

67
20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMAS DE ILUMINACION:
UN DISEÑO PARA LOS LABORATORIOS DE
ELECTRICA, TERMICA Y FLUIDOS, HIDRAULICA
Y ESTRUCTURAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA)
P R E S E N T A I
JEAN PAUL FREYSSINIER NOVA



DIRECTOR DE TESIS:

ING. ARTURO MORALES COLLANTES

MEXICO, D. F.

ABRIL DE 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias

A ti Papá, porque se que nos diste lo mejor mientras estuviste con nosotros y porque se que estarias muy orgulloso.

A ti Mamá, por todo, por tu ejemplo, por tu dedicación, por tus enseñanzas, por estar aquí en todo momento, porque sin ti no tendríamos nada de esto.

Contenido

Introducción	1
I. Antecedentes	3
A. Orígenes de la iluminación y su importancia	3
B. Iluminación adecuada	6
1. Definición	6
2. Parámetros de calidad	8
a. Parámetros de cantidad, comodidad y satisfacción visual	8
1. Iluminancia	9
2. Luminancia	10
3. Relaciones de uniformidad	12
4. Uso del color	13
a. Temperatura de color	13
b. Índice de rendimiento de color	14
5. Modeling	16
6. Flicker	17
b. Oportunidad	18
3. Ventajas	19
a. Aumento en el bienestar y calidad de vida de los usuarios	19
b. Incremento de la productividad	20
c. Uso racional y eficiente de la energía	21
d. Mejoramiento de la imagen de las instalaciones	21
II. Análisis del sistema actual	22
A. Los laboratorios	23
1. Descripción de las instalaciones	23
2. Actividades realizadas	28
3. Horarios	29
4. Usuarios	29
B. Censo del equipo de iluminación	29
C. Mantenimiento	33
D. Niveles de iluminancia	34
E. Apariencia general de la iluminación	37
F. Encuesta a los usuarios	38

III. Sistemas propuestos y criterios de diseño	43
A. Sistemas propuestos	44
1. Luminario tipo industrial con lámparas fluorescentes compactas	44
2. Luminario tipo industrial con lámpara de aditivos metálicos	45
B. Criterios de diseño	45
1. Técnicos	45
a. Iluminancia	47
b. Luminancia	47
c. Temperatura de color	47
d. Índice de rendimiento de color	48
e. Relaciones de uniformidad	48
f. Flicker	49
g. Mantenimiento	49
2. Estéticos y arquitectónicos	51
3. Económicos	51
IV. Metodología de cálculo de los sistemas propuestos	53
A. Selección del nivel de iluminancia	54
B. Método de cavidad zonal	57
C. Procedimientos de cálculo	61
1. Cálculo de la reflectancia efectiva de la cúpula	61
a. Cálculo de la reflectancia ponderada del domo	61
b. Cálculo de la reflectancia efectiva del domo	62
c. Cálculo de reflectancia ponderada del techo	63
d. Cálculo de la reflectancia efectiva de la cúpula	63
2. Modelo ortogonal equivalente de la cúpula	64
3. Determinación de las cavidades	65
a. Cavidad de techo	65
b. Cavidad de cuarto	66
c. Cavidad de piso	67
4. Cálculo de iluminancia	68
a. Sistema fluorescente	68
b. Sistema de aditivos metálicos	69
V. Especificaciones de los sistemas propuestos	71
A. Sistema fluorescente	72
1. Características técnicas	73

a.	Luminarios	73
b.	Balastos	73
c.	Lámparas	73
2.	Copias de catálogos	73
3.	Mantenimiento	87
4.	Planos de la disposición de los luminarios	87
B.	Sistema de aditivos metálicos	90
1.	Características técnicas	90
a.	Luminarios	90
b.	Balastos	90
c.	Lámparas	91
2.	Copias de catálogos	91
3.	Mantenimiento	102
4.	Planos de la disposición de los luminarios	102
C.	Pintado y mantenimiento de los laboratorios	104
VI.	Análisis de las propuestas	105
A.	Análisis técnico	106
1.	Nivel de iluminancia, temperatura e índice de rendimiento de color	106
2.	Relaciones de uniformidad	107
3.	Flicker	108
4.	Sistema eléctrico	108
5.	Instalación y mantenimiento	108
6.	Depreciación de los sistemas	109
7.	Características de encendido y variación de intensidad luminosa	110
B.	Análisis económico	110
1.	Mantenimiento	110
2.	Inversión inicial	111
Conclusiones		115
Bibliografía		117

Introducción

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivos principales, el analizar la situación actual del sistema de iluminación de los laboratorios que se encuentran en el Edificio Principal de la Facultad, el proponer sistemas que satisfagan cualquier deficiencia actual y el sentar las bases para que en el futuro se le de la importancia debida a los sistemas de iluminación que se requieran en la Facultad.

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de mejorar la iluminación de los laboratorios de Eléctrica, Térmica y Fluidos, Hidráulica y Estructuras, ya que de acuerdo con la encuesta realizada a los estudiantes de los laboratorios, la mayoría de ellos considera necesario el cambio de iluminación. Las principales razones que dan para ello son el bajo nivel de iluminancia, las zonas muy oscuras o muy brillantes y el mal mantenimiento.

El trabajo se estructuró de acuerdo con los objetivos y las necesidades mencionadas, de forma que en él se pueden encontrar los antecedentes necesarios para la comprensión del análisis del sistema actual y los criterios seguidos para los diseños que se proponen, así como una comparación tanto técnica como económica de los tres sistemas (el actual y los dos propuestos). También se incluye la metodología de cálculo de los diseños y la especificación técnica completa para cada uno de ellos.

La metodología seguida para los nuevos diseños está basada en las recomendaciones que para situaciones similares hace la Illuminating Engineering Society of North America. También se consultaron otras fuentes para completar los criterios de diseño, por lo que es posible que haya quien no esté de acuerdo con algunos de los parámetros definidos. Aun así, en mayor o menor medida, ambos sistemas propuestos cumplen con los objetivos y proporcionarán un ambiente de trabajo más agradable, libre de distracciones y propicio para el estudio.

I. Antecedentes

I. Antecedentes

En este capítulo se exponen los orígenes de la iluminación, su historia y la importancia de su presencia en la vida del hombre, así como los parámetros que definen a la iluminación correcta o adecuada.

A. Orígenes de la iluminación y su importancia

Estudiar la historia de la iluminación es una tarea muy interesante. La iluminación como tal, se remonta a los orígenes mismos de la humanidad, cuando el hombre primitivo pudo controlar el fuego, su única fuente de luz por milenios.

Aunque es difícil precisar, podemos decir que el dominio de la iluminación artificial abarca cuatro grandes etapas de desarrollo¹. Durante la primera, y la de mayor duración, todos los esfuerzos se encaminaban a mantener las llamas encendidas sin necesidad de atenderlas por períodos cada vez mayores. Es en esta etapa, todavía durante la Era de Piedra, que aparecen las primeras lámparas de alfarería que funcionaban con aceite y una sencilla mecha. A estos primeros intentos sigue el uso de las velas, presumiblemente en el tiempo de los romanos. Una ventaja adicional de estas lámparas y velas era la facilidad para transportar la luz a los lugares deseados.

La segunda etapa comenzó hace dos siglos, cuando se buscó la forma de obtener una mayor emisión lumínica de las llamas. En esta época, el físico Amié Argand desarrolló el mechero tubular que lleva su nombre (comúnmente conocido como quinqué) y que es considerado como el inicio de la era de la tecnificación del alumbrado.

La tercera etapa del desarrollo de la iluminación se inició hace cien años con la aparición de dos grandes inventos de la época: el capuchón incandescente para lámparas de gas y la lámpara incandescente eléctrica. Como podrá suponerse, esta etapa se caracterizó por la sustitución del fuego, como fuente de luz, por un cuerpo sólido incandescente. Esta premisa debe su importancia al costo de los combustibles, que todavía era muy alto como para que fuera rentable el continuar con las actividades productivas una vez que el sol se había ocultado. Dichas actividades estaban en constante aumento gracias a la Revolución Industrial y demandaban una mejor iluminación, por lo que se buscaron fuentes de luz alternativas y económicas. Sin embargo, la sustitución del fuego por cuerpos incandescentes no fue el único

progreso que tuvo la iluminación entre la segunda y tercera etapas: el auge de la industria petrolera de Estados Unidos, en el cual tuvo mucho que ver John D. Rockefeller, impulsó enormemente el desarrollo de la iluminación. Los logros financieros de la compañía de Rockefeller, la Standard Oil, permitieron que el queroseno estuviera por primera vez a disposición de toda la población y a precios muy reducidos. Este derivado del petróleo resultó ser un excelente combustible para los quinqués o lámparas de aceite. Gracias a esto, el hombre pudo contar con una fuente de luz barata y ya no tuvo que limitar sus actividades nocturnas a aquellas de carácter sencillo y generalmente dentro de su casa; a partir de este momento, las costumbres familiares, sociales y laborales comenzaron a cambiar y la falta de luz natural ya no fue un obstáculo para realizar cualquier actividad.

Por último, tenemos que el desarrollo de lámparas que redujeron considerablemente el desperdicio de energía en forma de calor marcó el inicio de la cuarta etapa. Esto ocurrió aproximadamente en la segunda década de este siglo y continúa cada vez con mayor ahínco hasta nuestro días.

En la actualidad, es común encontrarse con versiones mejoradas de lámparas de todo tipo. Las lámparas fluorescentes, por ejemplo, alcanzan eficacias tan altas como 104 lm/W con un índice de rendimiento de color mayor a 85 y una depreciación de su salida de luz del 97%². Las lámparas de inducción, que operan bajo el mismo principio que las fluorescentes pero sin electrodos, funcionan con eficacias tan altas como estas últimas y son una excelente opción para lugares donde el mantenimiento es un problema, ya que su vida es de 60,000 horas. El eterno conflicto entre calidad y cantidad está cediendo terreno cada día que las lámparas de alta intensidad de descarga mejoran su índice de rendimiento de color y mantienen su alta emisión lumínica. Más sorprendente aún, es el desarrollo de las nuevas lámparas de azufre que producen entre 125 y 150 lm/W y mantienen constante su emisión lumínica a lo largo de su vida. Aún las lámparas incandescentes modernas pueden presumir de haber aumentado su eficacia considerablemente y, a pesar de todos los esfuerzos por sustituirlas por lámparas más eficientes, siguen tan vigentes como hace cien años.

La constante investigación en las fuentes productoras de luz ha traído consigo no sólo lámparas de alto rendimiento, sino aplicaciones de éstas en campos tan diversos como la medicina, la agricultura, el arte, la seguridad y las telecomunicaciones. Hoy conocemos la fototerapia que ayuda a combatir a las depresiones y desórdenes afectivos, el láser y sus múltiples aplicaciones, lámparas que ayudan a las plantas a crecer, en cualquier estación o lugar, aún en sótanos a más de 50 metros de la superficie. Hoy es común encontrar esculturas, fuentes y pinturas que complementan su belleza con luz; parques, calles y jardines cuentan

ahora con iluminación que realza sus características y evita el vandalismo y accidentes. La televisión y la fibra óptica provienen del estudio de un fenómeno físico común, la luz. Pero el desarrollo de la iluminación no sólo incluye a las fuentes de luz y sus accesorios, también involucra otras áreas del conocimiento humano, como son la física, óptica, psicología, medicina y, prácticamente, cualquier ciencia. La iluminación es tan noble que tiene cabida para cualquier profesión, ya sea uno matemático, ingeniero en electrónica, arquitecto, pintor o fotógrafo. Es muy difícil mencionar una profesión que no haya contribuido al desarrollo de la iluminación o alguna que no haya sido favorecida por ésta.

Como podrá suponerse, el alumbrado artificial ha cobrado cada vez más importancia a lo largo de la historia de la humanidad, desde aumentar el número y campos de aplicación de sus actividades hasta proporcionar un medio más para sanar sus afecciones. No podemos sino reconocer que la iluminación ha ido de la mano del hombre a lo largo de su historia y que sin ella ésta sería distinta, y seguramente, más limitada.

B. Iluminación adecuada

1. Definición

Todo aquel diseño de iluminación que anteponga los criterios energéticos o económicos a los de calidad y comodidad visual es tan malo como aquel que trata de crear el ambiente más bello sin considerar el uso racional de la energía que consume.

Cuando se trata de modernizar un sistema de iluminación, es un error común el simplemente cambiar las lámparas y balastos por otros más eficientes sólo para obtener una obvia reducción de la carga instalada o la energía consumida. Generalmente, los aspectos técnicos relativos a la calidad de la iluminación y los criterios arquitectónicos y decorativos son ignorados. En nuestro país, no existen ni la cultura de la calidad ni la cultura del mantenimiento y la mayoría de las personas piensa que contratar a un especialista es más gasto que una inversión. Por otro lado, abundan los diseños que utilizan demasiada energía o su costo de mantenimiento es exagerado porque no se realizó un estudio económico detallado; la calidad de su iluminación podrá ser muy buena y tal vez la comodidad que ofrecen es la adecuada, pero se dejaron de lado los aspectos económicos, energéticos y de mantenimiento.

Existen, además, numerosos ejemplos de instalaciones que cuentan con una iluminación pobre en todos los sentidos; no proporcionan el nivel adecuado a las actividades realizadas ahí, nadie se ha preocupado por la comodidad visual, el poco mantenimiento que realiza es correctivo y los altos costos de operación del sistema son alarmantes.

Aunque los buenos ejemplos son pocos, es cierto que puede alcanzarse el equilibrio entre estas dos grandes características de la iluminación, la funcionalidad y la decoración. El lograrlo depende de muchos factores, dentro de los cuales podemos mencionar a los siguientes: la experiencia del diseñador, las características del espacio y su uso final, las necesidades y posibilidades del usuario y la viabilidad del diseño.

De forma general, podemos concluir que se tiene una iluminación adecuada cuando el sistema se obtuvo de un análisis exhaustivo de todos los factores que influyen en él: función del espacio, sus dimensiones y detalles, tipo de muebles y su disposición, criterios técnicos, estéticos, decorativos y arquitectónicos, tarea visual, edad promedio de los usuarios, reflectancias de las superficies, posibilidades económicas y mantenimiento del sistema, entre otros. Dicho análisis debe realizarse de forma particular y no pretender generalizar soluciones.

Si logramos equilibrar la iluminación funcional y la artística o decorativa obtendremos un parámetro más de calidad de vida, bienestar y seguridad: una correcta iluminación del espacio. Para esto, debe tenerse en cuenta que el diseño de un sistema de iluminación es un proceso de toma de decisiones basado en la mayor cantidad de información posible, y que en él, se confrontan factores determinados que deben ordenarse por prioridades.

Este proceso suele dividirse en tres fases: en la primera, se realiza un estudio de las necesidades del usuario y todo aquel requerimiento que deba satisfacer el diseño. Es durante esta etapa que debe recabarse la mayor cantidad posible de información, ya que de no hacerlo, se obtendrá un diseño pobre y difícil de mejorar en etapas posteriores. La segunda etapa consiste en la obtención de aquellos sistemas que se consideren satisfactorios para el usuario; a estos sistemas podemos llamarlos opciones, propuestas o posibles soluciones. La última etapa del proceso se caracteriza por la toma de decisiones en sí, evaluando cada una de las propiedades de los sistemas propuestos.

Por otra parte, la iluminación es más un arte que una ciencia, por lo que no existen reglas definitivas e inflexibles que determinen el proceso y características de un diseño. Cada espacio es tanto una oportunidad como un reto para desarrollar una solución, la cual no

deberá ser considerada como única. Los cálculos y mediciones necesarios para este fin, son sólo apoyos que ayuda a evaluar, y que no determinan, el desempeño de nuestra solución.

2. Parámetros de calidad

El concepto de calidad de la iluminación engloba parámetros de cantidad, comodidad, satisfacción visual y oportunidad. En un pasado no muy lejano, los diseños de iluminación se enfocaban principalmente a proporcionar la cantidad de luz necesaria para la realización de la tarea visual y se creía que su calidad la determinaba el deslumbramiento (directo o reflejado) que se producía. Hoy, debemos reconocer que la iluminación es formas, texturas, colores, ambientes, comodidad, sensaciones, expresiones, arte, calidad y no sólo números que indiquen que tanta o qué tan poca luz tenemos en un área determinada. Muchas veces lo más importante es el color, el ambiente o las sensaciones de seguridad y bienestar que inspiran las instalaciones; el color o apariencia de las lámparas y su ubicación favorecen más la visibilidad que la cantidad de luz por sí misma.

a. Parámetros de cantidad, comodidad y satisfacción visual

Después de largos y complicados estudios en diferentes ramas del conocimiento, entre las que se encuentran la psicología, medicina, óptica y física, se considera que son siete los principales parámetros cuantificables que abarcan los conceptos de cantidad y comodidad de la iluminación. Estos parámetros son los siguientes³⁻⁴:

1. Iluminancia
2. Luminancia
3. Relaciones de uniformidad
4. Uso del color
 - a. Temperatura de color
 - b. Índice de rendimiento de color
5. *Modeling*^a
6. *Flicker*^a

Dichos parámetros se explicarán a continuación y se mencionará su importancia dentro del diseño de iluminación, así como algunas recomendaciones generales.

1. Iluminancia

La iluminancia representa la cantidad de luz que tenemos en un espacio dado. Su unidad en el SI es el lux ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$). Como podemos ver de la definición de lux, la iluminancia es una densidad de flujo luminoso, luz que incide en un área.

Existen organismos internacionales como la Illuminating Engineering Society of North America o la Commission Internationale de l'Éclairage que publican recomendaciones en cuanto a los valores de iluminancia para tareas visuales específicas. Cabe mencionar que a pesar de que estos valores están sustentados por numerosos estudios, sólo son recomendaciones y queda a criterio del diseñador el ajustarse o no a ellos; la práctica común es aceptarlos como estándares y considerarlos como objetivos cuando se realiza un diseño.

Los estudios mencionados muestran una tendencia de mayor satisfacción y desempeño visual a niveles mayores, satisfacción que disminuye en los niveles más altos. Este nivel de satisfacción u óptimo, depende de la tarea visual realizada, su tamaño aparente y la edad del observador. Mientras mayor sea la persona, generalmente después de los 40 años, mayor será la cantidad de luz que necesite para ver. Mientras más específica sea la tarea realizada, mayor será el nivel requerido.

Otro factor que influye en la preferencia por un nivel de iluminancia u otro, es la distribución de la luz a lo largo del espacio iluminado. Existen dos grandes tipos de distribución para espacios interiores²:

a. Sistemas que proporcionan una distribución general, que abarca todo el espacio con una uniformidad relativamente alta. Generalmente, esto se logra con luminarios colocados de tal forma que envían la luz predominantemente de arriba hacia abajo. Desde el aspecto psicológico, estos sistemas son neutrales en cuanto a su influencia sobre la conducta de los usuarios se refiere, ya que no refuerzan algún punto del lugar o crean una impresión específica. Este tipo de distribución permite una fácil percepción de las tareas visuales, circulación aleatoria de las personas por el lugar, flexibilidad para cambiar la disposición del mobiliario y centros de trabajo sin alterar la iluminación y crean la sensación de un lugar público, más que privado.

Estos sistemas, a pesar de que ofrecen grandes ventajas, pueden crear un ambiente monótono que no favorezca la realización de ciertas tareas. Esta monotonía puede romperse

con el empleo de otros elementos, como el color de las superficies o diferentes luminancias en las paredes.

b. Sistemas que desarrollan patrones específicos de distribución de luz y sombras para reforzar características seleccionadas de un cuarto. Este tipo de iluminación juega un papel activo en la influencia de actitudes o estados de ánimo en el usuario, como relajación o privacidad. La influencia en la conducta que tiene este tipo de distribución es tan grande, que puede guiar a una persona por un camino determinado, sin que ésta reflexione acerca de ello. Para este tipo de diseños se requiere de criterios mucho más específicos, conocimiento de las características reales del lugar y una mayor sensibilidad a las actividades desarrolladas ahí. Cabe mencionar que la flexibilidad del sistema para cambios es mínima.

2. Luminancia

La luminancia es el magnitud física que percibe el ojo. Se conoce coloquialmente como brillantez. Se define como la intensidad luminosa de la fuente o superficie dividida entre su área aparente; en el sistema internacional, su unidad es el nit ($1 \text{ nit} = 1 \text{ candela/m}^2$).

Cuando la luz incide en un cuerpo, éste sólo puede afectarla de tres formas: reflejarla, absorberla o transmitirla. En un sentido estricto, todo cuerpo ejerce las tres acciones en presencia de luz, pero generalmente predomina la reflexión. Cuando la luz incide en el cuerpo u objeto, ésta se refleja en gran medida y es cuando lo podemos ver. El ojo humano ve los objetos y los distingue entre sí gracias a la diferencia de luminancias (para un nivel dado de iluminación, la diferencia de luminancias se debe a la diferencia de reflectancias de los objetos); diferencia denominada contraste. Mientras mayor sea la diferencia de luminancias, mayor contraste, más claramente veremos los objetos.

