	0.08-0.1	0.82-0.87	0.1-0.03	Transmisión difusa
Otros materiales				
Papel blanco	0.6 – 0.8	0.3-0.1	0.1 – 0.2	Reflexión difusa. Transmisión difusa
Pergamino sin colorear	0.48	0.1	0.42	Reflexión difusa. Transmisión difusa
Pergamino amarillo	0.4 – 0.2	0.2 – 0.63	0.4 – 0.17	Reflexión difusa. Transmisión difusa
Seda blanca (tupida)	0.28-0.38	0.01	0.16-0.71	Reflexión semidirigida. Transmisión difusa
Seda de color (tupida)	0.2 – 0.1	0.44-0.86	0.54-0.13	Reflexión semidirigida. Transmisión difusa
Plata pulida	0.9 - 0.95	0.1 - 0.05	0	Reflexión muy dirigida
Espejo plateado	0.7 - 0.85	0.3 - 0.15	0	Reflexión muy dirigida
Espejo azogado	0.8 - 0.88	0.2 - 0.12	0	Reflexión muy dirigida
Aluminio pulido	0.7 – 0.9	0.3 - 0.1	0	Reflexión muy dirigida
Aluminio mate	0.55 - 0.6	0.45 - 0.4	0	Reflexión semidirigida
Pintura de aluminio	0.6 – 0.7	0.4 – 0.3	0	Reflexión dirigida
Acero pulido	0.55-0.65	0.45-0.35	0	Reflexión muy dirigida
Níquel pulido	0.55	0.45	0	Reflexión muy dirigida
Cromo pulido	0.6	0.4	0	Reflexión muy dirigida
Hojalata nueva	0.7	0.3	0	Reflexión muy dirigida
Materiales de construcción				
Hormigón fresco y seco	0.4 – 0.5	0.6 – 0.5	0	Reflexión difusa
Enyesado fresco y seco	0.8	0.2	0	Reflexión difusa
Enyesado viejo y seco	0.6 – 0.7	0.4 – 0.3	0	Reflexión difusa
Piedra caliza	0.35–0.65	0.65-0.35	0	Reflexión difusa



Tabla A.1 (Continuación)

Mármol pulimentado e impregnado (7 a 10 mm. espesor)	0.05-0.3	0.87-0.67	0.08-0.03	Reflexión semidirigida. Transmisión difusa
Alabastro (11 a 13 mm. espesor)	0.2 – 0.5	0.5 – 0.33	0.3 – 0.17	Reflexión semidirigida. Transmisión difusa
Pinturas y superficies pintadas				
Esmalte blanco	0.6 – 0.75	0.4 – 0.25	0	Reflexión difusa y semidirigida
Superficie pintada blanca	0.7 – 0.8	0.3 – 0.2	0	Reflexión difusa
Superficie pintada amarilla	0.3 – 0.7	0.7 – 0.3	0	Reflexión difusa
Superficie beige	0.25– 0.65	0.75 – 0.35	0	Reflexión difusa

A.2: Niveles de iluminación

	Mínimo Lux	Rec. Lux
Locales comunes a todas las categorías:		
Vestíbulos, corredores, ascensores	50	70
Escaleras	100	150
Vestuarios, tocadores y lavabos	50	100
Habitaciones:		
Cuarto de baño: Alumbrado general	50	100
Espejos (sobre el rostro)	200	500
Dormitorios: Alumbrado general	50	
Camas y espejos	200	500
Cocinas: fogones, lavaderos, mesas	70	100
Cuartos de niños	70	200
Cuarto de estar: Alumbrado general	70	200
Salas de espectáculos:		
Vestíbulo	100	
Salón de descanso	100	200
Anfiteatro (Teatros, Salas de Concierto):		
Durante los entreactos	100	200
Durante la audición	Alumbrado de circulación	
Orquestas (sobre los atriles)	300	500
Salas de cine : Durante los entreactos	100	200
Durante la proyección	Alumbrado de circulación	



A.2: Niveles de iluminación (Continuación)