Es de este concepto donde nace la importancia de manejar correctamente las luminancias en los espacios iluminados. Aunque el nivel de iluminación en un espacio interior sea correcto, la distribución de luminancias puede no ser adecuada. El balance correcto de esta distribución depende en gran medida de la iluminación y las reflectancias de las superficies del espacio iluminado. Cuando el lugar iluminado carece de reflectancias adecuadas, la iluminación puede tratar de mejorar la situación, pero aún con el mayor esfuerzo, el resultado nunca será completamente satisfactorio.

Es por esto que la distribución de luminancias en un espacio es de gran importancia. La distribución debe hacerse considerando tres aspectos principales: luminancias en el área o

plano de trabajo, rangos de luminancias a lo largo de las superficies del cuarto y el evitar el deslumbramiento por luminarios y ventanas.

Respecto a la distribución de luminancias en el área de trabajo, podemos decir que la preferencia general es que la luminancia del fondo (superficie de un escritorio, por ejemplo) sea menor que la de la tarea en sí (v. gr.:hoja de papel). Es importante que también exista una adecuada selección de colores para ambas superficies y que el contraste entre ellos sea el apropiado. Este hecho mejorará significativamente el desempeño visual, especialmente cuando el contraste por luminancias es bajo.

Algunos estudios indican que la luminancia preferida de las paredes depende del nivel de iluminación. En lugares donde se tienen 500 a 1000 lx, la luminancia de las paredes debe estar entre 50 y 100 cd/m² (las reflectancias típicas que permiten estos valores van de 0.5 a 0.8). Por otra parte, la luminancia del techo debe ser lo suficientemente alta para crear una impresión general agradable y disminuir el contraste ente éste y los luminarios. Los valores recomendados para el techo son de 100 a 300 cd/m², considerando que para un valor máximo de 500 cd/m², se presentarían problemas de deslumbramiento.

Es importante seguir las recomendaciones anteriores, ya que la luminancia de las superficies tiene gran influencia en el ambiente creado. Mientras que unas paredes brillantes crean la impresión de un cuarto mayor, unas oscuras contraerían el espacio. De igual forma, un techo brillante parece más alto que uno oscuro. En general, un techo brillante y unas paredes oscuras crean una atmósfera de tensión y formalidad, mientras que el caso contrario da la impresión de relajamiento e informalidad.

Por último, y como un aspecto muy importante del manejo de la luminancia, tenemos al deslumbramiento. Este se produce cuando el ojo percibe una luminancia mayor a la que está adaptado en ese momento. El deslumbramiento puede reducir la visión, causar incomodidad o ambas. Cualquiera de estas dos formas puede presentarse en forma directa (cuando el luminario queda en línea directa con el campo visual de la persona) o reflejada (por la imagen que se forma en superficies pulidas o brillantes).

En la mayoría de los espacios interiores, predomina el deslumbramiento que Incomoda. Esta sensación de molestia tiende a incrementarse a medida que pasa el tiempo y contribuye enormemente a la tensión y fatiga. Muchos países tienen procesos de diseño para evaluar o limitar el deslumbramiento que producirá el sistema y, de esta forma, controlarlo.

Los métodos que limitan, aseguran en cierta forma que no se excederá un valor máximo de luminancia, pero sin indicar qué tan lejos de ese límite se encuentra. Este tipo de procedimientos se utilizan en Australia, Austria, Francia, Alemania, Israel, Italia, Japón, Países Bajos, Rumania y Suiza. De estos métodos, tal vez el más completo es aquel que presenta la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE Glare Safeguard System⁵).

Por otra parte, en Estados Unidos, Canadá y Gran Bretaña, se acostumbra utilizar un método evaluativo. El método británico se utiliza además en Bélgica, Sudáfrica y los países escandinavos; estos últimos mejoraron los procedimientos de diseño dando lugar al método NB (Nordic Illumination Calculation Method), el cual comprende tanto el cálculo de iluminancia como el de deslumbramiento (como una medida de la uniformidad de la iluminancia). El método utilizado por los norteamericanos se denomina VCP (Visual Comfort Probability) y básicamente indica el porcentaje de personas que consideran al sistema de iluminación como no molesto. Para que una instalación se considere libre de deslumbramiento, su VCP deberá ser mayor o igual a 70%. Para instalaciones especiales, como oficinas con terminales de computadora, el VCP recomendado es 80%.

3. Relaciones de uniformidad

Las relaciones de uniformidad nos indican qué tanta variación de iluminancia tenemos a lo largo de nuestro espacio.

Generalmente se utilizan las relaciones de mínimo a promedio para el plano horizontal y de promedio horizontal a promedio vertical.

Al igual que para los otros parámetros, existen recomendaciones de uniformidad para diferentes tareas o áreas a iluminar. Mientras mayor sea la uniformidad, menor relación mínimo a promedio, mayor será la comodidad que ofrezca el sistema de iluminación. Si las relaciones de uniformidad son muy altas en áreas contiguas, 10:1 por ejemplo, el ojo tendrá que ajustarse primero al nivel más alto, donde se supone que se realiza la tarea, y después al nivel más bajo, ya que constantemente se voltea a las áreas contiguas. Este ajuste, constante e inevitable, provoca primero cansancio de la vista y termina por causar fatiga general y dolor de cabeza en casos extremos.

Para la mayoría de las tareas visuales, se recomienda una uniformidad mayor o igual a 0.8 (4:5) en el área donde éstas se realizan. Para áreas contiguas, como oficinas y pasillos, la uniformidad máxima recomendada es de 0.2 (1:5). Existen áreas donde se recomienda que la

relación entre promedios horizontal y vertical sea de 1:1, por ejemplo en laboratorios o industrias donde existan tableros de control o áreas de inspección en plano vertical. Para las demás áreas, se recomienda que la relación horizontal a vertical sea menor o igual a 3:1.

4. Uso del color

El color ha mostrado ser un factor altamente influenciante en las personas. Los diferentes aspectos desde los cuales se ha estudiado, ofrecen teorías de cómo lo percibimos y del efecto de cada uno de ellos en el estado de ánimo de las personas.

Cuando se trata de iluminación, además de la adecuada selección de los colores de las superficies (bajo criterios estéticos, arquitectónicos y psicológicos), debemos considerar dos aspectos más, característicos de las fuentes luminosas: la temperatura de color y el índice de rendimiento de color.

a. Temperatura de color

La temperatura de color de una fuente luminosa se mide en Kelvin e indica su apariencia cálida o fría. Se obtiene mediante la comparación de las apariencias de un patrón o fuente de referencia (radiador térmico, generalmente un cuerpo negro) y la fuente luminosa bajo estudio o, mediante cálculos cuando no existe un patrón.

Un ejemplo de radiador térmico es la lámpara incandescente, ya que produce luz como resultado del calentamiento del filamento. Cuando el voltaje que se aplica es bajo (corriente baja), la temperatura del filamento es baja y la luz emitida es de color anaranjado-amarillo. A medida que aumenta el voltaje (corriente alta), y por lo tanto la temperatura del filamento, la luz toma un color considerablemente más blanco.

Esta asociación entre la temperatura del radiador y el color de su luz genera el concepto de temperatura de color, la cual indica la temperatura a la que debe calentarse el radiador para que tenga la apariencia de la fuente bajo estudio. A menor temperatura de color de una fuente luminosa, más cálida será su luz (rojo-anaranjado-amarillo) y a medida de que ésta aumenta, su luz se hará cada vez más blanca hasta llegar a un tono azul (luz más fría).

El efecto psicológico que tiene la temperatura de color de la iluminación de un espacio ha estado bajo estudio desde hace más de 60 años. Los primeros estudios realizados por Kruithof⁶ en 1941, muestran que la temperatura de color de la iluminación influye en la

determinación de los niveles de iluminancia preferidos. Estos resultados (figura 1), indicaban que los lugares iluminados con altas temperaturas de color y niveles de iluminancia bajos, aparecían como fríos y tenues y, por el contrario, bajo la iluminación de temperaturas de color bajas y niveles altos, aparecían como artificiales y excesivos en color. A pesar de que estudios realizados en 1963 por Bodmann, Sollner & Voit arrojaron los mismos resultados, investigaciones más recientes⁷ no reportan conclusiones similares, por lo que las recomendaciones deben tomarse como tentativas.

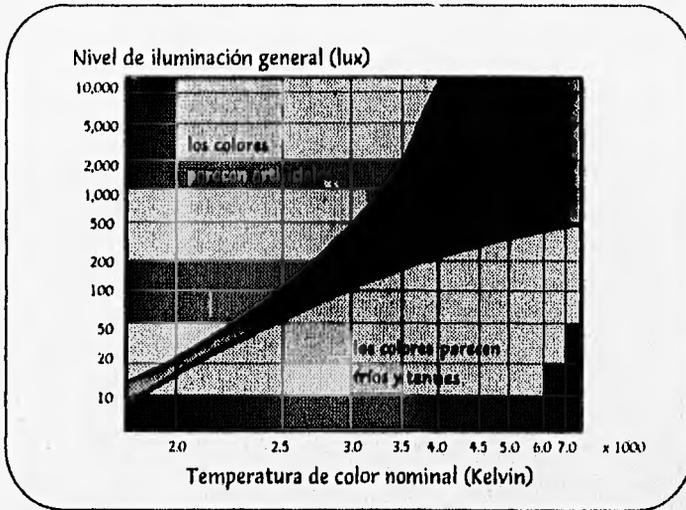


Figura 1⁸. Temperaturas de color preferidas para diferentes niveles de iluminancia (sombreado oscuro).

b. Índice de rendimiento de color

El índice de rendimiento de color (CRI, por sus siglas en inglés: color rendering index) es un parámetro de calidad de la iluminación sumamente importante. Básicamente nos indica, con un número de 0 a 100, que tan naturales aparecen los colores bajo la luz que los vemos. Cada una de las fuentes luminosas que conocemos reproduce los colores de diferente forma, esto quiere decir que los objetos no lucen iguales bajo diferentes clases de luz.

Para determinar el CRI de una lámpara se comparan 8 muestras de color bajo dos fuentes de luz, el patrón o referencia y la lámpara bajo estudio. Es importante señalar que las dos fuentes deben ser de la misma temperatura de color, o lo más cercanas posible. A la fuente patrón se le asigna un valor de 100 para cada muestra, cuyo color se compara con la fuente

bajo estudio. La distorsión que ocurra en la apariencia de las muestras se califica con valores de 0 a 100 y posteriormente se hace un promedio de los ocho valores.

Este método tiene desventajas importantes: solo indica un promedio y no representa las variaciones de color que existen en la práctica; la prueba se realiza con un número limitado de colores (8 para la prueba normal y 14 para colores especiales, como piel humana, flora, etc.) y, como la comparación se realiza con base en sustracciones del valor máximo, el CRI de una lámpara no indica ni cualitativa ni cuantitativamente los colores que reproduce correctamente o enfatiza. Debido a estas desventajas, lámparas de igual CRI no pueden ser intercambiadas sin antes consultar datos más específicos, como su distribución espectral, ya que seguramente los objetos no aparecerán de igual forma bajo las dos fuentes. Sólo cuando el CRI del que se trata es muy alto, 95 o más, se puede considerar que ambas lámparas reproducen todos los colores correctamente y que la apariencia general del espacio iluminado será natural.

Actualmente existe otro método⁹ para la determinación del CRI que involucra 215 puntos de prueba. Estas muestra fueron seleccionadas de situaciones prácticas, colores de la naturaleza, pinturas y tintes utilizados en diferentes tipos de industrias, entre otros. Este método se denomina CRV, por sus siglas en inglés (color rendering vectors) y soluciona los problemas que se tenían con el método del CRI. El CRV indica, por medio de vectores en un espacio de color, la dirección y magnitud de la variación de cada uno de los puntos de prueba y no el promedio, por lo que puede saberse para cada lámpara qué colores desvirtúa, cuales enfatiza y la magnitud de ambos casos.

La importancia del índice de rendimiento de color (denominando así en forma general a la propiedad de reproducción de colores de las lámparas) de las fuentes luminosas va más allá de simplemente indicarnos esta propiedad. Existen estudios formales¹⁰ que demuestran que se requiere de un nivel de iluminancia menor con lámparas de alto CRI para crear ambientes equivalentes en aspecto de brillantez, claridad y satisfacción visual que con lámparas de bajo CRI. Por ejemplo, se sabe que se requiere un nivel de iluminancia 25% menor con lámparas de 85CRI que con lámparas de 60CRI.

Este fenómeno de apreciación del ojo humano, nos permite aprovechar enteramente la gama de opciones de lámparas para crear el ambiente deseado y satisfacer cada uno de los requerimientos visuales del observador. Es importante tener en mente que las personas esperan ver a los objetos de forma natural (tal y como están acostumbrados a hacerlo o, en otras palabras, tal y como aparecen bajo la luz del sol) y que cualquier variación provocada por la iluminación artificial será interpretada inconscientemente por el cerebro como una

situación anormal o errónea y que a la larga, producirá una sensación de disgusto e incomodidad.

5. Modeling

El *modeling*, es la habilidad del sistema de iluminación para revelar la textura y la tridimensionalidad de los objetos por medio de la creación de juegos de luces y sombras.

La apariencia general de un espacio se ve mejorada cuando los objetos que ahí se encuentran pueden ser vistos claramente. Una iluminación predominantemente direccional puede crear sombras severas, tanto en el plano vertical como en el horizontal. Por otro lado, la iluminación de tipo indirecto o completamente difusa, causa la impresión de objetos planos. Se recomienda que no se utilice ninguno de estos extremos; una combinación equilibrada puede crear un ambiente completamente satisfactorio.

Aunque no es común que se evalúe esta cualidad, existen diversas recomendaciones³ para obtener sistemas aceptables. Algunas de esas formas de evaluación son las siguientes^{4b}:

a. Relaciones de Iluminancia

Existen cuatro relaciones de iluminancias que nos permiten saber si el efecto creado por la iluminación está dentro de las recomendaciones:

- Relación vertical/horizontal
- Relación vectorial/esférica
- Relación cilíndrica/horizontal
- Relación vertical/semicilíndrica

b. Iluminancia Semicilíndrica

Existe un tipo de medición de iluminancia denominado *semicilíndrica*. El método de medición fue diseñado para evaluar la habilidad del sistema de iluminación para reproducir las facciones humanas en oficinas.

Los estudios de preferencias realizados muestran que ésta, debe ser por lo menos de 300 lx.

6. Flicker

La salida de luz de cualquiera lámpara eléctrica es función de la corriente alterna a la que opera y, para fines prácticos, se dice que sigue su forma de onda. Como resultado de lo anterior, la salida de luz varía en magnitud alternadamente, desde un valor mínimo hasta uno máximo. A este fenómeno se le denomina *flicker*.

En la mayoría de los casos, el *flicker* no es visible por dos razones principales: la inercia (térmica para las lámparas incandescentes y la de los fósforos para lámparas de descarga en gas) y la rapidez con que éste ocurre (en un sistema eléctrico a 60 Hz el *flicker* se producirá a 120 Hz). Sin embargo, el *flicker* puede ser apreciado en sistemas fluorescentes o de alta intensidad de descarga (principalmente mercurio y sodio en alta presión) con la parte exterior del ojo. Aún cuando el *flicker* no se perciba directamente, los cambios constantes en la salida de luz, provocan enrojecimiento de los ojos, irritabilidad y dolores de cabeza.

El *flicker* es el causante del efecto estroboscópico. Este efecto aparece cuando realizamos movimientos muy rápidos o cuando en el lugar existen máquinas rotatorias, las cuales parecerán tener movimientos discretos o de velocidad menor a la real. El efecto estroboscópico causado por lámparas de alta intensidad de descarga debe considerarse al momento de diseñar una instalación, ya que puede ser un factor de distracción y molestia en Industrias con máquinas rotatorias.

Para evaluarlo, se estableció el índice de *flicker* como una medida confiable de la variación de la salida de luz de diferentes fuentes luminosas para una determinada frecuencia de operación. Este índice toma valores de 0 a 1.0, asumiendo que el valor de 0 representa una salida de luz constante; mientras mayor sea el índice, mayor será el *flicker* y el efecto estroboscópico causado.

Se recomienda que el índice de *flicker* sea menor a 0.100 para minimizar el efecto estroboscópico. Un valor promedio¹¹⁻¹² para lámparas fluorescentes es 0.037 (40W, blanco frío, balastro serie), mientras que para una lámpara de mercurio (400W, blanco de lujo, balastro CWA) es de 0.144; una lámpara normal de sodio en alta presión (250W, balastos reactor y CWA) tiene un índice de 0.200, y una de aditivos metálicos de 400W, clara, en posición vertical, operada con un balastro CWA alcanza el valor de 0.086.

El *flicker* puede ser eliminado con el uso de balastos electrónicos que operen las lámparas a altas frecuencias o con corrientes de onda cuadrada.

Como último comentario, cabe señalar que no suele mencionarse un valor de índice de *flicker* cuando se diseña un sistema de iluminación; únicamente se acostumbra indicar como una ventaja más de los balastos electrónicos para lámparas fluorescentes (se estima que este tipo de balastos disminuye el *flicker* de las lámparas del 33% al 2%).

b. Oportunidad

Respecto a la oportunidad de la iluminación, podemos decir que el sistema diseñado debe ser capaz de proporcionar el servicio en cada uno de los momentos en que se requiera, sin limitante alguna en su cantidad y comodidad; en otras palabras, que el servicio sea oportuno. Aunque lo anterior parezca obvio, existen instalaciones en las que la iluminación solo funciona bien bajo determinadas circunstancias o son inflexibles ante cambios ligeros de horario o ubicación de las tareas visuales.

Para que la iluminación esté siempre disponible, tienen que preverse muchos factores que la influyen: días nublados, horarios de operación, seccionamiento adecuado de circuitos y facilidad para encender las áreas de interés, mantenimiento, entre otros.

De los anteriores, tal vez el factor más importante sea el mantenimiento. A medida de que pasa el tiempo, los componentes del sistema de iluminación se deprecian, ya sea por envejecimiento o por suciedad. Esta es la principal razón de que se sobredimensione la instalación. El diseñador debe considerar todos los factores de depreciación que sufre el sistema, los recuperables y los no recuperables. De no hacerlo, la iluminación puede disminuir en promedio 50% (aproximadamente) en un período de 24 meses.

Es muy importante que el mantenimiento se programe convenientemente y que no sólo sea correctivo (cambio de lámparas o balastos fundidos). Parece lógico el que se cambie una lámpara en el momento en que se funde, sin embargo, el costo que esto tiene puede ser mayor que el costo mismo de la lámpara. Si para este propósito es necesario detener las actividades, el costo tiende a ser superior al de la lámpara y la mano de obra en sí. Por otra parte, el mantenimiento preventivo parecería muy caro, y en cierta forma tonto, al cambiar lámparas que todavía funcionan, pero el cambio de todas las lámparas a la vez permite obtener costos menores del material y mano de obra, la oportunidad para limpiar los luminarios y un menor tiempo de paro de labores. El intervalo de tiempo para ejecutar el mantenimiento depende del tiempo de uso de la instalación, la curva de mortalidad de las lámparas y la diferencia en costos de mano de obra por mantenimiento correctivo y preventivo. Generalmente, el tiempo que

transcurre para que se limpien los luminarios y se cambien todas las lámparas es de 24 a 36 meses (60 a 80% de la vida nominal de las lámparas) en instalaciones típicas.

Un mantenimiento programado no sólo reduce los costos de materiales y mano de obra, sino que mantiene los niveles de iluminación en su mejor valor.

3. Ventajas

Una iluminación adecuada ofrece ventajas para todos, desde el usuario hasta el dueño de las instalaciones, pasando por el personal de mantenimiento, el de compras y, porqué no, los vecinos.

Estudios recientes proveen suficientes evidencias del impacto que tiene la iluminación en las actividades que realizan las personas, la influencia en su atención y cansancio mental y los profundos efectos fisiológicos y psicológicos que causa en los seres vivos.

Entre otras, podemos mencionar a las siguientes como las principales ventajas de una iluminación bien lograda.

a. Aumento en el bienestar y calidad de vida de los usuarios

Cuando las decisiones pertinentes al sistema de iluminación se toman con base en su precio, su consumo energético o costos de mantenimiento, importantes factores humanos pueden pasarse por alto, con las consecuencias que esto conlleva. El considerar esos factores humanos puede, y generalmente lo hace, significar ventajas más importantes que un simple ahorro en la inversión inicial de una instalación.

Cuando el diseño de la iluminación es correcto, ésta puede aumentar la productividad de las personas haciendo su trabajo más fácil y reduciendo los errores; puede crear un ambiente libre de distracciones que fomente el trabajo y la concentración, puede guiar a los clientes de tiendas, supermercados y joyerías, y aún más, fomentar o inducir a comprar. Una iluminación bien diseñada ayuda a crecer a las plantas en invernaderos y a animales en la industria de la biotecnología y las granjas avícolas y porcinas. La iluminación especializada de teatros, galerías y exhibiciones fomenta la asistencia a estos espectáculos, con todos los beneficios que esto acarrea. El alumbrado público evita accidentes automovilísticos y disminuye

la tasa de criminalidad y vandalismo casi como por arte de magia. Los cafés, bares y restaurantes proporcionan un servicio muy importante a sus clientes: un espacio donde compartir momentos de diversión y alimentación; espacios donde la iluminación juega un papel más que importante, ya que ésta, junto con otros factores, crea el ambiente deseado. La iluminación hace de una iglesia el espacio idóneo para la reflexión y da parte de la calidez que hace de una casa un hogar.

Los casos anteriores son sólo unos cuantos ejemplos del aumento en la calidad de vida que experimentan los usuarios de una iluminación bien llevada a cabo. La iluminación es el factor de influencia más importante en nuestro medio ambiente y, a la vez, el de menor costo. Es tan natural y básica, que difícilmente nos detenemos a pensar que existe, simplemente damos por hecho que está ahí.

b. Incremento de la productividad

Como ya se mencionó, la iluminación juega un papel muy importante en la creación de un ambiente que hace sentir bien a las personas, que aumenta su calidad de vida. Tal vez sea este tipo de ambiente el principal ingrediente de unas instalaciones dedicadas a la producción, ya sea de bienes o servicios. Todos los estudios realizados hasta la fecha, coinciden en señalar que la gente produce más cuando se siente a gusto.

La iluminación proporciona muchos de los elementos necesarios para crear un ambiente libre de distracciones, con una influencia positiva en el estado de ánimo de las personas y que da la sensación de seguridad e higiene

Grandes cantidades de dinero podrían evitarse al mejorar la iluminación de cualquier instalación. La falta de una correcta iluminación hace que las tareas tomen más tiempo del necesario para realizarse, que en éstas se cometan más errores de los que se deberían y que en las inspecciones finales se acepten piezas defectuosas o se rechacen las correctas.

Como uno entre tantos ejemplos¹³, tenemos el caso de la empresa Bridgeport Fittings (Bridgeport, Conn, EE.UU.). El cambio de lámparas de mercurio por lámparas de sodio alta presión produjo una reducción de USD\$9,000 por año, los rechazos disminuyeron en un 40% y la productividad aumentó 7%. Aunque la compañía no ha revelado el monto total de los beneficios económicos, se suponen tan altos como los de otra compañía en el estado de California, EE.UU.. En este último caso, el sistema de iluminación costó USD\$60,000, pero la productividad aumentó 10% (equivalente a USD\$170,000), los gastos por accidentes se

redujeron en USD\$13,000 y los costos por indemnizaciones, seguros y rechazos de piezas disminuyeron considerablemente. Los beneficios económicos totales fueron de USD\$300,000 por año, sin contar el ahorro de USD\$80,000 por año en gastos de operación y mantenimiento.

Como podemos ver, los ahorros y beneficios obtenidos en los ejemplos anteriores, y en muchos más, superan por mucho los gastos iniciales o de remodelación de un sistema de iluminación bien diseñado.

c. Uso racional y eficiente de la energía

Un sistema de iluminación bien diseñado es por sí mismo eficiente en el uso de energía, por lo que no tenemos que preocuparnos por el ahorro. La calidad es ahorro, buen uso. Si el sistema satisface todos los requerimientos no habrá necesidad, ni oportunidad, de obtener algún ahorro económico o energético.

Las crisis energética y de contingencia ambiental que vive el mundo nos obligan a hacer un uso racional de la energía. Las avanzadas tecnologías en materia de alumbrado, proporcionan elementos de alta eficiencia y bajo contenido de materiales contaminantes que permiten iluminar cualquier aplicación o espacio haciendo un uso correcto de la energía.

d. Mejoramiento de la imagen de las instalaciones

El ambiente creado, las facilidades visuales que ofrecen, el uso eficiente de la energía, la alta productividad y el aspecto estético son características comunes de instalaciones que gozan de una preciada imagen pública.

La imagen de una empresa altamente productiva, limpia y segura no puede sino incrementar la confianza de sus clientes y trabajadores. Este tipo de instalaciones son dignas de admirarse y presumirse y, por lo tanto, aumenta su valor económico.

Notas

- a. No existe un vocablo castellano equivalente
- b. El objetivo de este trabajo no permite desarrollar en mayor medida la explicación de cada uno de los conceptos anteriores, así como los valores recomendados internacionalmente para tal efecto

II. Análisis del sistema actual

II. Análisis del sistema actual

El presente capítulo describe de forma general las instalaciones estudiadas, las personas que las ocupan, las actividades que ahí se desarrollan y el horario en que esto ocurre. También se hace un recuento de las características técnicas del sistema de iluminación actual y los parámetros que en él influyen, todo esto con miras a desarrollar los criterios bajo los cuales se diseñará el nuevo sistema.

Muchas de las descripciones se completarán en el apartado de Criterios de diseño, donde se hablará de datos o valores específicos y cómo se comparan con las recomendaciones pertinentes.

A. Los laboratorios

Los laboratorios analizados, se localizan en la planta baja del edificio Principal de la Facultad de Ingeniería. La figura 2 muestra un croquis de localización.

El total del área bajo estudio se encuentra dividida en cuatro grandes laboratorios, a saber: Laboratorio de Eléctrica, Laboratorio de Térmica y Fluidos, Laboratorio de Hidráulica y Laboratorio de Estructuras.

Para fines de este trabajo, se analizaron los cuatro laboratorios, enfocándose principalmente a la problemática del Laboratorio de Eléctrica. Podemos decir, que aunque los cuatro son diferentes en cuanto a la distribución de su equipo, horarios y otros factores que se señalarán adelante, predominan características comunes que permiten tomar uno de ellos como modelo y ajustar el diseño a los tres restantes. A lo largo del presente trabajo se darán las justificaciones necesarias para hacerlo de esta forma.

1. Descripción de las instalaciones

El área general de los laboratorios comprende un espacio de 24.50 m de ancho por 74.10 m de largo. El perímetro de esta área lo compone una barda de ladrillo de color rojo obscuro (0.18 de reflectancia) y 2.15 metros de alto (figuras 3 y 4). Como techo, se tienen dos

filas de siete cúpulas cada una (figura 2). Como podemos ver en la figura 5, cada cúpula está compuesta por un domo esférico y paredes trapezoidales, sostenida por cuatro columnas. Aunque en la figura no se muestran, cada domo tiene 546 tragaluzes circulares, de 10 cm de diámetro y 8% de reflectancia. La altura de la parte baja de las cúpulas es de 6.90 metros, mientras que la parte más alta (el domo) tiene 10.50 metros. Las superficies de las cúpulas tienen acabado en cemento rugoso, sin pintar. El piso y las columnas tienen acabado de cemento aplanado, también sin pintar. Para ambos casos se consideró que su reflectancia es de 0.20 (20%).

El espacio que ocupan los laboratorios de Eléctrica y Térmica, tiene cuatro cúpulas cada uno y los laboratorios de Hidráulica y Estructuras comparten las seis restantes (figura 3).

El tipo de instalación semeja una industrial, tanto por la altura como por las actividades ahí realizadas. Si se toman los 6.90 metros como la altura de colocación de los luminarios (figuras 3 y 4), la instalación se considera como bahía media (el rango para bahía media es de 5.50m a 7.50m).

Las reflectancias actuales (techo, paredes, piso) son muy bajas, principalmente por dos factores: el color obscuro de los acabados y la falta de limpieza. Los valores estimados para las superficies van de 0.18 a 0.20. El polvo acumulado por años evita que la luz que incide en las superficies sea, en su mayoría, reflejada hacia los planos de trabajo, por lo que los laboratorios tienen un aspecto sucio, opaco y, en cierta forma, deprimente.

Por otro lado, el acabado brillante de la pintura del mobiliario (motores, mesas, etc.) dificulta la visibilidad de estos objetos, ya que crea reflejos.

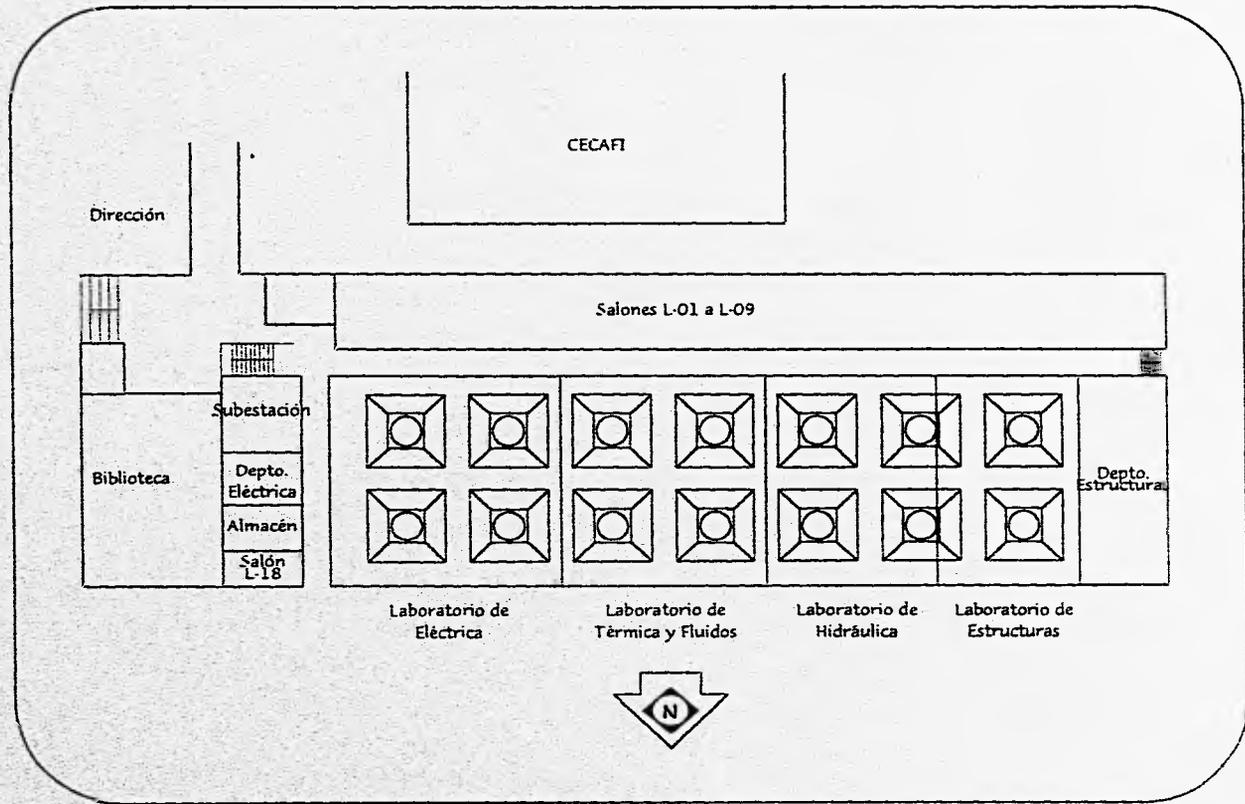


Figura 2. Croquis de localización de los laboratorios.

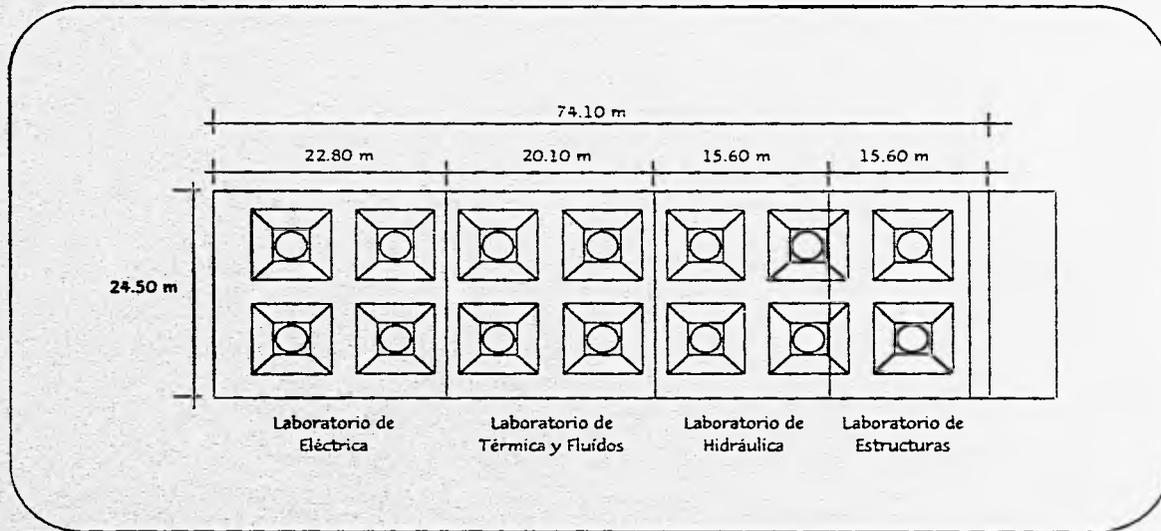


Figura 3. Dimensiones de los laboratorios.

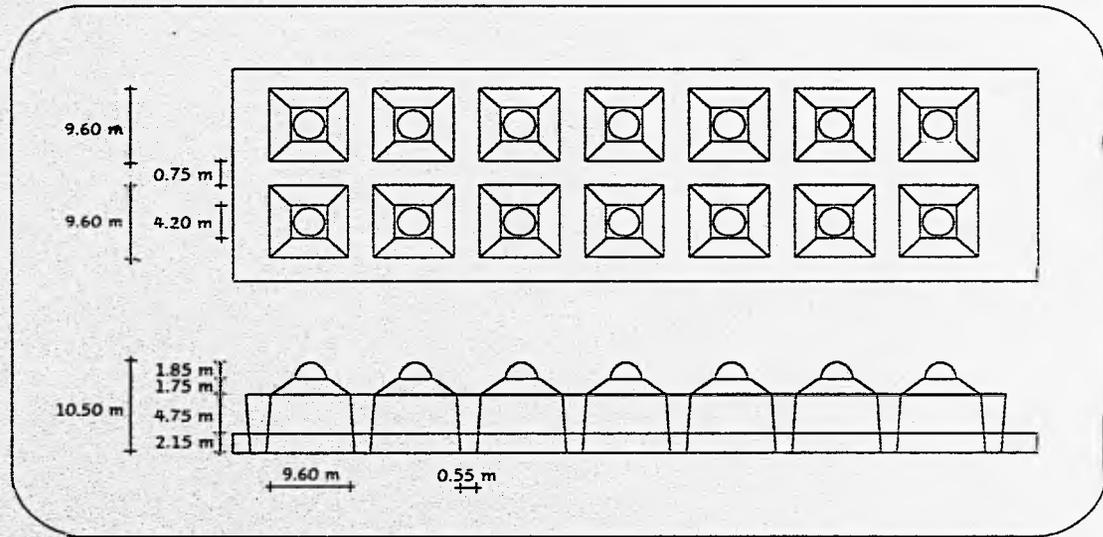


Figura 4. Dimensiones de las cúpulas.

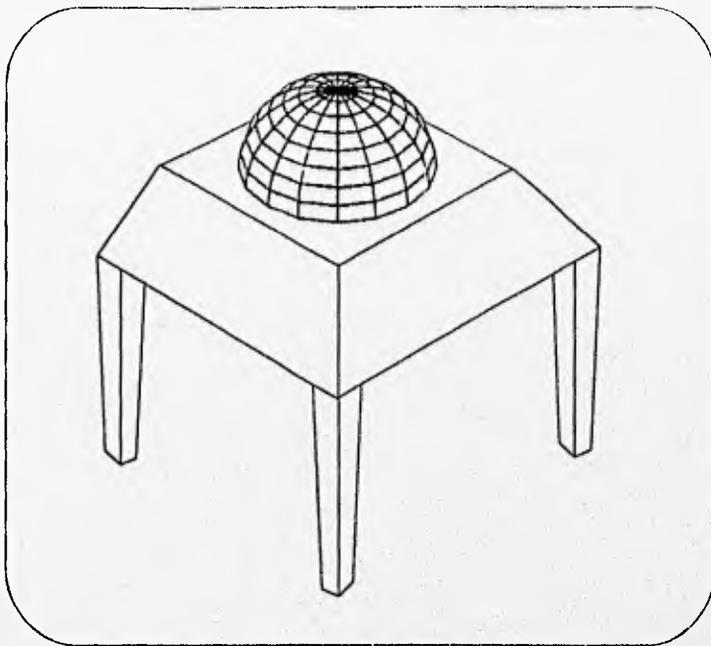


Figura 5. Detalle de una cúpula.

2. Actividades realizadas

Como actividad primordial de los laboratorios, tenemos el desarrollo de clases en sus dos modalidades, teórica y práctica. En la mayoría de los casos, las clases involucran la lectura, escritura y manipulación de equipo de medición y de prueba. Estas actividades suelen desarrollarse a lo largo de la clase indistintamente, tanto en tiempo como en espacio. La lectura se presenta principalmente en tres objetos: cuadernos o libros, pizarrón e instrumentos de medición y por su parte, la escritura se lleva a cabo en el pizarrón y cuadernos.

Generalmente, las clases requieren de 4 horas a la semana, divididas en dos sesiones para aquellos grupos de lunes a viernes; los grupos que toman clase el sábado, asisten las cuatro horas ese día.

Las actividades mencionadas, son en realidad las tareas visuales a considerar en el momento de diseñar la iluminación y se describirán con más detalle en el apartado de Criterios de diseño.

3. Horarios

Los horarios en los cuales se imparten las clases varían entre los laboratorios, dependiendo del número de clases que imparten y del número de grupos que atienden. Sin embargo, y de forma muy general, se puede decir que en los laboratorios se imparten clases de 7:00 a 13:30 y de 16:00 a 22:00 de lunes a viernes y de 7:00 a 13:00 los sábados.

Para estimar el consumo energético anual por iluminación, fue necesario determinar el número de horas que se utilizan los sistemas. Este dato fue calculado con base en los horarios de clase y observaciones del personal a cargo de los laboratorios. En promedio, el sistema de iluminación se utiliza durante 3 horas en la mañana, seis días a la semana (lunes a sábado) y 4 horas durante las clases de la tarde, cinco días a la semana (lunes a viernes); se consideró además, que el semestre normal cuenta con 32 semanas de clase. Es importante señalar la separación de horarios en matutino y vespertino porque en el caso que nos ocupa, la tarifa eléctrica es horaria en media tensión (HM).

4. Usuarios

Los alumnos que asisten a los laboratorios son personas jóvenes, de 26 años en promedio. La mayoría asiste a los laboratorios para tomar una clase, aunque hay quienes toman más de una, ya sea en el mismo laboratorio o en otro.

Es importante conocer la edad promedio de los usuarios, ya que las personas adultas (mayores de 40 años) necesitan prácticamente el doble de luz que las personas jóvenes (20 años, promedio) para tener el mismo desempeño visual.

B. Censo del equipo de iluminación

La tabla 1, muestra el censo del equipo de iluminación que se encuentran instalados a la fecha. Para este trabajo, sólo se tomaron en cuenta aquellos luminarios que proporcionan iluminación general (aquellos instalados en el techo). Los luminarios no considerados son dos

de tipo fluorescente de dos lámparas de 39W cada uno y un luminario para una lámpara de alta intensidad de descarga de 250W.

Laboratorio	Número de luminarios para mercurio 400W	Número de luminarios para incandescente 300W
Eléctrica	8	32
Térmica y Fluidos	8	32
Hidráulica	8	32
Estructuras	4	16
<i>Total</i>	<i>28</i>	<i>112</i>

Tabla 1. Censo del equipo de iluminación.

Como se observa en la tabla anterior, los luminarios son sólo de dos tipos: para lámparas de mercurio de 400 W y para lámparas incandescentes de 300 W. Para simplificar la mención de los luminarios durante esta parte del trabajo, se denominarán como tipo I y tipo II respectivamente. La tabla 2 muestra las principales características técnicas de estos luminarios.

En el capítulo Análisis de las propuestas, se incluyen los aspectos económicos de la iluminación, esto es, los costos de operación y mantenimiento; en este análisis se consideran los luminarios del laboratorio de Eléctrica, ya que son los que se pretenden cambiar por el momento. Cabe mencionar que únicamente el laboratorio de Estructuras es diferente en cuanto a la cantidad de luminarios y que para conocer los costos por energía basta con dividir entre dos los costos del laboratorio de Eléctrica. Es necesario aclarar, que estos valores son estimados con base en las observaciones de uso de los sistemas y las preguntas realizadas al personal que los opera, y que al depender de los hábitos de uso de los mismos y las variaciones de horario que pudieran llegar a sufrir, no pueden considerarse como únicos o absolutos.

En la figura 6, se muestra la disposición actual de los luminarios. Cada cúpula cuenta con ocho luminarios del tipo II y dos luminarios del tipo I. El arreglo que tienen los luminarios del tipo I puede apreciarse mejor cuando se observan grupos de cuatro cúpulas: Los luminarios de tipo I se encuentran suspendidos del techo, a 10 cm de éste y los del tipo II están empotrados en el techo.