Salas de fiestas, salas de baile: alumbrado general	150	200
Intermedios, exhibiciones	Alumbrado de circulación	
Oficinas y administraciones:		
Vestíbulos; habitaciones de paso: Iluminación general interior	150	500
Oficinas privadas y trabajos generales de oficina distintos a los interiores	200	—
Salas de dibujo: Mesas	500	1000
Alumbrado general	150	300
Oficinas de información, salas de recepción, salas de espera	150	500
Archivos	100	—
Establecimientos de enseñanza:		
Salas de conferencias, anfiteatros, salas de reuniones	200	500
Gimnasios	150	300
Vestuarios, tocadores y lavabos	50	100
Salas de clases y laboratorios	200	500
Dibujo de arte, industrial y costura	500	700
Almacenes de pequeñas localidades:		
Alumbrado general	200	300
Sobre los mostradores	300	500
Escaparates	500	1000
Hoteles – Cafés – Restaurantes :		
Cocinas	100	200
Dormitorios: Alumbrado general	100	200
Camas y espejos	200	500
Comedores, salas de restaurantes, salas de café, salones de hotel, salones de té	100	300
Salas de correspondencia: Alumbrado general	100	—
Mesas de escribir: alumbrado localizado	300	500
Locales comunes a todas las categorías		
Alumbrado general de circulación	100	—
Entrada, pasillos, escaleras, pasos diversos	100	200
Depósitos	50	200
Bodegas	70	100
Sala de máquinas	150	200



A.2: Niveles de iluminación (Continuación)

Niveles de iluminación naturales	
A pleno sol en verano y a mediodía	120,000 a 200,000
A pleno sol en verano, por la mañana	10,000 a 100,000
A pleno sol, sombra de un árbol	6,000 a 50,000
En el interior de una casa, en verano con sol	1,000 a 1,500
En el interior de una casa, en invierno	200 a 300
En invierno con lluvia, en el exterior	250 a 400
De noche con luna llena	0.1 a 0.4



A.3: Determinación de los factores de utilización y depreciación.

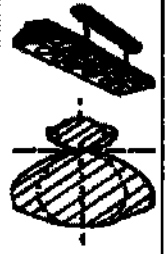
Calculo de proyecto de iluminación interior. Lámparas incandescentes. Iluminación directa.

Aparato de alumbrado		Indice del local K	Factor de utilización									Factor de depreciación						
Tipo	Reod. ηA		ρ _r =0.7			ρ _r =0.5			ρ _r =0.3			Limpieza cada						
		ρ _r =0.5	ρ _r =0.3	ρ _r =0.1	ρ _r =0.5	ρ _r =0.3	ρ _r =0.1	ρ _r =0.5	ρ _r =0.3	ρ _r =0.1	1 año	2 años	3 años					
	0 ↑ 80 ↓ 80	1	0.27	0.21	0.17	0.26	0.21	0.17	0.26	0.21	0.17							
		1.2	0.32	0.26	0.21	0.31	0.25	0.21	0.30	0.25	0.21							
		1.5	0.38	0.32	0.27	0.37	0.32	0.27	0.36	0.31	0.27							
		2	0.46	0.40	0.36	0.45	0.40	0.36	0.44	0.39	0.36							
		2.5	0.51	0.46	0.42	0.50	0.46	0.42	0.49	0.45	0.42				Ensuciamiento bajo	x	x	x
		3	0.55	0.50	0.46	0.54	0.50	0.46	0.53	0.49	0.46				Ensuciam. normal	1.35	1.55	x
		4	0.61	0.56	0.53	0.60	0.56	0.53	0.59	0.55	0.53							
		5	0.64	0.60	0.57	0.63	0.60	0.57	0.62	0.60	0.57				Ensuciamiento alto	1.65	2.15	x
		6	0.67	0.63	0.61	0.66	0.63	0.60	0.65	0.62	0.60							
		8	0.70	0.67	0.65	0.69	0.67	0.65	0.68	0.66	0.65							
10	0.72	0.70	0.68	0.71	0.69	0.67	0.71	0.69	0.67									
1 aparato de alumbrado en el centro del local																		
1	0.29	0.23	0.19	0.28	0.23	0.19	0.28	0.23	0.19									
1.2	0.35	0.29	0.25	0.34	0.29	0.25	0.33	0.28	0.25									
1.5	0.42	0.37	0.33	0.41	0.36	0.33	0.41	0.36	0.33									
2	0.52	0.47	0.44	0.51	0.47	0.44	0.50	0.47	0.44									



A.3: Determinación de los factores de utilización y depreciación (Continuación).