Características	Sistema Actual	
	Tipo I mercurio	Tipo II incandescente
Denominación del sistema		
Descripción general		
I. Parámetros del diseño		
Altura de instalación (m)	7.86	8.65
II. Datos del luminario		
Tipo	industrial	downlight
Descripción	suspendido	empotrado
Marca	Holophane	no disponible
Modelo	Primspack-610	no disponible
Número de lámparas	1	1
Número de balastos	1	0
Coefficiente de utilización	0.546	0.400
III. Datos del balastro		
Marca	Lumicon	sin balastro
Modelo	73B9116/AB	
Tipo	electromagnético	
Circuito	CWA	
Lámparas por balastro	1	
Tensión de operación (V)	220	
Corriente de línea (A)	2.10	
Potencia de línea (W)	455.00	
Factor de potencia	AFP	
Factor de balastro	0.88	
Vida nominal (años)	13.50	
Frecuencia de operación (Hz)	60	
IV. Datos de la lámpara		
Marca	Solar/GE/Philips	Osram/Solar
Sistema	HID-mercurio	incandescente
Modelo o denominación	H33GL-400/DX	
Denominación del bulbo	ED-37	PS-30
Acabado del bulbo	fosforado-blanco de lujo	claro
Base	E40	standard
Potencia nominal (W)	400	300
Emisión luminica inicial (lm)	23,000	5,500
Emisión luminica media (@ 40% vida nominal)	80%	90%
Eficacia (lm/W)	57.50	18.33
Vida nominal (horas)	24,000	1,000
Índice de rendimiento de color (CRI)	45	92
Temperatura de color (K)	4,000	2,700
V. Sistema eléctrico (lab. Eléctrica)		
Número total de luminarios	8	32
Carga instalada por luminario (W)	455	300
Carga instalada total (kW)	3.64	9.60
Horas de uso en punta por año	576	576
Horas de uso en base por año	640	640
Energía en punta (kWh/año)	2,096.64	5,529.60
Energía en base (kWh/año)	2,329.60	6,144.00
Energía total (kWh/año)	4,426.24	11,673.60
Demanda facturable (kW/año)	43.68	115.20
Eficacia total (lm/W)	44.48	18.33

Tabla 2. Características técnicas de los luminarios tipos I y II.

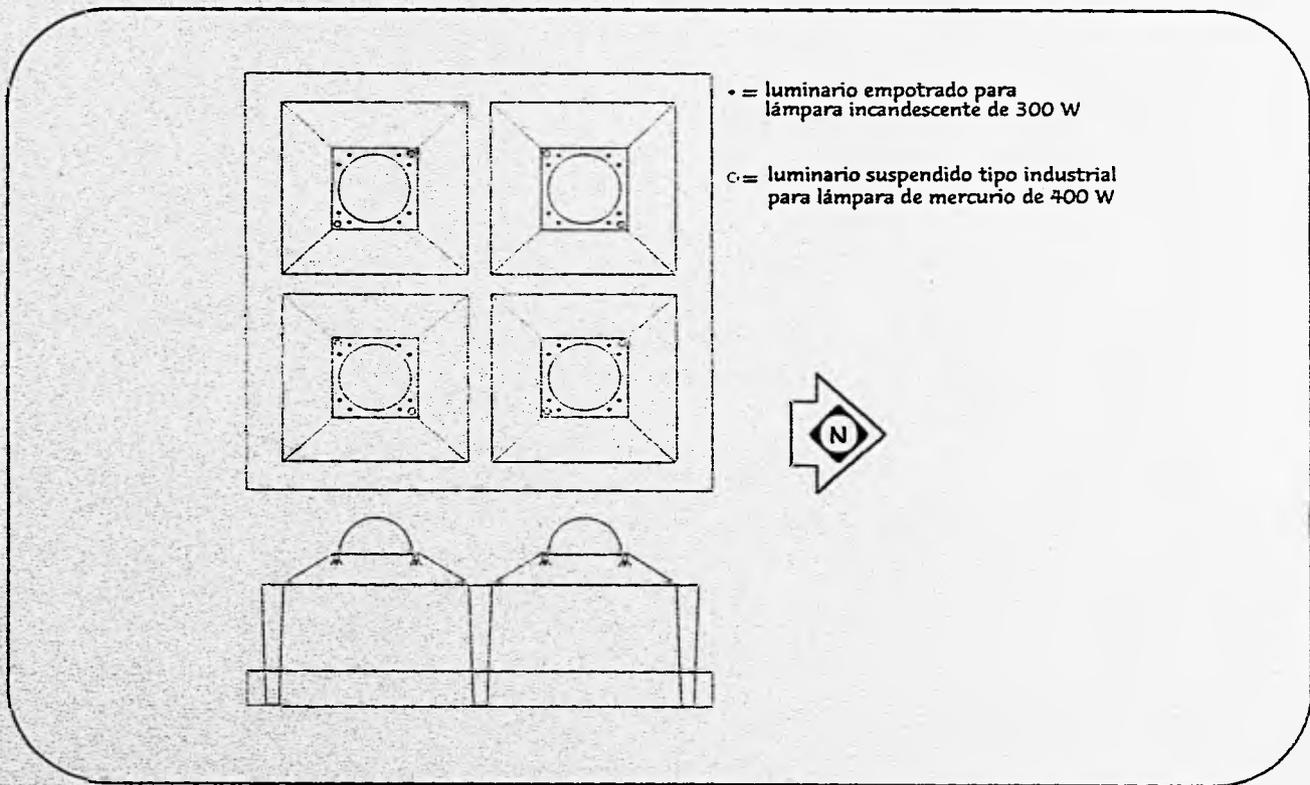


Figura 6. Disposición de los luminarios actuales en cada cúpula.

De forma general, el control que se tiene para la iluminación es de la siguiente manera: se cuenta con un interruptor para todos los luminarios de mercurio de cada laboratorio y un interruptor para todos los luminarios incandescentes de cada cúpula.

C. Mantenimiento

A la fecha, el mantenimiento del sistema de iluminación lo lleva a cabo la Dirección General de Obras y según las explicaciones del personal de los laboratorios, es necesario que se elabore un oficio petitorio para la realización del mismo.

Cabe mencionar, que tanto los trámites burocráticos como las características propias del lugar han propiciado que dicho mantenimiento se realice de manera correctiva, nunca preventiva, y, además, tardíamente.

Actualmente, los laboratorios carecen de un mantenimiento adecuado, se encuentran sucios, con aspecto abandonado y con un gran número de lámparas fuera de servicio; todo lo anterior demerita el de por sí bajo nivel de iluminación.

Para que se cumplan los objetivos de este trabajo, tendrá que encontrarse el mecanismo administrativo adecuado que permita programar el mantenimiento de tal forma, que éste sea preventivo. Según personal de la Dirección General de Obras (septiembre de 1995), la partida para el mantenimiento de cada dependencia de la UNAM sería asignada a cada una de ellas. Si esto se concretara, la Facultad de Ingeniería podría responsabilizarse del mantenimiento adecuado de los laboratorios. De esta forma, se asignarían las cantidades de dinero necesarias y se programaría con anticipación al personal que proporcione la mano de obra.

Debido a la falta de una escalera o torre lo suficientemente altas para alcanzar los luminarios, no fue posible constatar que estos se limpiaran cada que se cambian lámparas. Sin embargo, y aunque esto así fuera, cabe mencionar que es necesario que también se limpien las paredes periódicamente. Como se mencionará en otro capítulo, se recomienda que las superficies no sólo se limpien, sino que se pinten con colores claros.

Otro aspecto relacionado con el mantenimiento, es la gran cantidad de objetos que se encuentran en los cuatro laboratorios y que no aparentan tener un uso específico. Todos estos

objetos dan la impresión de estar almacenados, pero sin orden ni limpieza, lo que aumenta la sensación de abandono.

D. Niveles de iluminancia

Los valores de los que se hablará aquí, son el resultado de las mediciones realizadas en los laboratorios. Dichas mediciones se realizaron de acuerdo a las recomendaciones que hace la Illuminating Engineering Society of North America.

Las lecturas tomadas en el plano horizontal en cada laboratorio fueron como mínimo 150 y como máximo 240. Lo anterior asegura que cada lectura fue tomada en particiones de menos del 5% del área total. El luxómetro utilizado cumple con todas las especificaciones^{2c} internacionales de calidad.

El plano de trabajo horizontal se consideró a 76 cm sobre el suelo, ya que es la altura mínima a la que se realizan actividades visuales. Las mediciones en el plano vertical se realizaron a 1.80 m sobre el suelo.

En todos los casos, el tiempo de estabilización de las lámparas fue 1 hora y media como mínimo, no hubo aportación de luz natural y la iluminación de cada laboratorio no interfirió en las lecturas de los restantes.

Las tablas 3 a 6 muestran los resultados de las mediciones en los laboratorios.

Niveles de iluminancia en el Laboratorio de Eléctrica		
	Plano horizontal	Plano vertical
Promedio	188.48	109.20
Máximo	305.00	175.00
Mínimo	10.00	58.00
Promedio/mínimo	18.85	1.88
Horizontal/vertical	1.73	

Tabla 3. Resultados de las mediciones de iluminancia en el Laboratorio de Eléctrica (lx)

Niveles de iluminancia en el Laboratorio de Térmica y Flúidos		
	Plano horizontal	Plano vertical
Promedio	136.47	65.07
Máximo	264.00	96.00
Mínimo	14.00	23.00
Promedio/mínimo	9.75	2.83
Horizontal/vertical	2.10	

Tabla 4. Resultados de las mediciones de iluminancia en el Laboratorio de Térmica y Flúidos (lx)

Niveles de iluminancia en el Laboratorio de Hidráulica		
	Plano horizontal	Plano vertical
Promedio	123.55	37.00
Máximo	247.00	62.00
Mínimo	5.00	22.00
Promedio/mínimo	24.71	1.68
Horizontal/vertical	3.34	

Tabla 5. Resultados de las mediciones de iluminancia en el Laboratorio de Hidráulica (lx)

Niveles de iluminancia en el Laboratorio de Estructuras		
	Plano horizontal	Plano vertical
Promedio	130.00	58.00
Máximo	255.00	74.00
Mínimo	18.00	37.00
Promedio/mínimo	7.22	1.57
Horizontal/vertical	2.24	

Tabla 6. Resultados de las mediciones de iluminancia en el Laboratorio de Estructuras (lx)

De acuerdo con las recomendaciones internacionales que hace la Illuminating Engineering Society of North America, los niveles de iluminancia actuales en los laboratorios son muy bajos considerando que el valor que se utilizará para diseñar la iluminación de los laboratorios es de 500 luxes.

Aún cuando las tablas anteriores nos muestran el problema general de la baja iluminancia, es necesario mencionar que en ciertas zonas de los laboratorios (la periferia, por ejemplo) el promedio de iluminancia alcanza valores muy por debajo del promedio de todo el laboratorio. En el laboratorio de Eléctrica, la zona más oscura tiene un promedio de 64 luxes en el plano horizontal. El peor de los casos es el laboratorio de Hidráulica, donde este valor sólo

alcanza los 35 luxes. En el plano vertical también se presenta este problema; en el laboratorio de Eléctrica, el promedio en el pizarrón es de 65 luxes, un valor muy por debajo del mínimo recomendado (350 luxes). Es necesario mencionar que las mediciones no incluyen ninguna corrección por las lámparas fuera de servicio. Si quisiera hacerse esta corrección, tendría que aplicarse un factor que en el mejor de los casos es 1.20 (20% más de iluminancia). Aún después de la aplicación de este factor, los niveles actuales siguen siendo muy deficientes.

Otro grave problema común a los cuatro laboratorios es la presencia de zonas muy oscuras. La pobre uniformidad que existe, 25 a 1 en el laboratorio de Hidráulica, se debe tanto al mal diseño original como a la falta de mantenimiento de las instalaciones (cambio de lámparas y limpieza de equipo y superficies). Es sorprendente el contraste que existe entre los luminarios y el techo escasamente iluminado, problema que también se presenta cuando en el laboratorio contiguo no está encendida la iluminación. Existen tres días a la semana, por lo menos, en que se tiene clase de 20:00 a 22:00 sólo en el laboratorio de Eléctrica. El contraste entre este laboratorio y el de Térmica es molesto. Para corregir esta situación se propone que se instale iluminación decorativa, de tipo indirecta en cada cúpula.

E. Apariencia general de la iluminación

El aspecto actual de los laboratorios no es muy favorable, como se confirmó con la encuesta realizada a los alumnos. Esto se debe principalmente a los siguientes factores:

- Bajo nivel de iluminancia
- Acabados de las paredes, columnas y cúpulas
- Objetos almacenados en los laboratorios
- Falta de mantenimiento
- Inadecuada combinación de los sistemas incandescente y mercurial

De los cuatro primeros factores ya se ha hablado a lo largo de este capítulo, sin embargo, es necesario remarcar que las temperaturas de color de las lámparas de mercurio y de las incandescentes, son muy diferentes (4,000 y 2,700 K) como para mezclarlas. Otro factor importante, es la diferencia de CRI. Si bien es cierto que el CRI de las lámparas Incandescentes, es muy alto, 90, los colores no se aprecian naturales debido a la gran cantidad de luz de alta temperatura de color (4,000 K) y bajo CRI (45) que emiten los ocho luminarios de mercurio.

Es esta mezcla de temperaturas de color, acabados de las superficies y bajos niveles de iluminancia lo que crea el ambiente actual de los laboratorios. Para entender mejor el problema de la apariencia de los laboratorios, es conveniente recordar que el ojo humano siempre será atraído por la belleza, en cualquiera de sus formas o circunstancias. Un luminario que no armonice con sus alrededores no debería instalarse, aunque proporcione una iluminación adecuada. La iluminación que no provee características de color, luz y sombras agradables, no es estética y por lo tanto defectuosa.

Como criterio personal, se considera que la iluminación incandescente, mercurial, o la mezcla de ambas, no es adecuada para las instalaciones de los laboratorios y que los niveles de iluminancia, las relaciones de uniformidad, la distribución de luminancias y la falta de mantenimiento afectan de tal forma el desempeño visual de los alumnos, que el sistema de iluminación actual no puede ser considerado como satisfactorio.

F. Encuesta a los usuarios

Como parte de la recolección de información de los laboratorios, se realizó una encuesta entre los alumnos. El objetivo principal de la encuesta es el de obtener la opinión y sugerencias de los usuarios del sistema de iluminación. Esto permite detectar los principales problemas del sistema actual y las características que son del agrado de las personas.

La encuesta fue contestada por alumnos de todos los laboratorios y de la mayoría de los horarios. Para fines estadísticos, se dividió a los encuestados en diurnos (7:00 a 13:30) y nocturnos (16:00 a 22:00), ya que el desempeño de un sistema de iluminación es muy diferente cuando existe aportación de luz natural.

Las preguntas incluidas en esta encuesta son de carácter subjetivo, por lo que las respuestas son muy variadas; sin embargo, estas preguntas proporcionan los elementos de comparación necesarios para que los alumnos puedan saber si el sistema actual es satisfactorio o no. Con estas preguntas, el alumno sabe que parámetros del sistema evaluar y en que forma le afectan.

Como puede verse en las gráficas 1 a 5, existen puntos de común acuerdo que en general indican disgusto con el sistema actual. Aunque la mayoría de los encuestados cree que la iluminación es suficiente (gráfica 1), puede notarse que el 64% de los que opinaron que esto

no es así, toman clase en la noche, lo que agrava más la situación; aún durante el día, el sistema no es considerado del todo satisfactorio (14%).

Por otra parte, como se aprecia en la gráfica 2, el 62% de los encuestados declaró que existen sombras y reflejos que dificultan la visión de sus actividades. Es importante notar que el 100% de las personas que no tienen molestias, toman clase durante el día. Lo anterior demuestra que la aportación de luz natural es un factor muy importante en las instalaciones y que el sistema de iluminación artificial tiene mucho que ver con dichos problemas (el 61% de los que contestaron sí a la pregunta, toma clase en la noche).

Otra pregunta importante se muestra en la gráfica 3. Como puede notarse, la mayoría de los alumnos encontraron puntos lo suficientemente oscuros o brillantes como para notarlos. Este problema se encuentra dividido equitativamente entre las clases diurnas y nocturnas. Como puntos oscuros durante el día, se mencionaron las esquinas y centro de los laboratorios, las mesas y los pizarrones; durante la noche, la periferia fue el lugar más mencionado como punto oscuro. Las ventanas, acapararon la atención como punto brillante durante el día y por su parte, los luminarios en sí y los lugares directamente debajo de ellos fueron considerados como molestos en la noche. Los resultados de esta pregunta demuestran la importancia de tener una iluminación uniforme a lo largo del espacio en cuestión.

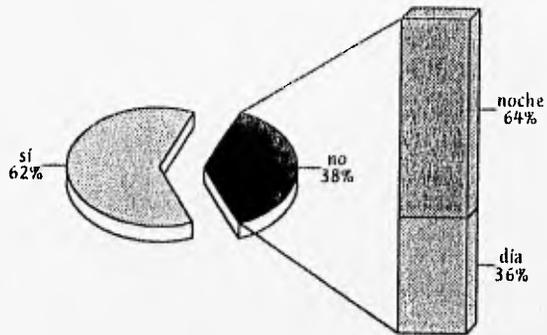
Que el 79% de alumnos que toman clase de día, considere necesario que se encienda la iluminación (gráfica 4), fue de gran importancia para evaluar el sistema actual y para realizar recomendaciones sobre el uso del nuevo diseño. Respecto de los alumnos que toman clase de noche, podemos decir que las opiniones de la iluminación giraron en torno a quejas constantes: el lugar tiene un aspecto sucio, frío, opaco, con sombras y sin luz suficiente, que la apariencia de la iluminación es heterogénea y falta mantenimiento.

La pregunta final de la encuesta, tal vez la más importante por justificar en cierta forma este trabajo, revela que el 83% de los alumnos está adisgusto con la iluminación actual (gráfica 5). Es conveniente observar que quienes dejarían la iluminación como está, únicamente toman clase de día. Lo anterior nos permite suponer que el principal problema existe durante las clases vespertinas, ya que no existe iluminación natural que ayude a sobrellevar las deficiencias.

Notas

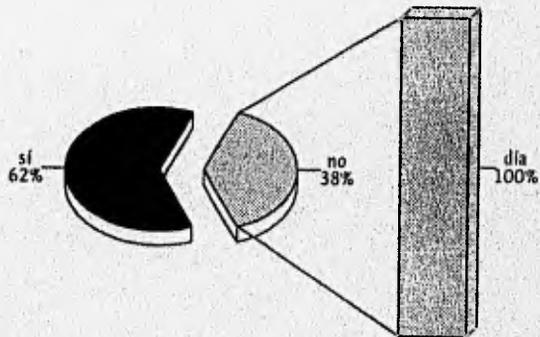
- c. Luxómetro Minolta, modelo T-1, con fotocelda de silicio y respuesta espectral $\pm 2\%$ de la curva fotópica de la CIE y un error de $\pm 2\%$ para corrección de luz incidente a 30°

¿La iluminación que existe en el momento de tu clase es suficiente para realizar las actividades de la misma?



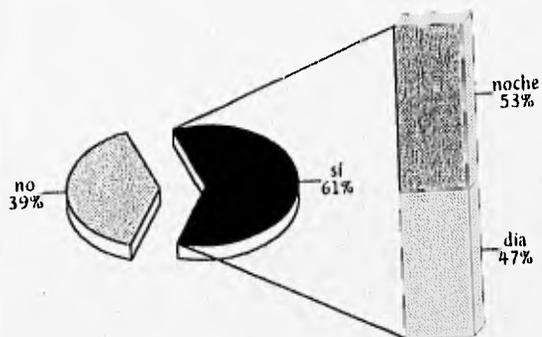
Gráfica 1.

¿Existen sombras o reflejos que dificulten la realización de tus actividades (escribir, tomar lecturas, etc.)?



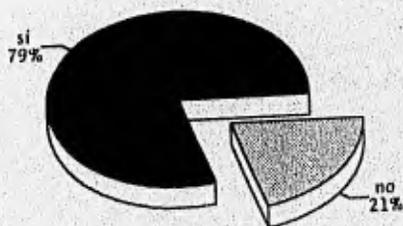
Gráfica 2.

¿Existe algún punto o lugar del laboratorio que consideres especialmente oscuro o brillante?



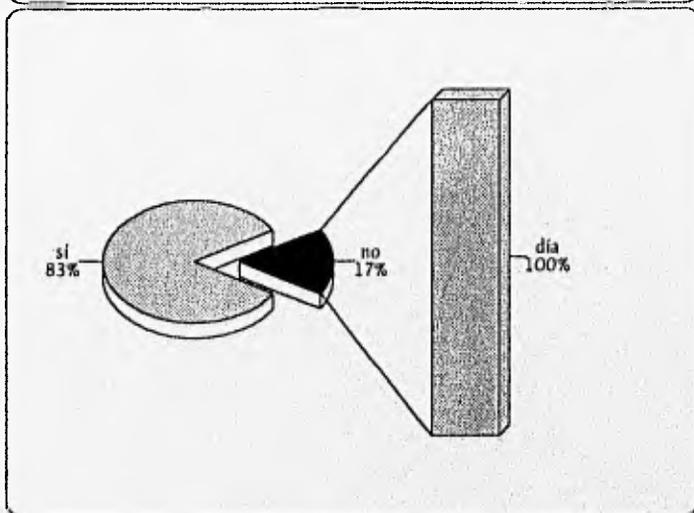
Gráfica 3.

Si tu clase es de día, ¿consideras necesario que se encienda la iluminación artificial?



Gráfica 4.

¿Crees conveniente que se realice un nuevo diseño?



Gráfica 5.

*III. Sistemas propuestos
y
criterios de diseño*

III. Sistemas propuestos y criterios de diseño

En este capítulo se exponen brevemente los dos sistemas de iluminación propuestos y los criterios de diseño seguidos para tal efecto. Los datos que se proporcionan, están basados en recomendaciones de organismos reconocidos internacionalmente y los cálculos que se presentan en un capítulo posterior.

La descripción detallada de cada uno de los sistemas se presenta más adelante en un capítulo propio.

A. Sistemas propuestos

1. Luminario tipo industrial con lámparas fluorescentes compactas

Como primera propuesta para el laboratorio de Eléctrica^d, se tiene un sistema de iluminación con 24 luminarios de tipo industrial, para ocho lámparas fluorescentes compactas y cuatro balastos electrónicos cada uno. La distribución de luminarios es simétrica, seis para cada cúpula.

La luz que proporcionan las lámparas fluorescentes compactas es de color neutro, 4,100 K, y de alto rendimiento de color, 85. Se pretende alcanzar un nivel de iluminancia cercano a los 500 luxes con un ahorro de energía considerable

Los luminarios de este tipo, son de marca Sportlite Incorporated de Arizona, EE.UU. Su compra se haría directamente del fabricante y siguiendo todos los trámites aduanales pertinentes.

Las principales características técnicas de este sistema se muestran en la tabla 7 y se complementan en el capítulo de análisis de las propuestas.

2. Luminario tipo industrial con lámpara de aditivos metálicos

Para este sistema se proponen 16 luminarios de tipo industrial, para una lámpara de aditivos metálicos de 400 W. La distribución del equipo sería simétrica con cuatro luminarios por cúpula.

La luz de este tipo de lámpara es de color neutro, 4,000 K, pero de apariencia diferente a la de las fluorescentes, debido en gran medida al índice de rendimiento de color que presentan (65). El nivel de iluminancia que proporcionan estos luminarios es superior a 500 luxes y también se obtiene un ahorro de energía considerable.

Los luminarios propuestos son de manufactura nacional y de gran calidad; al igual que para el sistema anterior, se pueden apreciar sus características en la tabla 7.

B. Criterios de diseño

En esta parte del trabajo se discuten los criterios utilizados para la proposición de los sistemas que pueden sustituir al actual.

1. Técnicos

Los principales criterios técnicos adoptados en este trabajo, se enfocaron a mejorar la calidad de la iluminación. Esto es, aumentar la iluminancia, mejorar la apariencia de los laboratorios por medio del manejo de luminancias, temperatura e índice de rendimiento de color y disminuir las relaciones de uniformidad y el *flicker*.

Otros aspectos técnicos considerados en este trabajo son el mantenimiento (se hacen recomendaciones para facilitarlos) y la disminución de la carga instalada y la energía consumida por concepto de iluminación.

Características	Sistemas Propuestos	
	Tipo III fluorescente	Tipo IV aditivos metálicos
Denominación del sistema		
Descripción general		
I. Parámetros del diseño		
Altura de instalación (m)	7.10	7.10
II. Datos del luminario		
Tipo	industrial	industrial
Descripción	suspendido	suspendido
Marca	Sportlite	Lumisistemas
Modelo	SL-8	Durec Prismatic
Número de lámparas	8	1
Número de balastos	4	1
Coefficiente de utilización	0.590	0.684
III. Datos del balastro		
Marca	Robertson	Lumicon
Modelo	RED2L10-120H	7489052/AB
Tipo	electrónico	electromagnético
Circuito	-	auto regulado
Lámparas por balastro	2	1
Tensión de operación (V)	127	220
Corriente de línea (A)	0.59	2.12
Potencia de línea (W)	62.50	458.00
Factor de potencia	0.99	AFP
Factor de balastro	0.90	0.88
Vida nominal (años)	35.00	13.50
Frecuencia de operación (Hz)	60	60
IV. Datos de la lámpara		
Marca	Philips/GE	GE
Sistema	fluorescente compacta	aditivos metálicos
Modelo o denominación	PL-T 32W/41/4P	MVR-400/U
Denominación del bulbo	SLS	ED-37
Acabado del bulbo	fosforado	claro
Base	GX24q-3	mogul
Potencia nominal (W)	32	400
Emisión luminica inicial (lm)	2,400	36,000
Emisión luminica media (@ 40% vida nominal)	90%	75%
Eficacia (lm/W)	75.00	90.00
Vida nominal (horas)	10,000	20,000
Indice de rendimiento de color (CRI)	85	65
Temperatura de color (K)	4,100	4,000
V. Sistema eléctrico (lab. Eléctrica)		
Número total de luminarios	24	16
Carga instalada por luminario (W)	250	458
Carga instalada total (kW)	6.00	7.33
Horas de uso en punta por año	576	576
Horas de uso en base por año	640	640
Energía en punta (kWh/año)	3,456.00	4,220.93
Energía en base (kWh/año)	3,840.00	4,689.92
Energía total (kWh/año)	7,296.00	8,910.85
Demanda facturable (kW/año)	72.00	87.94
Eficacia total (lm/W)	69.12	69.17

Tabla 7. Características técnicas de los luminarios propuestos.

a. Iluminancia

Como se mencionó en el capítulo anterior, la iluminancia actual de los laboratorios está muy por debajo de las recomendadas. Para este respecto, se consultaron diversas publicaciones de organismos reconocidos en la materia.

De acuerdo con los valores de iluminancia publicados por la IESNA para espacios de tipo industrial y educacional, y para tareas visuales que involucren la escritura y lectura se definió que el valor adecuado de iluminancia es 500 lx.

b. Luminancia

Para este parámetro, no se establecieron valores específicos ya que la complejidad para su evaluación no lo permite. Para calcular la luminancia de diversas superficies dentro de un espacio iluminado, es necesario tener un programa de computadora adecuado, sin embargo, con las recomendaciones que se harán respecto de los colores de las superficies (techo, columnas, mobiliario) se tendrá una mejoría notable en la distribución de las luminancias dentro de los laboratorios.

Un buen ejemplo de esto, es el techo. Si se lleva a cabo el pintado de las superficies con colores más claros, el contraste de las cúpulas con los luminarios disminuirá a tal grado, que estos últimos no serán molestos en condiciones normales de visión (esto implica el no verlos directamente). Por otra parte, el empleo de iluminación decorativa de tipo indirecto en las cúpulas mejoraría la apariencia general de las instalaciones y se eliminaría el problema de contraste entre laboratorios.

c. Temperatura de color

De acuerdo con el nivel de iluminancia escogido, se determinó la temperatura de color de las fuentes luminosas.

Se consideró que la temperatura de color más adecuada es 4,100 K. Como se puede ver en la figura 8, este valor está dentro de las recomendaciones que para este parámetro se hacen.

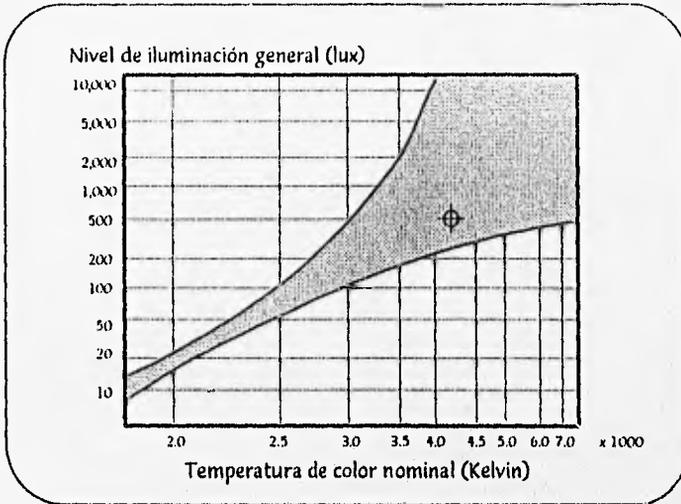


Figura 7 > 8. Temperatura de color escogida para 500 lx (4,100 K, señalada con +).

Este valor es también, uno de los más comunes en lámparas fluorescentes, ya que proporciona una atmósfera neutra en color y la luz que corresponde a esta temperatura es considerada como fresca.

d. Índice de rendimiento de color

El CRI actual es tan bajo, que necesariamente tiene que ser mejorado. Los valores de CRI de las lámparas propuestas son 65 para las de aditivos metálicos y 85 para las fluorescentes compactas.

Es necesario comentar que no se pueden utilizar lámparas de aditivos metálicos con un CRI mayor, ya que éstas sólo se encuentran disponibles en potencias menores a 100 W.

La utilización de otras fuentes con mayor CRI (sodio blanco) sería demasiado cara como para el presupuesto estimado, ya que se necesitarían aproximadamente 80 luminarios para tener 500 luxes mantenidos.

e. Relaciones de uniformidad

La uniformidad actual, considerada como baja, tratará de ser mejorada con una nueva distribución de los luminarios. Como la cantidad de luminarios propuestos es mayor que la

actual, se puede asegurar que la cobertura de estos será más amplia, aumentando necesariamente la uniformidad de ambos planos, horizontal y vertical.

f. Flicker

Aunque aparentemente el flicker actual no es notable, existe en un alto grado. Tal vez la mayor prueba de esto sea la demostración del efecto estroboscópico que se lleva a cabo cada semestre cuando se enseñan las máquinas rotatorias.

Tal parece, que nadie se ha quejado al respecto, pero como se mencionó en capítulos anteriores, la variación de la salida de luz de las lámparas termina por causar molestias en los ojos y fatiga.

El flicker actual, 0.144, está por encima del 0.100 recomendado. Cualquiera de los dos sistemas propuestos mejora notablemente este valor. El sistema de aditivos metálicos tendrá un flicker de 0.086 y el de las lámparas fluorescentes compactas con balastro electrónico puede ser considerado prácticamente como cero.

g. Mantenimiento

El mantenimiento es un elemento muy importante dentro del diseño de iluminación. En los cálculos que se realizan, se incluyen diferentes factores de pérdida de luz, entre los que se encuentran aquellos involucrados con el mantenimiento. Estos factores de pérdida de luz son muy importantes porque son considerados como recuperables, esto es, que con el mantenimiento adecuado puede alcanzarse el nivel original de iluminancia.

Este trabajo propone, como medida de ahorro de energía y mejoramiento de la calidad de la iluminación, que el mantenimiento que se proporcione a los laboratorios, se realice de la siguiente manera:

Se recomienda, y de hecho se consideró de esta forma, que los luminarios y lámparas se limpien cada seis meses. La depreciación por suciedad del luminario, depende de su construcción y del tipo de ambiente al que se somete. Se considera que los laboratorios tienen un ambiente limpio, pero aún así el detrimento de la iluminancia puede alcanzar un 10% por año, simplemente por el polvo que se acumula en el luminario.

Se recomienda también, que el cambio de lámparas sea grupal. Para determinar el tiempo en meses, se consideró la vida económica de las lámparas. Para las lámparas fluorescentes, se utilizó la figura 8. Como se puede apreciar en ella, el 83% de la vida nominal de las lámparas es el valor máximo que se recomienda para que el mantenimiento grupal sea económico. Este trabajo recomienda que el mantenimiento se realice al 80% de la vida de las lámpara; esto es, a las 8,000 horas de uso. El caso de las lámparas de aditivos metálicos es diferente; para éstas, primero se determinó la vida esperada, la cual es mucho menor a la nominal debido a los períodos de encendido-apagado. La vida nominal de las lámparas de aditivos metálicos está referida a períodos de 10 horas por encendido y, en el caso de los laboratorios los períodos son de 3 ó 4 horas, lo que ocasiona una disminución de la vida de la lámpara. De acuerdo con el fabricante, para períodos de 3 ó 4 horas por encendido la vida de la lámpara disminuye 32.5%. De este modo se determinó que la vida esperada de las lámparas es de 13,500 horas. Por otra parte, la vida económica de este tipo de fuentes luminosas es del 70%, ya que a partir de este momento la depreciación luminosa es muy alta. Se estima pues, que las lámparas deberán ser cambiadas cada 9,450 horas de uso.

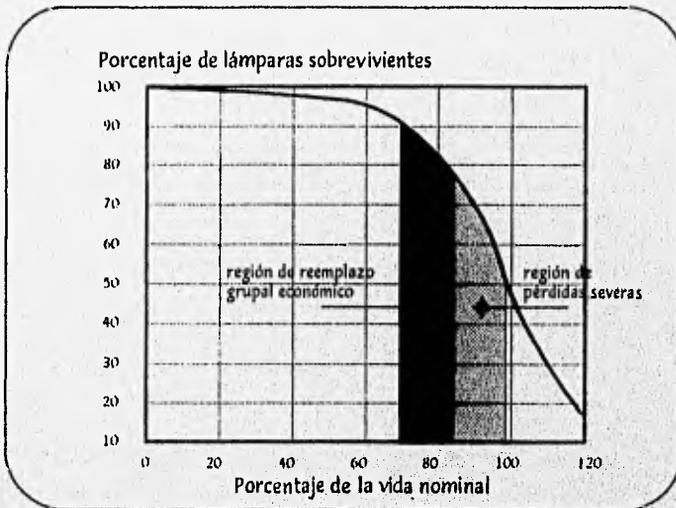


Figura 8 ¹⁴. Curva de mortalidad de lámparas fluorescentes.

Como parte del mantenimiento a los laboratorios, se propone que las reflectancias de las cúpulas y columnas se aumente a 75% mínimo. Esto puede lograrse con pintura de colores claros, como blanco, crema o alguno otro parecido. El beneficio inmediato de pintar las superficies es el ahorro de energía, ya que al aumentar las reflectancias se necesitan menos luminarios para un mismo nivel de iluminancia. En nuestro caso, el ahorro calculado es de 6.2

a 15.8% aproximadamente (dependiendo de la combinación luminario-altura de la cavidad de techo), lo que representa de dos a cuatro luminarios de los propuestos. Como no es posible quitar esos luminarios por razones de simetría en la distribución del equipo, se considera que la iluminancia aumentará proporcionalmente cuando se pinten las superficies.

2. Estéticos y arquitectónicos

Los criterios estéticos y arquitectónicos que se ocuparon son básicamente tres: proporcionar una luz de mayor calidad, mejorar la apariencia general de los laboratorios e integrar el equipo de iluminación a su entorno.

Para el primer propósito, se buscaron fuentes luminosas con un mejor índice de rendimiento de color, así como una temperatura de color más adecuada al nivel de iluminancia y los colores de las superficies.

Para mejorar la apariencia general de los laboratorios, se propone el pintado de las superficies de cemento con colores claros (blanco, crema, etc.), la realización de mantenimiento preventivo a las instalaciones de iluminación (limpieza y reemplazo de lámparas oportunamente), limpieza y reorganización de los objetos almacenados en los laboratorios y la iluminación decorativa de las cúpulas.

Por último, los luminarios propuestos fueron escogidos con base en su eficiencia, pero también en su apariencia. Se puede asegurar que cualquiera de los dos luminarios propuestos tienen características de línea y acabados idóneas para instalarse en los laboratorios. Su presencia dará una imagen de modernidad, limpieza y seguridad.

3. Económicos

Los aspectos monetarios incorporados a este trabajo, no presentan un límite en cuanto a la inversión inicial se refiere. Sin embargo, las opciones presentadas incluyen un análisis exhaustivo, de tal forma que se puede garantizar que la inversión para cada caso optimiza los recursos económicos.

Si bien es cierto que la diferencia entre inversiones es muy grande, deben tenerse en cuenta todas las características de cada sistema y no tomar una decisión con base en el costo inicial. Esa gran diferencia de costos está justificada por los beneficios técnicos, estéticos y de satisfacción visual.

Notas

- d. El diseño se aplica a los demás laboratorios, para los cuales variará el nivel y la distribución de luminarios

*IV. Metodología de cálculo
de los sistemas propuestos*

IV. Metodología de cálculo de los sistemas propuestos

Es en este capítulo donde se describen los procedimientos y operaciones realizados para determinar el número de luminarios necesarios para alcanzar el nivel de iluminancia propuesto.

Para fines de este trabajo, se explicará como se determinó el nivel de iluminancia recomendado y se ejemplificará el método de cavidad zonal con los datos del laboratorio de Eléctrica, asumiendo que resultados de otros laboratorios se obtuvieron de la misma forma y que por razones de espacio se obvian procedimientos similares.

A. Selección del nivel de iluminancia

Uno de los aspectos principales del diseño de un sistema de iluminación es la determinación del nivel de iluminancia adecuado. Aunque no es el factor más importante del diseño, generalmente es el primer elemento a considerar, el primer objetivo a alcanzar. Una vez determinado este valor y la forma de lograrlo con el equipo seleccionado, deben considerarse los otros parámetros de calidad que se definieron en el capítulo de Antecedentes.

En nuestro caso, se siguió la metodología que propone la IESNA, la cual indica los pasos que a continuación se exponen de forma resumida:

1. Definir la tarea visual o actividad para la cual se requiere la iluminación
2. Seleccionar la categoría de iluminancia, ya sea de la tabla 8 (tareas genéricas) o de la tabla 9 (tareas típicas)
3. Determinar el rango de iluminancia, de acuerdo a la categoría seleccionada en el punto anterior
4. Establecer el valor recomendado de iluminancia. Este valor es uno de los tres que se tienen en el rango de iluminancias. Se determina de acuerdo a la categoría de la tarea y a diversos factores de peso. Para las categorías A a C, los factores de peso son la edad promedio de las personas que realizan la tarea visual y las reflectancias de las superficies del cuarto. Para estas categorías, los parámetros anteriores se evalúan en la tabla 10 y se deberá realizar la suma

algebraica (tomando en cuenta los signos) de los dos valores. Si el resultado de la suma es -2 , se toma el valor más bajo del rango; si el resultado es $+2$, se toma el valor más alto del rango; en cualquier otro caso se utiliza el valor medio. Para las categorías D a I los factores de peso son la edad promedio de las personas que realizan la tarea visual, la importancia de la velocidad y exactitud en la ejecución de la tarea y la reflectancia del plano de trabajo. Al igual que para las categorías A a C, se realiza la suma algebraica de los factores de peso que se muestran en la tabla 11. Si el resultado de la suma es -2 ó -3 , se toma el valor más bajo del rango; si el resultado es $+2$ ó $+3$, se toma el valor más alto y en cualquier otro caso se utiliza el valor medio.

Tipo de actividad	Categoría de iluminación	Rangos de iluminación (lux)	Comentarios
Espacios públicos con alrededores oscuros	A	20-30-50	Requieren de iluminación general a lo largo de todo el espacio
Orientación sencilla, para visitas cortas	B	50-75-100	
Espacios de trabajo donde las tareas visuales son realizadas ocasionalmente	C	100-150-200	Iluminancia en la tarea visual
Realización de tareas visuales de alto contraste o gran tamaño	D	200-300-500	
Realización de tareas de contraste medio o tamaño reducido	E	500-750-1000	
Realización de tareas de bajo contraste o tamaño muy reducido	F	1000-1500-2000	Iluminancia en la tarea visual, obtenida de la iluminación general y de la iluminación complementaria
Realización de tareas de bajo contraste y tamaño muy reducido por un periodo prolongado	G	2000-3000-5000	
Realización de tareas muy exactas por un periodo muy prolongado	H	5000-7500-10,000	
Realización de tareas muy especiales de un contraste extremadamente bajo y de tamaño reducido	I	10,000-15,000-20,000	

Tabla 8. Clasificación genérica de tareas visuales según la IESNA.