Calculo de proyecto de iluminación interior. Lámparas fluorescentes. Iluminación semidirecta con armadura de celosías.

Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factor de utilización									Factor de depreciación						
Tipo	Rend. η_A		$pr=0.7$			$pr=0.5$			$pr=0.3$			Limpieza cada						
			$pr=0.5$	$pr=0.3$	$pr=0.1$	$pr=0.5$	$pr=0.3$	$pr=0.1$	$pr=0.5$	$pr=0.3$	$pr=0.1$	1 año	2 años	3 años				
SEMIDIRECTO Armadura de aristas con headlamps 	0 ↑ 80 ↓ 80	1	0.28	0.22	0.18	0.23	0.20	0.17	0.23	0.19	0.16							
		1.2	0.33	0.27	0.23	0.30	0.25	0.21	0.27	0.23	0.20							
		1.5	0.39	0.33	0.29	0.36	0.31	0.27	0.33	0.28	0.25							
		2	0.47	0.42	0.37	0.43	0.39	0.35	0.40	0.36	0.33							
		2.5	0.53	0.47	0.43	0.48	0.44	0.41	0.44	0.41	0.38				Ensuciamiento bajo			
		3	0.56	0.51	0.48	0.52	0.48	0.45	0.48	0.44	0.42				x			
		4	0.61	0.57	0.54	0.57	0.53	0.51	0.52	0.50	0.47				x			
		5	0.65	0.61	0.58	0.60	0.57	0.55	0.55	0.53	0.51				Ensuciam. normal			
		6	0.67	0.64	0.61	0.62	0.60	0.57	0.58	0.55	0.54				1.40			
		8	0.70	0.68	0.65	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59	0.57				1.70			
		10	0.72	0.70	0.68	0.67	0.65	0.64	0.62	0.61	0.60				1.90			
		1 aparato de alumbrado en el centro del local																
		1	0.29	0.24	0.20	0.27	0.22	0.19	0.25	0.21	0.18							
		1.2	0.35	0.29	0.25	0.32	0.27	0.24	0.30	0.26	0.23							
1.5	0.43	0.37	0.33	0.39	0.35	0.31	0.36	0.33	0.30									
2	0.52	0.48	0.44	0.49	0.45	0.42	0.45	0.42	0.40									



A.4: Aplicaciones principales para cada tipo de lámpara.

	Incandescente Estándar	Incandescente Halógena	Fluorescente Estándar	Fluorescente compacta	Mercurio de Alta Presión	Haltros Metálicos	Sodio de Alta Presión	Sodio de Baja Presión	Luz Mixta
Alumbrado De oficinas									
Alumbrado de Tiendas (Gral)									
Deportes (Interiores)									
Naves/ Bodegas Industriales									
Autopistas									
Zonas Residenciales									
Deportes (Exteriores)									
Alumbrado de Grandes Areas									
Túneles									
Alumbrado Domestico									
Alumbrado General									
Alumbrado Publico (Calle Avenidas)									
Gimnasios									
Escuelas									
Edificios Públicos									



A.5: Características de las lámparas.

Lámparas Fluorescentes MASTER TL-D Eco

Descripción del producto:

- Lámpara de descarga de vapor de mercurio a baja presión (26mm).

Características:

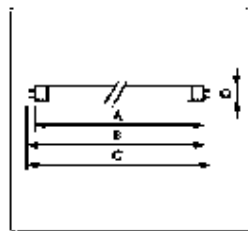
- La lámpara fluorescente T8 que ahorra más de un 10% de energía en aplicaciones de interior ya existente.
- Puede ser remplazado directamente por los fluorescentes existentes que operan tanto con equipo convencional así como con equipo electrónico en las aplicaciones de interiores.
- Utiliza unos nuevos fósforos y un gas de relleno especial.
- Alta calidad de la luz con un buen Índice de Reproducción cromática.
- Mantenimiento del flujo y vida útil igual que la Gama 80 actual.
- Regulable.