Área o actividad	Categoría de iluminación	Área o actividad	Categoría de iluminación	Área o actividad	Categoría de iluminación
Aeropuertos		Bibliotecas activas		Ensamble difícil	F
Áreas de abstracción	C	Artículos pequeños	D	Ensamble muy difícil	G
Basilios	B	Artículos grandes	C	Ensamble exacto	H
Registro de documentos	E	Cocinas industriales	F	Laboratorios	
Registro de equipaje	D	Estacionamientos	B	Químicos	E
Salas de espera	C	Farmacias (general)	F	Microscopio	D
Archivos activos	D	Gimnasios (general)	D	Oficinas	
Archivos inactivos	B	Hospitales		Contabilidad	D
Auditores para asambleas	C	Consultorios	B	Conferencias o juntas	D
Auditores para exhibiciones	C	Cuartos de recuperación	B	Dibujo	F
Aulas de clase		Quincianos generales	F	Recepción	C
Generales	D	Hoteles		Generales y privadas	D
Dibujo	E	Cuartos, lectura	D	Restaurantes	
Laboratorios	F	Recepción	E	Caja	D
Bancos		Lobby, nivel general	C	Cocina	E
Lobby	C	Lobby, nivel para lectura	D	Comedor	B
Áreas de escritura	D	Corredores, escaleras, elevadores	C	Limpieza	D
Cajeros	E	Industrias		Sanitarios	
Bibliotecas		Ensamble simple	D	General	C
Bibliotecas inactivas	B	Ensamble mixtamente difícil	E	Tocador	D

Tabla 9. Resumen de la clasificación de tareas específicas que hace la IESNA.

Características del cuarto y de los ocupantes	factores de peso		
	(-1)	(0)	(+1)
Edad promedio de los ocupantes	menor de 40	de 40 a 55	mayor de 55
Reflectancias de las superficies del cuarto	mayor de 70%	de 30 a 70%	menor de 30%

Tabla 10. Factores de peso para las categorías A a C.

Características de la tarea y de los trabajadores	factores de peso		
	(-1)	(0)	(+1)
Edad promedio de los trabajadores	menor de 40	de 40 a 55	mayor de 55
Velocidad o exactitud	no importante	importante	crítica
Reflectancias del plano de trabajo	mayor de 70%	de 30 a 70%	menor de 30%

Tabla 11. Factores de peso para las categorías D a I.

Para los laboratorios, se considera que la principal tarea visual es la lectura en diversas formas: libros, cuadernos, instrumentos de medición, tableros, pizarrón. El peor de los casos es el de los instrumentos de lectura, ya que estos cuentan con números muy pequeños (6 puntos tipográficos, aproximadamente). Después de revisar la lista completa de tareas visuales específicas que propone la IESNA, se concluyó que la categoría correspondiente a las actividades de los laboratorios es la E.

Para escoger el valor de iluminancia se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Clasificación de la tarea visual: E (500-750-1,000 lx)
- Edad promedio de los usuarios: < 40 años (factor de peso = -1)
- Velocidad/exactitud de la tarea: no importante (factor de peso = -1)
- Reflectancia del fondo de la tarea: 30 a 70% (factor de peso = 0)

De acuerdo a lo ya explicado, el factor de peso total es igual a -2, por lo que se utilizará el valor de 500 lx para el diseño.

B. Método de cavidad zonal

Este método fue desarrollado por la Sección Británica de la Illuminating Engineering Society of North America como un medio para determinar el nivel promedio de iluminancia en espacios interiores.

El método se basa en la suposición de tres cavidades, como máximo, que componen el espacio a iluminar. Una de estas cavidades, la de piso, está determinada por el *plano de trabajo*, que es el área donde se realiza la tarea visual. Las tres cavidades son las siguientes (figura 9):

- Cavidad de techo: se considera desde el plano del luminario hasta el techo.
- Cavidad de cuarto: se considera desde el plano de trabajo hasta el plano del luminario.
- Cavidad de piso: se considera desde el plano de trabajo hasta el piso.

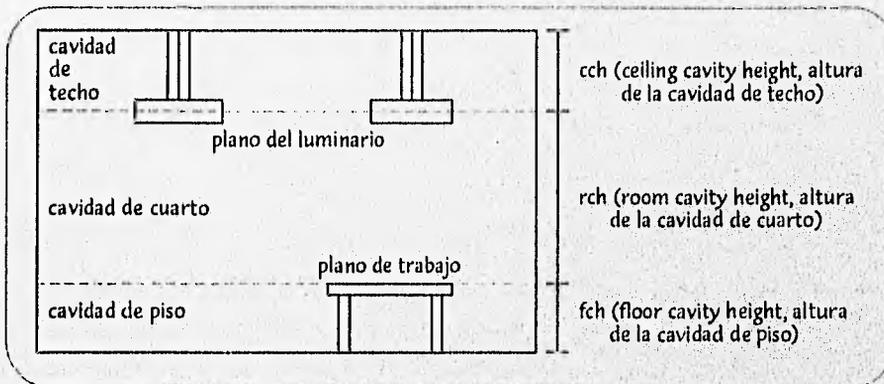


Figura 9. Cavidades que se forman en un cuarto.

El método supone que las superficies (paredes, techo, piso) son perpendiculares entre sí. En caso de que esto no sea así, se tendrá que modelar el cuarto para obtener su equivalente ortogonal.

Para la correcta aplicación de este método, es necesario tener la información real sobre el espacio a iluminar, los luminarios, los balastros, las lámparas y los usuarios. Cualquier suposición errónea puede tener consecuencias difíciles de corregir en etapas posteriores del proyecto.

La fórmula en la que se basan los cálculos es una variante de la definición de iluminancia. Se incluyen factores de utilización y pérdida de luz para adecuar los cálculos a las características de cada instalación y para compensar el envejecimiento y la depreciación por suciedad. Esta fórmula se muestra a continuación, junto con la explicación del significado de cada factor.

$$\text{LUX} = \frac{\text{LÚMENES} \times \text{CU} \times \text{FCCU} \times \text{LLD} \times \text{LDD} \times \text{RSDD} \times \text{BF}}{\text{ÁREA}}$$

donde:

Lux = es el nivel de iluminancia que se desea calcular

Lúmenes = representa el número total de lúmenes iniciales por luminario o por todos los luminarios

CU = coeficiente de utilización; este valor indica el porcentaje de la luz generada por la lámparas en un luminario que finalmente incide en el plano de trabajo. El CU se lee en las tablas que proporciona el fabricante para cada luminario, donde se tiene un valor de CU para cada combinación de reflectancias y relaciones de cavidad de cuarto

FCCU = Factor de Corrección del CU; cuando la reflectancia efectiva de la cavidad de piso es diferente de 20%, el CU deberá corregirse con los factores de la tabla 12; la tabla contiene valores de reflectancias efectivas de 0, 10 y 30%; cualquier otro valor puede ser interpolado

LLD = *lumen lamp depreciation* (depreciación de lúmenes de la lámpara); es un valor proporcionado por el fabricante que compensa la reducción de lúmenes emitidos por una lámpara conforme esta envejece

LDD = *luminaire dirt depreciation* (depreciación por suciedad en el luminario); este valor compensa las pérdidas de luz debidas a la acumulación de polvo en las lámparas y luminarios, depende del diseño del luminario y las condiciones ambientales; se determina mediante la ecuación $LDD = e^{-At^B}$ y la tabla 13; en la ecuación, el factor t es el tiempo que transcurre para que el luminario reciba mantenimiento, expresado en forma decimal

RSDD = *room surface dirt depreciation* (depreciación por suciedad en las superficies del cuarto); se utiliza para compensar la pérdida de reflectancia en las superficies del cuarto

debido a la suciedad; se determina mediante la tabla 14; para obtener este valor, primero se lee de la gráfica adjunta el valor denominado *expected dirt depreciation* en la curva correspondiente al tipo de ambiente y el tiempo de mantenimiento, y segundo, se utiliza este valor junto con la relación de cavidad de cuarto (RCR) y el tipo de distribución del luminario para determinar el factor RSDD de la tabla

BF = *ballast factor* (factor de balastro); es la relación entre los lúmenes emitidos por una lámpara cuando se opera con un balastro comercial y los lúmenes emitidos cuando la lámpara se opera con un balastro patrón

Área = área total a iluminar

Categoría de mantenimiento	B	A (tipo de ambiente)				
		Muy limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy sucio
I	0.69	0.038	0.071	0.111	0.162	0.301
II	0.62	0.033	0.068	0.102	0.147	0.188
III	0.7	0.079	0.106	0.143	0.184	0.236
IV	0.72	0.07	0.131	0.216	0.314	0.452
V	0.53	0.078	0.128	0.19	0.249	0.321
VI	0.88	0.076	0.145	0.218	0.184	0.396

Tabla 13. Constantes utilizadas para calcular el factor LDD.

Los factores anteriores deben obtenerse de la información que proporciona el fabricante o bien calcularse de acuerdo con las recomendaciones de la IESNA para asegurar la confiabilidad de los cálculos. En este trabajo se presentan las tablas necesarias para la obtención de reflectancias efectivas de cavidades de piso o techo, el factor de corrección del coeficiente de utilización, la depreciación por suciedad en el luminario y la depreciación por suciedad en las superficies del cuarto. Todas las tablas fueron tomadas de las publicaciones de la IESNA, así que cualquier duda puede aclararse en las mismas. Se incluyen además, copias de la información que proporcionan los fabricantes de las lámparas, los balastros y los luminarios, de donde se pueden obtener los factores restantes (lúmenes iniciales y su depreciación para cada lámpara, factor de balastro y coeficientes de utilización).

% Effective Ceiling Cavity Reflectance, ρ_{cc}	80				70				50				30				10			
	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
For 30 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 Per Cent = 1.00)																				
Room Cavity Ratio	1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008		
2	1.079	1.068	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006			
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005			
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004			
5	1.056	1.038	1.026	1.016	1.050	1.034	1.024	1.016	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004			
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003			
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003			
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003			
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002			
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002			
For 10 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 Per Cent = 1.00)																				
Room Cavity Ratio	1	.923	.929	.935	.940	.933	.939	.943	.948	.956	.960	.963	.973	.976	.979	.989	.991	.993		
2	.931	.942	.950	.958	.940	.949	.957	.963	.962	.968	.974	.976	.980	.985	.988	.991	.995			
3	.939	.951	.961	.969	.945	.957	.966	.973	.967	.975	.981	.976	.983	.988	.988	.992	.996			
4	.944	.958	.969	.978	.950	.963	.973	.980	.972	.980	.986	.980	.988	.991	.987	.992	.996			
5	.949	.964	.976	.983	.954	.968	.978	.985	.975	.983	.989	.981	.988	.993	.987	.992	.997			
6	.953	.969	.980	.988	.958	.972	.982	.989	.977	.985	.992	.982	.989	.995	.987	.993	.997			
7	.957	.973	.983	.991	.961	.975	.985	.991	.979	.987	.994	.983	.990	.996	.987	.993	.996			
8	.960	.978	.986	.993	.963	.977	.987	.993	.981	.988	.995	.984	.991	.997	.987	.994	.996			
9	.963	.978	.987	.994	.965	.979	.989	.994	.983	.990	.996	.985	.992	.998	.988	.994	.996			
10	.965	.980	.989	.995	.967	.981	.990	.995	.984	.991	.997	.986	.993	.998	.988	.994	.999			
For 0 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (20 Per Cent = 1.00)																				
Room Cavity Ratio	1	.859	.870	.879	.886	.873	.884	.893	.901	.916	.923	.929	.948	.954	.960	.979	.983	.987		
2	.871	.887	.903	.919	.886	.902	.916	.928	.926	.938	.949	.954	.963	.971	.978	.983	.991			
3	.882	.904	.915	.942	.898	.918	.934	.947	.938	.950	.964	.958	.969	.979	.978	.984	.993			
4	.893	.919	.941	.959	.908	.930	.948	.961	.945	.961	.974	.961	.974	.984	.975	.985	.994			
5	.903	.931	.953	.969	.914	.939	.958	.970	.951	.967	.980	.964	.977	.988	.975	.985	.995			
6	.911	.940	.961	.978	.920	.945	.965	.977	.955	.972	.985	.968	.979	.991	.975	.986	.996			
7	.917	.947	.967	.981	.924	.950	.970	.982	.959	.975	.988	.968	.981	.993	.975	.987	.997			
8	.922	.953	.971	.985	.929	.955	.975	.986	.963	.978	.991	.970	.983	.995	.976	.988	.998			
9	.928	.958	.975	.988	.933	.959	.980	.989	.966	.980	.993	.971	.985	.996	.976	.988	.998			
10	.933	.962	.979	.991	.937	.963	.983	.992	.969	.982	.995	.973	.987	.997	.977	.989	.999			

Tabla 12⁸. Factores de corrección de Coeficientes de Utilización.

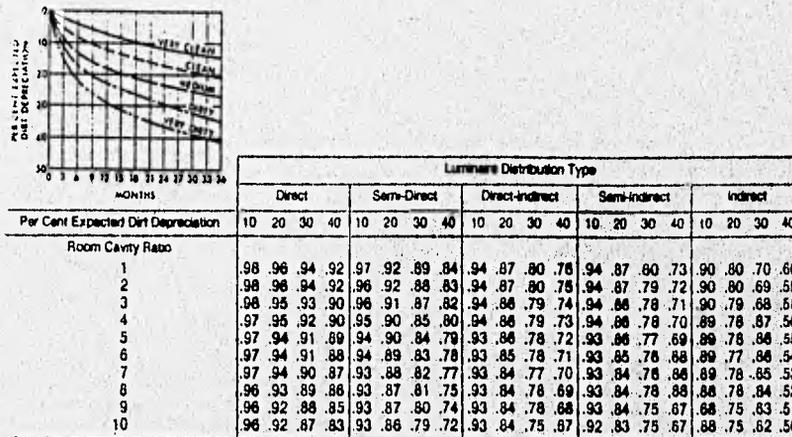


Tabla 14⁸. Factores de depreciación por suciedad en las superficies del cuarto (RSD).

C. Procedimiento de cálculo

Una vez que se cuenta con toda la información pertinente de las instalaciones (dimensiones, reflectancias, acabados) procedemos a modelar las tres cavidades del mismo. En el caso de los laboratorios, lo primero que tenemos que hacer es obtener el modelo ortogonal equivalente de las cúpulas, ya que las superficies no son perpendiculares entre sí.

Como ya fueron descritas, cada cúpula está compuesta por un domo insertado en el techo y paredes trapezoidales. Es aquí, en el techo donde comenzaremos por determinar las superficies equivalentes y sus reflectancias efectivas. Es importante aclarar que la reflectancia efectiva de una superficie o cavidad cualquiera es diferente, o no necesariamente igual, a la reflectancia real de la superficie. Esta diferencia se debe a la forma que pueda presentar dicha cavidad. En el caso de los domos, la reflectancia real es aproximadamente 20%, sin embargo, este porcentaje no representa al de la luz que sale del domo después de incidir en él, ya que por su forma se tienen más pérdidas por reflexión que en una superficie plana.

Como aclaración final, debemos decir que la reflectancia de las superficies de cemento fue estimada en 75%, considerando que se pinten dichas superficies de colores claros para tener mejores resultados. En caso de que las superficies no sean pintadas, los valores de iluminancia aquí calculados se verán disminuidos de 6.2 a 15.8% y la apariencia general de los laboratorios será menos agradable.

1. Cálculo de la reflectancia efectiva de la cúpula

a. Cálculo de la reflectancia ponderada del domo

La reflectancia a la que se hace referencia, es aquella que resulta de promediar de forma ponderada la reflectancia del cemento del domo y la reflectancia de los tragaluces. Los datos que necesitamos son los siguientes:

diámetro de la apertura del domo = 3.70 m

diámetro de cada tragaluz = 0.10 m

número total de tragaluces = 546

reflectancia del cemento (ρ_{cemento}) = 0.75

reflectancia del vidrio (ρ_{vidrio}) = 0.08

La reflectancia buscada se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_{\text{domo}} = \frac{(\text{área del cemento})(\rho_{\text{cemento}}) + (\text{área de los tragaluces})(\rho_{\text{vidrio}})}{\text{área total del domo}}$$

donde:

$$\text{área del cemento} = 17.21 \text{ m}^2$$

$$\text{área de los tragaluces} = 4.29 \text{ m}^2$$

$$\text{área total del domo} = 21.50 \text{ m}^2$$

sustituyendo los valores anteriores, tenemos:

$$\rho_{\text{domo}} = 0.62$$

b. Cálculo de la reflectancia efectiva del domo

Para calcular la reflectancia que exhibe esa superficie de 62% de reflectancia y de forma semiesférica, utilizamos la siguiente fórmula:

$$\rho_{\text{ef domo}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\text{área total del domo}}{\text{área de la apertura del domo}} \right) \left(\frac{1 - \rho_{\text{domo}}}{\rho_{\text{domo}}} \right)}$$

donde:

$$\text{área de la apertura del domo} = 10.75 \text{ m}^2$$

$$\text{área total del domo} = 21.50 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{domo}} = 0.62$$

sustituyendo valores, tenemos:

$$\rho_{\text{ef domo}} = 0.45$$

c. Cálculo de reflectancia ponderada del techo

Para este efecto, tenemos que promediar la reflectancia efectiva del domo con la de la superficie horizontal de forma cuadrada que se tiene como techo. De la misma forma que para la reflectancia ponderada del domo, la de techo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\rho_{\text{techo}} = \frac{(\text{área del cemento})(\rho_{\text{cemento}}) + (\text{área de la apertura del domo})(\rho_{\text{ef domo}})}{\text{área total del techo}}$$

donde:

$$\text{área del cemento} = 6.89 \text{ m}^2$$

$$\text{área total del techo} = 17.64 \text{ m}^2$$

sustituyendo valores, tenemos:

$$\rho_{\text{techo}} = 0.57$$

d. Cálculo de la reflectancia efectiva de la cúpula

La reflectancia efectiva de la cúpula es aquella que exhibe como cavidad, como conjunto del domo y las superficies de cemento. Para calcularla, utilizamos las mismas fórmulas que en los pasos anteriores. Primero, obtenemos la reflectancia ponderada de la cúpula, esto es, obtener un solo valor de reflectancia para las superficies, ya que se cuenta con dos valores, el de la reflectancia efectiva del techo y el de las paredes laterales. Como segundo paso, utilizamos la fórmula del inciso b.

$$\rho_{\text{ef cúpula}} = \frac{1}{1 + \left\{ \left(\frac{\text{área total de la cúpula}}{\text{área de la apertura de la cúpula}} \right) \left(\frac{1 - \rho_{\text{paredes}}}{\rho_{\text{paredes}}} \right) \right\}}$$

donde:

$$\text{área total de la cúpula} = 105.96 \text{ m}^2$$

$$\text{área de la apertura de la cúpula} = 92.16 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{paredes}} = 0.72$$

para los valores anteriores, tenemos:

$$\rho_{\text{ef cúpula}} = 0.69$$

2. Modelo ortogonal equivalente de la cúpula

Una vez que hemos determinado la reflectancia que exhibe cada cúpula, podemos obtener un techo de tipo ortogonal (paralelepípedo) de las dimensiones adecuadas y que se comporte de la misma forma que la cúpula. Como se puede ver en los cálculos de reflectancias efectivas de cavidades irregulares (domo y cúpula), los factores importantes son el área de la apertura, el área de la cavidad y la reflectancia de la misma. En nuestro caso, el área de la apertura permanece constante, el área de la cavidad estará determinada por la altura que le queramos dar a la misma y la reflectancia de las paredes será nuestra incógnita.

En otras palabras, cada cúpula puede ser transformada a un paralelepípedo de base cuadrada, 9.60 m por lado, y una altura igual a la de las cúpulas, 1.75 m. Esa nueva cavidad debe tener una reflectancia efectiva del 69%, para lo cual debemos despejar el valor de la reflectancia de la superficie (ρ_{techo}) de la siguiente fórmula:

$$\rho_{\text{ef techo}} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\text{área total de la cavidad de techo}}{\text{área de la apertura de la cavidad}} \left(\frac{1 - \rho_{\text{techo}}}{\rho_{\text{techo}}} \right) \right\}}$$

donde:

$$\text{área total de la cavidad de techo} = 159.36 \text{ m}^2$$

$$\text{área de la apertura de la cavidad} = 92.16 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{ef techo}} = 0.69$$

despejando el valor que nos interesa, tenemos:

$$\rho_{\text{techo}} = 0.79$$

Como podemos ver, el valor calculado es mayor al que en realidad se tendría en las superficies una vez que se pinten, sin embargo, este valor sólo nos indica la equivalencia entre cavidades y no debe ser considerado como real.

El modelo que buscamos se muestra en la figura 10, donde las cúpulas originales, ahora en líneas más delgadas, se sustituyen por los paralelepípedos que tienen las mismas dimensiones de las cúpulas pero con reflectancia del 79%.

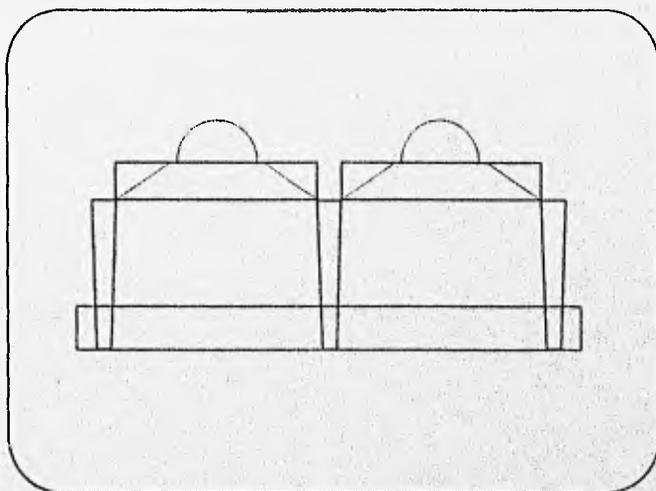


Figura 10. Modelo ortogonal de las cúpulas.

3. Determinación de las cavidades

a. Cavity de techo

La altura de la cavity de techo (h_{cc}) se definió en 1.75 metros, para optimizar el flujo luminoso de los luminarios. De esta forma, la luz que incide en el área de trabajo es mayor que si los luminarios estuvieran a una altura mayor. De acuerdo con las medidas de cada cúpula, su altura es de 1.75 metros, por lo que los luminarios quedarán al ras de la apertura de la cúpula (a 6.90 m sobre el suelo).

La reflectancia efectiva de la cavidad es de 0.69 (69%), sin embargo, considerando el resto de las superficies horizontales entre cúpula y cúpula y para simplificar el manejo de las tablas que haya que usar, se consideró que la reflectancia efectiva de la cavidad de techo (ρ_{cc}) es igual a 70%.

b. Cavidad de cuarto

Considerando que el plano de trabajo se fijó a 76 cm sobre el suelo y que la cavidad de techo es 1.75 metros, tenemos que la cavidad de cuarto es 6.14 m. Este valor se obtiene de la resta de la altura total de los laboratorios (8.65 m) y las dos cavidades restantes (piso y techo).

El siguiente paso, es el obtener la relación de cavidad de cuarto (RCR). Este valor nos indica de cierta forma la proporción de nuestro cuarto, que tan esbelto es respecto de la base (un cubo de escalera, por ejemplo) o que tan largo es respecto de la altura (un pasillo). Las tablas que se utilizan para determinar el coeficiente de utilización y otros valores están en función de la relación de cavidad de cuarto, que a su vez es función de la relación de las superficies horizontales y las verticales.

De acuerdo con la siguiente fórmula y las condiciones de los laboratorios, tenemos que la relación de cavidad de cuarto para los mismos es:

$$RCR = \frac{5(h_{cc})(\text{largo} + \text{ancho})}{(\text{largo} \times \text{ancho})}$$

donde:

$$h_{cc} = 6.14 \text{ m}$$

$$\text{largo} = 24.50 \text{ m}$$

$$\text{ancho} = 22.80 \text{ m}$$

sustituyendo valores, tenemos:

$$RCR = 2.6$$

Un segundo parámetro importante, es la determinación de la reflectancia de las paredes de la cavidad de cuarto. El hecho de que una parte de las paredes de la cavidad sea de ladrillos oscuros, otra sea el vacío (0% de reflectancia) y otro las columnas, demanda que se obtenga

un valor uniforme o ponderado. Para esto, recurriremos al mismo procedimiento que en casos anteriores, sumando el valor que se obtenga de la multiplicación de la reflectancia de cada porción por su área y dividiendo entre el total del área.

Debido a la heterogeneidad de las paredes, se obtuvo una reflectancia ponderada para cada una de las cuatro paredes y después se calculó un valor promedio. El valor obtenido de esta forma fue 10% ($\rho_w = 0.10$).

c. Cavidad de piso

De la misma forma que para la cavidad de techo, es necesario obtener la reflectancia efectiva de la cavidad de piso.

La altura de esta cavidad (h_{fc}) es de 0.76 metros, que es la altura a la que se definió el plano de trabajo. La reflectancia de las paredes de la cavidad es de 0.20 y la del piso 0.18. La presencia de tantos obstáculos imposibilita la tarea de obtener las reflectancias ponderadas como se hizo para la cavidad de cuarto, sin embargo, estos valores fueron estimados con la mayor precisión posible en 0.17 y 0.15 respectivamente.

La relación de cavidad de piso se obtiene con la siguiente fórmula:

$$RCR = \frac{5(h_{fc})(\text{largo} + \text{ancho})}{(\text{largo} \times \text{ancho})}$$

donde:

$h_{fc} = 0.76 \text{ m}$

$\text{largo} = 24.50 \text{ m}$

$\text{ancho} = 22.80 \text{ m}$

sustituyendo valores, tenemos:

$$RCR = 0.32$$

Con los valores anteriores, podemos obtener la reflectancia efectiva de la cavidad de piso (ρ_{fc}) en la tabla 15. El valor buscado es $\rho_{fc} = 0.16$.

4. Cálculo de iluminancia

Una vez que se tiene modelado el espacio a iluminar, podemos determinar los factores que se incluyen en la fórmula de iluminancia. Como se presentan dos sistemas de iluminación, es necesario determinar los factores de pérdida de luz incluidos para cada uno.

a. Sistema fluorescente

La información que necesitamos conocer para calcular la iluminancia que proporciona un cierto número de luminarios es la siguiente:

Número de lámparas por luminario = 8

Lúmenes iniciales = 2,400 lm

Factor de depreciación de lúmenes (LLD) = 0.90

Reflectancia efectiva de cavidad de techo (ρ_{ce}) = 0.70

Reflectancia de las paredes (ρ_w) = 0.10

Reflectancia efectiva de cavidad de piso (ρ_{fe}) = 0.16

Relación de cavidad de cuarto (RCR) = 2.6

Coefficiente de utilización (CU) = 0.59

Factor de corrección del CU (FCCU) = 1.0

Período de mantenimiento de luminarios (limpieza) = 6 meses

Categoría de mantenimiento = III

Tipo de ambiente = limpio

Depreciación por suciedad en el luminario (LDD) = 0.937

Período de mantenimiento de paredes (limpieza) = 12 meses

Tipo de distribución del luminario = directa

Depreciación por suciedad en las superficies del cuarto (RSDD) = 0.9774

Factor de balastro = 0.90

Área a iluminar (se considera el área bajo 4 cúpulas) = 441 m²

Los valores anteriores fueron proporcionados por el fabricante de cada equipo, como los factores de depreciación de lúmenes de la lámpara y el de balastro, o calculados de acuerdo con la metodología de la IESNA, como la depreciación por suciedad en los luminarios y en las paredes (tablas 13 y 14).

Con todos los valores anteriores, y aplicando la fórmula modificada para el cálculo de iluminancia, podemos determinar los luxes que se obtienen con 24 luminarios de este tipo:

$$\text{LUX} = \frac{(24 \times 8 \times 2,400) \times (0.59) \times (1.0) \times (0.90) \times (0.937) \times (0.9774) \times (0.90)}{441}$$

Realizando la operación anterior, obtenemos 457 luxes. Este valor es un promedio mínimo mantenido, esto es, el valor que se tendrá una vez que pasen 6 meses sin limpieza en los luminarios, 40% de la vida de las lámparas y doce meses sin limpieza en las paredes del cuarto. Obviamente, el valor inicial de iluminancia es mucho mayor, ya que los factores de depreciación desaparecen. El nivel inicial se calcula con los siguientes factores:

$$\text{LUX} = \frac{(24 \times 8 \times 2,400) \times (0.59) \times (1.0) \times (0.90)}{441}$$

De esta forma, el nivel de iluminancia inicial es 555 luxes.

b. Sistema de aditivos metálicos

La información que necesitamos para este sistema es la siguiente:

Número de lámparas por luminario = 1

Lúmenes iniciales = 36,000 lm

Factor de depreciación de lúmenes (LLD) = 0.75

Acabado de la lámpara = claro

Reflectancia efectiva de cavidad de techo (ρ_{cc}) = 0.70

Reflectancia de las paredes (ρ_w) = 0.10

Reflectancia efectiva de cavidad de piso (ρ_{fc}) = 0.16

Relación de cavidad de cuarto (RCR) = 2.6

Coefficiente de utilización (CU) = 0.684

Factor de corrección del CU (FCCU) = 1.0

Período de mantenimiento de luminarios (limpieza) = 6 meses

Categoría de mantenimiento = IV

Tipo de ambiente = limpio

Depreciación por suciedad en el luminario (LDD) = 0.924

Período de mantenimiento de paredes (limpieza) = 12 meses

Tipo de distribución del luminario = semidirecta

Depreciación por suciedad en las superficies del cuarto (RSDD) = 0.9554

Factor de balastro = 0.88

Área a iluminar (se considera el área bajo 4 cúpulas) = 441 m²

Al igual que para el sistema fluorescente, los valores anteriores fueron proporcionados por el fabricante de cada equipo o calculados de acuerdo con la metodología de la IESNA.

Sustituyendo los valores anteriores en la fórmula modificada para el cálculo de iluminancia, podemos determinar los luxes que se obtienen con 16 luminarios de este tipo:

$$\text{LUX} = \frac{(16 \times 1 \times 36,000) \times (0.684) \times (1.0) \times (0.75) \times (0.924) \times (0.9554) \times (0.88)}{441}$$

Realizando la operación anterior, obtenemos 521 luxes como promedio mínimo mantenido. El nivel inicial se calcula con los siguientes valores:

$$\text{LUX} = \frac{(16 \times 1 \times 36,000) \times (0.684) \times (1.0) \times (0.88)}{441}$$

Para este sistema, el nivel de iluminancia inicial es 786 luxes.

*V. Especificaciones de
los sistemas propuestos*

V. Especificaciones de los sistemas propuestos

En este capítulo se describe detalladamente a cada uno de los sistemas propuestos y se presenta una copia de toda la información técnica y comercial del equipo para su correcta adquisición.

Se presentan también los planos de la disposición de los luminarios.

A. Sistema fluorescente

1. Características técnicas

a. Luminarios

Los luminarios deberán ser marca Sporlite Incorporated, modelo SL8-PLT-32, para ocho lámparas fluorescentes compactas de 32 W cada una, base GX24q-3 y cuatro balastros electrónicos para operación en 127 V~, 60 Hz.

Los luminarios serán de tipo abierto en su parte inferior y el material del reflector será aluminio facetado. Como accesorios, cada luminario deberá estar provisto de un gancho para instalación suspendida y se deberá tener control individual para cada par de lámparas.

Los luminarios deberán cumplir con la fotometría que se incluye en las siguientes páginas.

En el momento de la compra, cada luminario deberá estar provisto de las ocho lámparas, los cuatro balastros y los accesorios descritos.

b. Balastros

Los balastros provistos en los luminarios deberán ser de tipo electrónico, para dos lámparas fluorescentes compactas de 32 W cada una, para operación en 127 V~ y 60 Hz. El factor de potencia deberá ser mayor a 0.90 y la distorsión armónica total menor a 10%.

La tensión que el balastro proporcione a la lámpara deberá ser 105 V-.

Si los balastos son de marca Robertson, el modelo adecuado es el RED2L10-120H. Otra marca recomendada es Advance, manufacturado por la Advance Transformer Company y distribuidos en México por Philips Mexicana, S.A. de C.V.

c. Lámparas

Las lámparas deberán ser fluorescentes compactas, de 32 W de potencia nominal, un flujo luminoso inicial de 2,400 lm, índice de rendimiento de color mayor o igual a 82 y temperatura de color igual a 4,100 K.

La vida nominal de las lámparas deberá ser mayor o igual a 10,000 horas, con una depreciación de la emisión lumínica menor o igual a 10% al 40% de la vida nominal.

Las lámparas deberán tener una amalgama que mantenga el flujo luminoso independientemente de la temperatura de operación.

La eficacia mínima de las lámparas deberá ser 75 lm/W.

La base de las lámparas deberá ser GX24q-3, con cuatro pines para uso con balastro electrónico y sin arrancador.

Las lámparas podrán ser marca Philips, modelo PL-T 32W/41/4p o marca General Electric, modelo F32TBX/SPX41/4P.

2. Copias de catálogos

Las copias que se presentan a continuación muestran los modelos de los equipos especificados, por lo que cualquier duda al respecto puede ser aclarada en estas hojas y, en caso de persistir alguna duda, pueden ser utilizadas como referencia en el momento de consultar al fabricante o distribuidor.

El orden que siguen las copias es: luminarios, balastos y lámparas.

LUMINAIRES

COMPACT FLUORESCENT INDUSTRIAL LUMINAIRES HI/LO BAY

Energy Efficient Compact Fluorescent Industrial Luminaires By Sportlite

These luminaires are becoming the preferred choice for replacement of HID and incandescent lighting in a wide variety of applications. How? Take a look at the most talked about reasons why lighting consultants and end-users choose Sportlite.

Sportlite gives you:

- From 45-80% energy savings. (Average savings, 53%-see chart)
- On/off control over individual tubes within a single luminaire. (Meets California Title 24)
- No Restrike. Instant on/off.
- A comfortable even light, a larger light spread, minimal shadowing and no stroboscopic effects.
- Excellent lumen maintenance. 90% efficiency over the life of the bulb.
- Total lighting control with a variety of sensor devices.
- Natural white light, 4100K Color Temperature. (3500K available)
- Perfect for virtually any installation. Mounting height from 12' to 40'. (16' to 25' ideal)
- 68 Lumens per watt.
- All Sportlite Fluorescent Luminaires are shipped with bulbs included.



SPORTLITE
INCORPORATED

Astonishing Performance



Tested by Lighting Sciences, Inc. Southfield, MI. Data on file

The above test was conducted in a dark room without any contribution from ambient light. Performance like this makes Sportlite Luminaires the ideal replacement for 400 watt HID fixtures, and in most applications an excellent replacement for 500 to 1000 watt incandescent fixtures.

Sportlite Fluorescent Luminaires Save Money, Save Energy

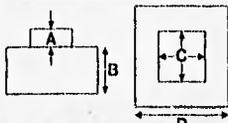
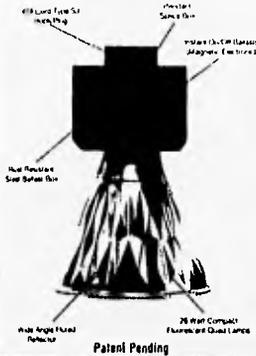


Based on 24 Hours Operation, 365 Days @ 10 Cents Per Kilowatt

As you can see in the chart above, Sportlite fixtures beat the old time favorites, saving up to 80% in energy costs. Sportlite fixtures operate cooler, giving lower air conditioning costs and lower ballast replacements.



SM6 & SL8



A	2.00 in 5.08 cm	E	19.00 in 48.26 cm
B	5.50 in 13.97 cm	F	14.00 in 35.56 cm
C	4.83 in 11.74 cm	G	23.13 in 53.34 cm
D	9.00 in 22.86 cm	H	21.00 in 53.34 cm

Delivered Fully Assembled with Lamps,
Saving Contractor Installation Expenses

SPECIFICATIONS

Lamps/Ballast

Sportlite SL8 177/208 watt Electronic or 250 watt Magnetic with Eight 26 watt High Lumen Compact Fluorescent Quad Lamps*

New 32 watt-2400 Lumen Lamps and Electronic Ballasts Available Soon

Sportlite SM6 135/156 watt Electronic or 180 watt Magnetic with Six 26 watt High Lumen Compact Fluorescent Quad Lamps*

- High/Low Bay Applications
- Natural 4100K Color Temperature (3500K Available)
- Color Rendering Index: 85 CRI
- 10,000 hr Lamp Life (3 hrs per Start)
- Initial Lumens: 1800 per Lamp
- Lamp Volts: 105V
- Base: G24d-3 Two Pin with Starter or G24q-3 Four Pin Electronic
- Instant On/Off Ballasts 26 watt, 120/277 volt, Suitable for 15 Degrees (F)
- No Restrike
- Highest Lumen Output at 30 to 40 Degrees
- High Bay 15' to 40' Installation Height (SL8)
- Low Bay 12' to 25' Installation Height (SM6)
- Individual Lamp Control (For Greater Savings)

Cabinet

- Rust Proof Paint Black Steel with Powder Coating
- Ceiling Mount via Pendant Splice Box
- Rigid Connection or Hook/Cord Connection
- Performance Designed Fluted Reflector

Electrical Characteristics

- Input Wattage: 177/208 (Elec.) 250 (Mag.) 135/156 (Elec.) 180 (Mag.)
SL8 SM6
- Primary Voltage: 120/277V
- Line Current: Varies According to Ballasts Used
- Cycles: 60Hz

Accessories

- Flexible Cord, 120V or 277V Type SJ with Male Plug
- Hook (for Hanging Installation)
- Wire Safety Cage

**Each 26 watt Lamp is Equivalent to One, 100 watt Incandescent Lamp.*

All Sportlite Fixtures Are UL Listed.
Various Operating Factors Can Cause Differences Between Laboratory Data and Field Measurement
Dimensions and Specifications on this Brochure are Based on the Most Current Available Data and are Subject to Change

Patent Pending



SPORTLITE, INC.
2231 E. Camelback Rd., Suite 207
Phoenix, Arizona 85016
Tel: (602) 468-6700 Fax: (602) 468-6210



SPORTLITE (CANADA)
3370 South Service Rd.
Burlington, Ontario L7N 3M6
Tel: (416) 637-1532 Fax: (416) 333-4070

THE PHENOMENON

SPORTLITE'S ENERGY EFFICIENT LUMINAIRES EVEN DISTRIBUTION OF LIGHT

Sportlite Compact Fluorescent Industrial Luminaires, An Unprecedented Achievement in Lighting.

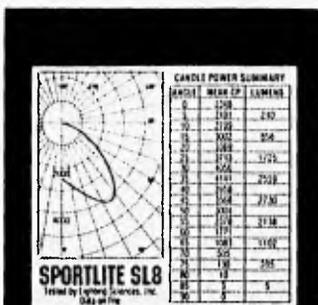
Sportlite SL8 and SM6 fixtures produce a volume of light superior to that of HID fixtures which use up to 4 times greater wattage. It's been proven at industrial installations throughout the United States and in the laboratory; foot-candle readings at various work plane heights, between 0' up to 10' remain virtually unchanged providing a comfortable, even illumination while saving 45 to 75% in energy costs.

Sportlite Luminaires Have Created a Phenomenon in Lighting

The likes of which has never been accomplished before. Engineers at Lighting Sciences, Inc. of Scottsdale, Arizona have written a report that explains and illustrates how Sportlite has been able to achieve what many have said can't be done.

This Phenomenon

Which seems to defy the inverse square law, is the result of two design attributes: fixture configuration and fixture placement. The critical positioning of



SPORTLITE ENERGY EFFICIENT LUMINAIRES



CONVENTIONAL HID

Patent Pending



SPORTLITE
INCORPORATED

multiple lamps within the wide angle fluted reflector produces a high volume of light with an expansive broadcast pattern.

Judicious Placement

The judicious placement of these fixtures creates overlapping patterns of light (see illustration) and lumen saturation free from shadows and "hot spots". Our photometrics indicate an effective space/mounting height (S/MH) criteria of approximately 2.0. We supersede this criteria and recommend a mounting pattern that does not exceed 20' on center (OC) spacings between fixtures. Consequently, footcandle readings at any single point in the work plane computational area remain consistent due to lumen contributions from a multitude of fixtures.

Tests are conclusive Sportlite Compact Fluorescent Industrial

Luminaires provide greater lumen overlap, resulting in excellent foot-candle ratings and a more uniform light distribution than HID fixtures which use up to 4 times greater wattage. Additionally, Sportlite fixtures do not have the color shift problems typical of HID fixtures.

THE SPORTLITE FIXTURE PRODUCES A DISTRIBUTION OF LIGHT WHICH IS HIGHLY EFFECTIVE FOR THE LIGHTING OF LARGE AREAS

VERTICAL FOOTCANDLES

Lighting designers pay considerable attention to levels of horizontal footcandles, often not taking in account that objects being lighted may be in a vertical plane. For example, in warehouse and supermarkets, most objects to be seen are vertical. In a sports arena, a moving ball may be seen from the side and thus the light levels in a generally vertical plane are very important.

Figure #1 illustrates a vertical stack of shelves lighted by the Sportlite design. It can be seen that the vertical surfaces will be well lighted. By comparison, figure #2 shows a similar situation



with a typical metal halide system—most of the light is projected onto the floor but little strikes the vertical surfaces. In comparison to conventional lighting, therefore, the Sportlite system can produce

a higher ratio of vertical to horizontal illuminance, giving improved overall visibility where vertical surfaces are important.

It is apparent therefore that there are numerous features of the Sportlite system—not just its low energy and high efficiency which are significant advantages. Both lighting performance and increased safety are provided by this unique approach to lighting.