Ventajas:

- Reemplazo sencillo con ahorro de energía de un 10%.
- Permite que las instalaciones hechas cumplan con la normativa actual de interior.
- Alta eficiencia y buen mantenimiento del flujo luminoso durante toda la vida de la lámpara.

Aplicaciones:

- Para aplicaciones de interior en salas con temperaturas próximas a 20°C.
- Principalmente dirigido a Oficinas, Colegios, Hospitales, Industria, Supermercados, etc...
- No se recomienda en aplicaciones con Aire acondicionado cerca de la lámpara.



Dimensión (mm)

Dim. No.	A		B		D
	max.	min.	max.	max.	
1	589.8	594.5	596.9	604.0	28
2	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6	28
3	1500.0	1504.7	1507.1	1514.2	28
4	1763.8	1768.5	1770.9	1778.0	28

Tipo	Designación de potencia/ color	Tipo de Embalaje	Unidad de Embalaje	Ba- se/Casquillo	Índice Reproducción Cromática (R.a)	Luminous Flux Lamp EM 30°C (lm)	Dim. No.	N.º de pedido
MASTER TL-D Eco	16W/830	1SL	25	G13	85	1300	1	8711500 ...
MASTER TL-D Eco	16W/840	1SL	25	G13	85	1300	1	268570 40
MASTER TL-D Eco	16W/865	1SL	25	G13	85	1225	1	268617 40
MASTER TL-D Eco	32W/830	1SL	25	G13	85	3000	2	268716 40
MASTER TL-D Eco	32W/840	1SL	25	G13	85	3000	2	264589 40
MASTER TL-D Eco	32W/865	1SL	25	G13	85	2850	2	264626 40
MASTER TL-D Eco	51W/830	1SL	25	G13	85	4800	3	264640 40
MASTER TL-D Eco	51W/840	1SL	25	G13	85	4800	3	264664 40
MASTER TL-D Eco	51W/865	1SL	25	G13	85	4650	3	264701 40
MASTER TL-D Eco	63W/830	1SL	25	G13	85	5600	4	264725 40
MASTER TL-D Eco	63W/840	1SL	25	G13	85	5600	4	268730 40
MASTER TL-D Eco	63W/865	1SL	25	G13	85	5600	4	268754 40





LAMPARA INCANDESCENTE

CLAS A CL 500W 240V E40 20X1



Características	
Casquillo	E40
Color del producto	Clara
Diámetro en mm	112 mm
Etiqueta energética	E
Flujo luminoso en lm	8300 lm
Forma / Modelo	Ampolla-A
ILCOS	IAA/C-500-240/250-E40-112
Longitud máxima en mm	239 mm
Potencia nominal en vatios	500 W
Tensión nominal en voltios	Min. 240 V Max. 250 V

A.6: A) Luminarias, reflector tipo PAR 38 con su curva fotométrica.

Luminaria de interior:



MONTISI LTL - 2282



ARAGONA
YD-380/B



A.6: A) Luminaria, reflector tipo PAR 38 con su curva fotométrica (continuación).

Luminaria de exterior, tipo Pared:

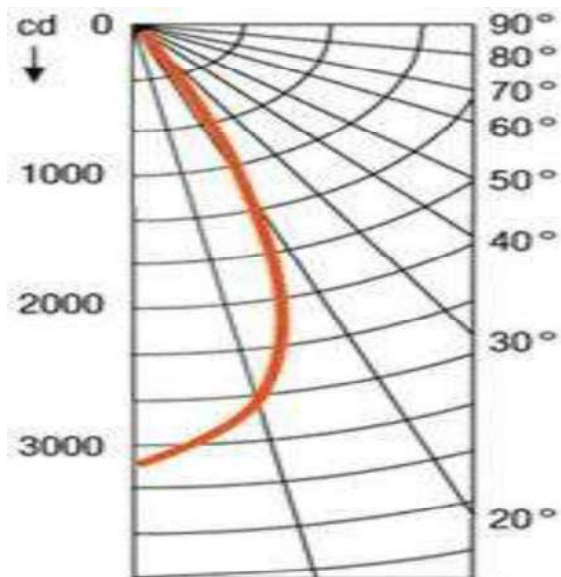
FORZA TL – 6055/Z



PAR 38 FL 120W 240V E27 12X1



Características	
Ángulo del haz de luz en grados	30 °
Casquillo	E27
Color del producto	Clara
Diámetro en mm	122 mm
Forma / Modelo	PAR
Etiqueta de importación (procedencia)	Mercancía de importación
Frecuencia de red en Hz	50 HZ
ILCOS	IPAR-120-240-E27-122/30
Intensidad luminosa en candela	3100 cd
Longitud de montaje en mm	123 mm
Longitud máxima en mm	136 mm
Potencia nominal en vatios	120 W
Tensión nominal en voltios	240 V



Nota: Las lámparas Fluorescentes MASTER TL-D Eco que se van a utilizar se pueden sustituir por lámparas **Fluorescentes compactas** con sus respectiva luminaria, eligiendo el adecuado flujo luminoso de dicha lámpara para no afectar la iluminación media correspondiente. (Ver catalogo Tecno Lite).



A.7: Resultados que se obtuvieron de los cálculos para la distribución definitiva de los aparatos de alumbrado, de las partes faltantes del Auditorio.

<i>Area</i>	<i>Características</i>	<i>Nu. De aparatos, Flujo Luminoso total</i>	<i>Distribución de los aparatos de alumbrado</i>	<i>Consumo de Energía Eléctrica</i>
Cafetería y dulcería	Longitud= 8.20 m. Ancho= 2.20 m. Altura= 4 m. Area= 18.04 m ² Nivel iluminac.= 300Lux Iluminación semidirecta	h= 3 m. d= 2.4 m. e= 3.6 m. e'= 1.2 m. K= 1.41 U= 0.29 $\Phi_0=26,126.8$ lm.	Se uso una MASTER TL-D 51 Watts y 4,650 lm. Total de aparatos= 3 Total de lámparas= 6 Flujo total lámp.=27900 lm. E= 320.3 Lux	P=306 Watts
Bodega y Retroescena.	Longitud= 5.20 m. Ancho= 4.70 m. Altura= 7.41 m. Area= 24.44 m ² Nivel iluminación <u>Retroescena</u> = 200 Lux <u>Bodega</u> = 100 Lux Iluminación semidirecta	h= 6 m. d= 4.8 m. e= 7.2 m. e'= 3.6 m. K= 1 U= 0.22 Flujo luminoso <u>retroescena</u> $\Phi_0 =$ 31,105.4 lm. <u>Bodega</u> $\Phi_0 =$ 15,552.72 lm.	Se uso una MASTER TL-D <u>63 W. y 5600 lm. Retroesce.</u> Total de aparatos =2 Total de lámparas = 6 Flujo total lámp.=33600 lm. E= 216 Lux <u>51 W. y 4800 lm. Bodega</u> Total de aparatos = 2 Total de lámparas = 4 Flujo total lámp.=19200 lm. E= 123 Lux	<u>Retroescena</u> P=378 Watts <u>Bodega</u> P=204 Watts
Administración	Longitud= 3.80 m. Ancho= 3.34 m. Altura= 4.60 m. Area= 12.69 m ² Nivel iluminac.= 150 Lux Iluminación semidirecta	h= 3.60 m. d= 2.88 m. e= 4.32 m. e'= 1.44 m. K= 1.19 U= 0.25 $\Phi_0=10,659.6$ lm.	Se uso una MASTER TL-D 32 Watts y 2,850 lm. Total de aparatos= 2 Total de lámparas= 4 Flujo total lámp.=11400 lm. E= 160.41 Lux	P=128 Watts

Nota: De acuerdo a las características de las medidas, del acceso del artista y de la recepción adopte colocar una distribución de aparatos de manera uniforme, con las mismas características de las lámparas (potencia, distribución del flujo luminoso) usadas en la administración.

**Apéndice A.7: (Continuación)**

<i>Area</i>	<i>Características</i>	<i>Nu. De aparatos, Flujo Luminoso total</i>	<i>Distribución de los aparatos de alumbrado</i>	<i>Consumo de Energía Eléctrica</i>
Vestibulo	Longitud= 30 m. Ancho= 6.30 m. Altura= 4 m. Area= 189 m ² Nivel iluminac.= 100Lux Iluminación semidirecta	h= 3.15 m. d= 2.52 m. e= 3.78 m. e'= 1.89 m. K= 4.38 U= 0.54 Φ _o =49,000 lm.	Se uso una MASTER TL-D 16 Watts y 1,300 lm. Total de aparatos= 14 Total de lámparas= 42 Flujo total lámp.=54600 lm. E= 111.42 Lux	P=672 Watts
Anfiteatro parte II	Longitud= 30.5 m. Ancho= 6.6 m. Altura= 8.5m. Area= 201.3 m ² Nivel iluminac.= 200 Lux Iluminación directa	h= 7 m. d= 5.6 m. K= 2.03 U= 0.40 Φ _o =156,008 lm	Se uso una Incandescente tipo CLAS A CL 500W. 230V, E40 y 8300 lm. Total de aparatos= 19+1=20 Total de lámparas=19+1=20 Flujo total lámp.=166,000 lm. E= 212.81 Lux	P= 10,000 Watts
Anfiteatro parte III	Longitud= 30.5 m. Ancho= 7.4 m. Altura= 6m. Area= 225.7 m ² Nivel iluminac.= 200 Lux Iluminación directa	h= 5 m. d= 4 m. K= 3 U= 0.50 Φ _o =139,934 lm	Se uso una Incandescente tipo CLAS A CL 500W. 230V, E40 y 8300 lm. Total de aparatos= 17+3=20 Total de lámparas=17+3=20 Flujo total lámp.=166,000 lm. E= 237.25 Lux	P= 10,000 Watts

Nota: En el cálculo del vestibulo, debido que la cafetería se encuentra dentro, en la distribución de aparatos no tome en cuenta la cafetería ya que anteriormente ya se realizo los cálculos disminuyendo el número de aparatos y aumentando el número de lámparas para obtener una mejor uniformidad y cumplir con los requisitos de la iluminación media sobre el plano de trabajo.



A.8: Equipos especiales para el control de la iluminación sobre el escenario.

DIABLA PARA PAR 38 R40

La diabla R40 es una luminaria diseñada para uso general; disponible para operar en tres o cuatro circuitos, por separación de color o mezcla de colores. Puede usarse para dar tono general a para iluminación de ciclorama desde arriba o abajo.

- Construcción de acero.
- Mordazas y portafiltros por lámpara incluido.



CRICKET- SEGUIDOR HALOGENO 1000W

- Para distancia de tiro de 10 a 20 metros.
- Zoom de 10° a 22° grados.
- Boomerang de seis colores.
- Proyección de globos.
- Iris de 0 a 100%.
- Dimmer de 0 a 100%.
- Sistema de iris con deflector de calor.
- Lámparas de 1000 y 1200W.



CONSOLA DE CONTROL LINEA SMART 2496

- Pequeña consola de control en configuración 2 escenas o memoria de hasta 96 canales, o servir para consola de respaldo de hasta 512 canales.
- Dos configuraciones disponibles, Smart 1248, para montaje sobre mesa o en rack de 19", y Smart 2496 para montaje en mesa únicamente.
- Botones iluminados con código de colores para fácil funcionamiento.
- Pantalla de LCD con todas las funciones e información requerida.
- Extremadamente fácil de operar. Parcheo electrónico de canales.
- Modo de consola de respaldo en el cual permite grabar hasta 48 escenas de hasta 512 canales, en Smart 2496 y 24 escenas de hasta 512 canales en Smart 1248.



A.8: (continuación).

- Grabación de múltiples eventos en su memoria de estado sólido extraíble.
- Conexión de varias consolas en cascada, conexión vía puerto USB y Midi.



ETC UNISON DIMMER RACKS

Los bancos de dimmers UNISON están diseñados para montaje en pared. Extremadamente compactos y poderosos, son ideales para instalaciones arquitectónicas de primer nivel o para pequeños teatros, salas de concierto, centro de convecciones etc. Utiliza los mismos módulos de dimmer que los equipos Sensor.

- Configuraciones de salida para 20 amps.
- Capacidades hasta 12 circuitos (6 módulos dobles) hasta 24 circuitos (12 módulos dobles) enlazables.
- Capacidades avanzadas de manejo arquitectónico.



Reflector elipsoidal ETC – REVOLUTION

- 540° movimiento horizontal y 270° vertical, resolución de 16 bit.
- Movimiento totalmente silencioso.
- Dimmer silencioso integrado en el reflector.
- Listo para protocolo RDM.
- Lámpara de nueva generación de 750 W QLX.



A.8: (continuación).

- Zoom de 16 a 36° motorizado, foco motorizado.
- Cambiador de color de 24 filtros integrado.
- Dos ranuras para efectos, espacio para filtro y gobos convencionales.



Manguera Plana

- Para iluminar en los bordes de los escalones del Auditorio.
- Rollo de 25 metros, manguera plana LEDS, corte cada metro, color blanco cálido, 127 V, 128W, 50,000 horas.





Referencias

Libros:

[Vázquez, J 1973]

Ramírez Vázquez, J., Enciclopedia CEAC de electricidad. LUMINOTECNIA, España: CEAC, S.A., 1973

[Martínez D. 1998]

Fernando Martínez, Instalaciones Eléctricas de Alumbrado e Industriales, España: Paraninfo, 1998.

[Orozco 2005]

Valentín Orozco, Manual básico de iluminación escénica, México: ESCENOLOGIA, 2005.

[Westinghouse 1980]

Westinghouse, Manual de Alumbrado, Venezuela: Dossat 3^a edición, 1980.

Periódico:

[ILUMINET 2009]

Iluminet, <http://www.iluminet.com.mx>, Los LEDS y la importancia de estar bien informados, 22 de Octubre de 2009.

Internet:

[Tecno Lite 2008]

Tecno Lite. Página principal. México. Diciembre 2008.

<http://www.tecnolite.com.mx>



[Philips 2008]

Philips. Página principal. México. Diciembre 2008.
<http://www.luz.philips.com.mx>

[Holophane 2008]

Holophane. Página principal. México. Diciembre 2008.
<http://www.holophane.com.mx>

[Lighting Design & Asoc. 2008]

Lighting Design & Asoc. Página principal. Argentina. Diciembre 2008.
<http://www.laszlo.com.ar>

[SIMCLI 2008]

SIMCLI. Página principal. México. Diciembre 2008. <http://www.simcli-iluminacion.com>

[Teletec]

Teletec de México. Página principal. México. Diciembre 2009.
<http://www.teletec.com.mx>

[En línea]

Direcciones de Internet:

<http://www.indal.es/portal/docs/Documentaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica/Documentaci%C3%B3n%20Web%20Indalux/Luminotecnia/10.%20Ilintind.pdf>

http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/InstalacionesIndustriales/Art_Interes/ConBasLum.pdf

<http://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Lighting.pdf>

<http://www.sylvania.com.ar/docs/sylvania%20incandescentes.pdf>

<http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica79.html>



http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_fluorescente

http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_fluorescentes/af_fluorescentes_5.htm

<http://www.clas-sa.com/articulos/Articulo%20N%BA55%20Lamparas.swf>

http://www.enlumenats.com/pdf/LUCALOX_GENERAL.pdf

<http://www.geiluminacion.com/mx/download/3.hid.pdf>

http://pdf.rincondelvago.com/iluminacion_1.html

<http://www.entereguladorsalta.gov.ar/descargas/anexo-alumbrado-publico.pdf>

http://www.gelighting.com.ar/App_Lib/pdf/Capacitaci%C3%B3n%20EASY%202007.pdf

<http://exp-grafica.uma.es/Profesores/www-jrad/document/luminotecnia/reflectores.pdf>