APPLICATIONS

Foundries
Warehouses
Industrial Facilities
Generating Stations

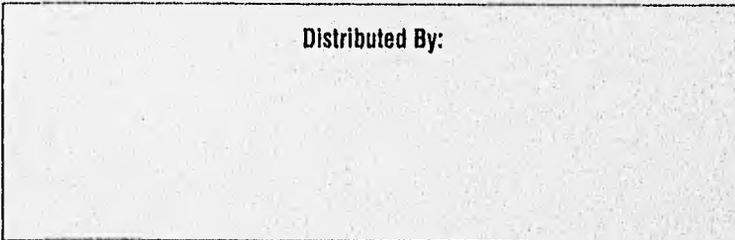
Manufacturing Plants
Pharmaceutical Firms
Schools/Gymnasiums
Food Handling Areas

Parking Garages
Assembly Halls
Printing Plants
Retail Centers

Tennis Courts
Terminals

Patent Pending

Distributed By:

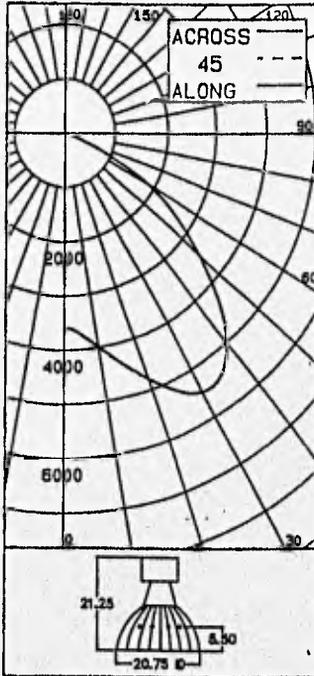




7830 East Evans Road
 Scottsdale, Arizona U.S.A. 85260
 (602) 991-9260 • Fax (602) 991-0375

CERTIFIED TEST REPORT NO. LSI11703
 COMPUTED BY LSI PROGRAM **TEST-LITE**

SPORTLITE, INC. CAT.# SL8 COMPACT FLUORESCENT INDUSTRIAL LUMINAIRE
 ROUND ALUMINUM REFLECTOR WITH OPEN BOTTOM
 EIGHT PL-T 32W/30/4P COMPACT FLUORESCENT LAMPS. LUMEN RATING = 19200 LMS.
 FOUR ROBERTSON RER2L-T8-277H BALLASTS OPERATING AT 277 VAC & 249.0 WATTS



CANDLEPOWER SUMMARY

ANGLE	MEAN CP	LUMENS
0.	3584	
5	3714	370
10	3992	
15	4366	1253
20	4799	
25	5209	2407
30	5475	
35	5424	3354
40	5014	
45	4317	3293
50	3447	
55	2622	2344
60	1854	
65	989	1000
70	288	
75	21	72
80	6	
85	2	2
90	0	

ZONAL LUMENS AND PERCENTAGES

ZONE	LUMENS	% LAMP	% LUMINAIRE
0-30	4030	20.99	28.59
0-40	7384	38.46	52.39
0-60	13022	67.82	92.38
0-90	14096	73.42	100.00
40-90	6711	34.96	47.61
60-90	1074	5.59	7.62
90-180	0	.00	.00
0-180	14096	73.42	100.00

** EFFICIENCY = 73.4% **

LUMINANCE SUMMARY-CD. / SQ. M.

S/MH = 1.9
 SC = 1.7

ANGLE	MEAN CD/SQ M
45	28091
55	21029
65	10767
75	372
85	85

CERTIFIED BY:

James E. Wick III

DATE:
 JAN 24, 1994

PREPARED FOR:
 SPORTLITE, INC.
 PHOENIX, AZ

TESTED ACCORDING TO IES PROCEDURES. TEST DISTANCE EXCEEDS FIVE
 TIMES THE GREATEST LUMINOUS OPENING OF LUMINAIRE.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

LIGHTING SCIENCES, INC.
7830 EAST EVANS ROAD
SCOTTSDALE, ARIZONA, USA 85260-3412

CERTIFIED TEST REPORT NO. LSI11703
COMPUTED BY LSI PROGRAM **TEST-LITE**

SPORTLITE, INC. CAT.# SL8 COMPACT FLUORESCENT INDUSTRIAL LUMINAIRE
ROUND ALUMINUM REFLECTOR WITH OPEN BOTTOM
EIGHT PL-T 32W/30/4P COMPACT FLUORESCENT LAMPS. LUMEN RATING = 19200 LMS.
FOUR ROBERTSON RER2L-T8-277H BALLASTS OPERATING AT 277 VAC & 249.0 WATTS

CANDLEPOWER DATA
IN 2.5 DEGREE STEPS

ANGLE	CANDLEPOWER	LUMENS
.0	3584	
2.5	3621	
5.0	3714	370
7.5	3839	
10.0	3992	
12.5	4166	
15.0	4366	1253
17.5	4581	
20.0	4799	
22.5	5011	
25.0	5209	2407
27.5	5375	
30.0	5475	
32.5	5495	
35.0	5424	3354
37.5	5263	
40.0	5014	
42.5	4694	
45.0	4317	3293
47.5	3891	
50.0	3447	
52.5	3021	
55.0	2622	2344
57.5	2241	
60.0	1854	
62.5	1422	
65.0	989	1000
67.5	599	
70.0	288	
72.5	100	
75.0	21	72
77.5	10	
80.0	6	
82.5	3	
85.0	2	2
87.5	1	
90.0	0	

LIGHTING SCIENCES, INC.
7830 EAST EVANS ROAD
SCOTTSDALE, ARIZONA, USA 85260-3412

CERTIFIED TEST REPORT NO. LSI11703
COMPUTED BY LSI PROGRAM **TEST-LITE**

SPORTLITE, INC. CAT.# SL8 COMPACT FLUORESCENT INDUSTRIAL LUMINAIRE
ROUND ALUMINUM REFLECTOR WITH OPEN BOTTOM
EIGHT PL-T 32W/30/4P COMPACT FLUORESCENT LAMPS. LUMEN RATING = 19200 LMS.
FOUR ROBERTSON RER2L-T8-277H BALLASTS OPERATING AT 277 VAC & 249.0 WATTS

AVERAGE LUMINANCE DATA

CD. / SQ. M.	(FOOTLAMBERTS)
ANGLE	LUMINANCE
0	16426 (4794)
30	28976 (8457)
40	30002 (8756)
45	28091 (8198)
50	24581 (7174)
55	21029 (6137)
60	16998 (4961)
65	10767 (3142)
70	3863 (1127)
75	372 (108)
80	156 (45)
85	85 (24)

DETERMINED IN ACCORDANCE WITH CURRENT IES PUBLISHED PROCEDURES

LIGHTING SCIENCES, INC.
 7030 EAST EVANS ROAD
 SCOTTSDALE, ARIZONA, USA 85260-3412

CERTIFIED TEST REPORT NO. LSI11703
 COMPUTED BY LSI PROGRAM **TEST-LITE**

SPORTLITE, INC. CAT.# 9L8 COMPACT FLUORESCENT INDUSTRIAL LUMINAIRE
 ROUND ALUMINUM REFLECTOR WITH OPEN BOTTOM
 EIGHT PL-T 32W/30/4P COMPACT FLUORESCENT LAMPS. LUMEN RATING = 19200 LMS.
 FOUR ROBERTSON RER2L-T8-277H BALLASTS OPERATING AT 277 VAC & 249.0 WATTS

COEFFICIENTS OF UTILIZATION

ZONAL CAVITY METHOD

EFFECTIVE FLOOR CAVITY REFLECTANCE = .20

CC WALL	80				70				50				30				10				0
	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCR																					
0	.87	.87	.87	.87	.85	.85	.85	.85	.82	.82	.82	.78	.78	.78	.75	.75	.75	.73			
1	.82	.79	.77	.75	.80	.78	.75	.73	.75	.73	.71	.72	.70	.69	.69	.68	.67	.66			
2	.76	.72	.68	.65	.75	.70	.67	.64	.68	.65	.62	.66	.63	.61	.64	.62	.60	.58			
3	.70	.64	.59	.56	.69	.63	.59	.55	.61	.57	.54	.59	.56	.53	.58	.55	.53	.51			
4	.65	.58	.53	.49	.64	.57	.52	.48	.55	.51	.48	.54	.50	.47	.52	.49	.46	.45			
5	.60	.52	.46	.42	.59	.51	.46	.42	.50	.45	.41	.48	.44	.41	.47	.44	.41	.39			
6	.55	.47	.41	.37	.54	.46	.40	.36	.45	.40	.36	.43	.39	.36	.42	.38	.35	.34			
7	.51	.41	.35	.31	.50	.41	.35	.31	.40	.35	.31	.39	.34	.31	.38	.34	.30	.29			
8	.47	.37	.31	.27	.46	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.25			
9	.43	.34	.28	.24	.42	.33	.27	.24	.32	.27	.23	.31	.27	.23	.31	.26	.23	.22			
10	.39	.30	.24	.20	.39	.30	.24	.20	.29	.24	.20	.28	.23	.20	.28	.23	.20	.19			

DETERMINED IN ACCORDANCE WITH CURRENT IES PUBLISHED PROCEDURES
 LUMINAIRE INPUT WATTS = 249.0

LABORATORY RESULTS MAY NOT BE REPRESENTATIVE OF FIELD PERFORMANCE.

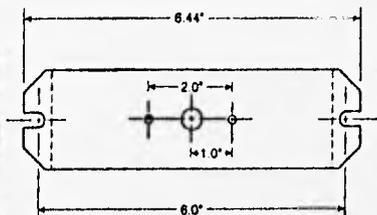
BALLAST FACTORS HAVE NOT BEEN APPLIED.



Robertson

Product Information

D10-Series Electronic Ballasts



D10-can bottom view (V4)



D10-can side view (V4)
Shown with optional mounting studs.



D10-can end view (V4)

Drawing shows Version 4 - Studs and leads out cover.

F E A T U R E S

- One and two lamp ballasts available in models for twin tube, quad tube, triple tube (PL-T, T/E, TBX), 2-D, long twin tube and T8 lamps.
- Reduced size (available with studs).
- Built-in protection circuit to protect against lamp failure and lamp removal. Sensing circuit will shut down ballast.
- Reduced component count increases reliability and efficiency.
- Proper starting (filament pre-heating) and proper operation provides maximum lamp life.
- Design tested for fault tolerance and long life.
- Metal case and potting offers cool operation (long component life) and rugged durability.
- Three year warranty.
- UL Listed and CSA Certified (Some models pending).
- Type 1 Outdoor with NO PCBs.

P E R F O R M A N C E

- High Power Quality (THD < 10%, Power Factor > .99).
- Lamp current crest factor less than 1.45.
- Meets or exceeds IEEE and FCC standards for electromagnetic and radio interference suppression and line transient protection.
- Silent operation (Sound rated A+).
- No visible flicker (<2%).
- Thermally Protected.

N O T E S / O P T I O N S

- Custom lead lengths available.
- D-Series available with studs, and leads out bottom of can.
- For information and technical specifications, contact Robertson's Sales Department.

D10-92-95

ROBERTSON TRANSFORMER COMPANY



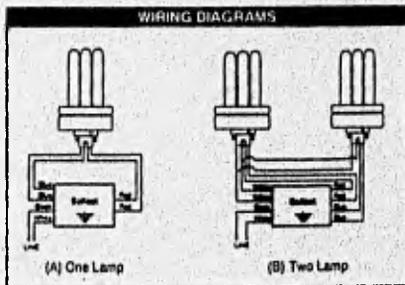
Product Information

D10-Series Electronic Ballasts

TYPE	NOMINAL WATTS	NUMBER OF LAMPS	VOLTAGE 50/60HZ	CATALOG NUMBER	MAX INPUT WATTS	MAX LINE CURRENT (AMPS)	POWER FACTOR	% TOTAL HARMONIC DISTORTION	MINIMUM* STARTING TEMP.
F13QT4 OR F13TT4 OR F13TR4	13	1	120	RED1110-120R	14	130	>.99	<10%	0°F
277			RED1110-277RR	14	060	>.99	<10%	0°F	
347			RED1110-347RR	14	050	>.99	<10%	0°F	
120		RED2110-120R	27	260	>.99	<10%	0°F		
277		RED2110-277RR	27	110	>.99	<10%	0°F		
347		RED2110-347RR	27	082	>.99	<10%	0°F		
F18QT4 OR F18TR4	18	1	120	RED1110-120R	20	175	>.99	<10%	0°F
277			RED1110-277R	20	080	>.99	<10%	0°F	
347			RED1110-347R	20	060	>.99	<10%	0°F	
120		RED2110-120R	35	310	>.99	<10%	0°F		
277		RED2110-277R	35	135	>.99	<10%	0°F		
347		RED2110-347R	35	110	>.99	<10%	0°F		
F18TT5 OR F26QT4	18/26	1	120	RED1110-120	20/25	220	>.99	<10%	0°F
277			RED1110-277	20/27	100	>.99	<10%	0°F	
347			RED1110-347	20/27	080	>.99	<10%	0°F	
120		RED2110-120	40/47	410	>.99	<10%	0°F		
277		RED2110-277	40/47	180	>.99	<10%	0°F		
347		RED2110-347	40/47	150	>.99	<10%	0°F		
F26TR4 OR F32TR4	26/32	1	120	RED1110-120H	28/33	300	>.99	<10%	0°F
277			RED1110-277H	28/33	120	>.99	<10%	0°F	
347			RED1110-347H	28/33	100	>.99	<10%	0°F	
120		RED2110-120H	57/67	590	>.99	<10%	0°F		
277		RED2110-277H	57/67	260	>.99	<10%	0°F		
347		RED2110-347H	57/67	210	>.99	<10%	0°F		

Lamp code
 TT = Twin Tube
 Q = Quad Tube
 TR = Triple Tube (PL-T, Deluxe T/E, Triple Bias)

* Minimum starting temperature is lamp characteristic dependent, and may be lower than 0°F.



Philips Lighting

Product Information

NEW

PL-T 4 Pin Compact Fluorescent Lamps



Definition

A new family of 4 pin compact fluorescent lamps which provide the energy efficiency, long life and cost savings of compact fluorescent technology but with shorter lengths and higher lumen packages than existing compact fluorescent designs, and amalgam technology for superior performance.

Description

- The PL-T 4 pin lamps are designed for operation on electronic ballasts with both lamps interchangeable on the same ballast.
- The lamp base of the PL-T has the new designation GX24q, but the fitting system is equal to that of the PL-C 4 pin base (G24q). Therefore, the same lampholder can usually be applied. The additional "X" in the designation denotes the broader upper portion of the base.
- PL-T utilizes a combination of bends and bridges for 25% shorter length compared with PL-C (cluster) lamps.
- The lamp bases for PL-T and PL-C 4 pin lamps will be approximately 1/3 inch (8mm) shorter than the PL-C 2 pin lamp base (G24d). This change for the PL-C 4 pin lamp becomes effective in June 1993.

Features and Benefits

Features

- Fluorescent
- Long Life (10,000 hours)
- Trichromatic Phosphors
- Compact Design Utilizing Bent and Bridged Tubes
- Electronic Ballast
- Amalgam Technology

Benefits

- High efficacy vs. incandescent
- Lower operating cost
- Lower maintenance costs
- Excellent color rendering (82 CRI)
- Higher efficacy equals lower operating costs
- High fixture efficiency with good shielding
- Less obtrusive luminaires
- Application versatility
- Lower operating costs
- Lamps are interchangeable
- Flicker-free starting
- High light output under widely varying conditions: >90% of rated lumens in ambient temperatures from 23°F to 130°F

Applications

- Downlights for general illumination
- Wall washers for accent and display lighting

Ideal for

- | | |
|------------------|-------------|
| Offices | Retail |
| Conference Rooms | Hotel/Motel |
| Corridors | |



PHILIPS

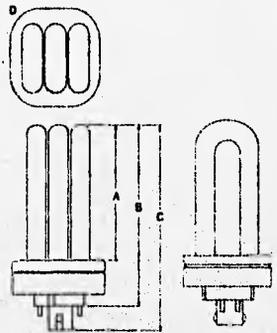
Philips Lighting Company
 200 Franklin Square Drive • P. O. Box 6800
 Somerset, NJ 08875-6800
 A Division of North American Philips Corporation
 Printed in USA 4/93 P.3541

Philips Lighting
 601 Milner Avenue
 Scarborough, Ontario M1B 1M8
 A Division of Philips Electronics Limited

PL-T Compact Fluorescent Lamps
 Electrical, Technical and Ordering Data (Subject to change without notice)

Product Number	Ordering Code	Nominal Watts	Bulb	Base	Std Pkg Qty	Lamp Current (Amps)	Lamp Voltage (V)	Overall Length (Inches)	Color Temp (Kelvin)	Color Rendering (CRI)	Rated Avg Life (Hours)	Approx Initial Lumens	Design Lumens
34741-9	PL-T 26W/30/4p	26	SLS	GX24q-3	24	0.320	78	4.9	3000K	87	10,000	1800	1440
34742-7	PL-T 26W/35/4p	26	SLS	GX24q-3	24	0.320	78	4.9	3500K	82	10,000	1800	1440
34743-5	PL-T 32W/30/4p	32	SLS	GX24q-3	24	0.320	100	5.5	3000K	82	10,000	2400	1920
34744-3	PL-T 32W/35/4p	32	SLS	GX24q-3	24	0.320	100	5.5	3500K	87	10,000	2400	1920

Average life under specified test conditions, with lamps turned off and restarted no more than once every 3 operating hours.
 Design lumens are approximate lumens at 40% of rated average life (4000 hours).



PL-T Lamp Specification
 Lamps shall be Philips PL-T series compact fluorescent having

- Three parallel, banded tubes bridged together
- Four-pin base GX24q-3
- Amalgam technology
- 10,000 hours rated average life
- Color rendering index of 82
- Color temperature of _____ (3000K or 3500K)
- Nominal Wattage of _____ (26 or 32 watts)
- Nominal Length of _____ (4.9" or 5.5")

Lamp Dimensions

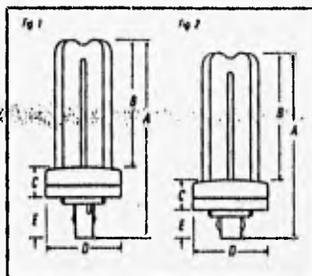
	PL-T 26W/4P		PL-T 32W/4P	
	inches	(mm)	inches	(mm)
A	3.4	86	4.0	101
B	4.3	110	4.9	125
C	4.9	125	5.5	140
D	2.4	60	2.4	60

Philips Lighting

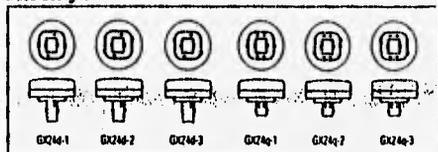


PHILIPS

Plug-In Lamps Triple Biac Specifications



Base Designs



Nominal Lamp Dimensions - Inches (mm)

2-Pin Lamp		A	B	C	D	E
F131BX	1	4.5(114)	2.6(65)	0.179	2.3(58)	1.1(28)
F161BX	1	4.8(124)	3.0(75)	0.179	2.3(58)	1.1(28)
F261BX	1	5.2(131)	3.3(83)	0.179	2.3(58)	1.1(28)
4-Pin Lamp		A	B	C	D	E
F131BX	2	4.2(106)	2.6(65)	0.179	2.3(58)	0.7(17)
F161BX	2	4.8(124)	3.0(75)	0.179	2.3(58)	0.7(17)
F261BX	2	5.2(131)	3.3(83)	0.179	2.3(58)	0.7(17)
F327BX	2	5.8(146)	4.1(102)	0.179	2.3(58)	0.7(17)

Nominal Watt	Volts	Amps	Nominal Length in. (mm)	Product Order Code	Description	Case Quantity	Rated Life Hours	Nominal Lumens ^{1,2} Initial	Mean Temp. °K	Color CRI	Min. Start Temp. °F (°C)	UPC Code 6-42168-
-----------------	-------	------	-------------------------------	--------------------------	-------------	------------------	------------------------	---	------------------	--------------	--------------------------------	-------------------------

T4 Diameter 1/2" (13 mm) - Biac™ T, GX24-1-2-3 2 Pin Base Internal Starter Fig. 1

13	91	0.175	4.5(114)	GX24-1	12787	F131BX/SP127/021	6	10000	840	710	2700	82	57°F (-15)	12787-4
13	91	0.175	4.5(114)	GX24-1	12401**	F131BX/SP130/030	6	10000	840	710	2000	82	57°F (-15)	12401-2
13	91	0.175	4.5(114)	GX24-1	12402**	F131BX/SP130/035	6	10000	840	710	2500	82	57°F (-15)	12402-9
13	91	0.175	4.5(114)	GX24-1	12788	F131BX/SP141/040	6	10000	840	710	4100	82	57°F (-15)	12788-1
13	91	0.175	4.5(114)	GX24-1	13027	F131BX/SP185/085	6	10000	840	710	6500	82	57°F (-15)	13027-1
18	100	0.220	4.9(124)	GX24-2	12789	F161BX/SP127/027	6	10000	1120	950	2700	82	15°F (-9)	12789-8
18	100	0.220	4.9(124)	GX24-2	12444**	F161BX/SP130/030	6	10000	1120	950	3000	82	15°F (-9)	12444-3
18	100	0.220	4.9(124)	GX24-2	12445**	F161BX/SP130/035	6	10000	1120	950	2500	82	15°F (-9)	12445-0
18	100	0.220	4.9(124)	GX24-2	12791	F161BX/SP141/040	6	10000	1120	950	4100	82	15°F (-9)	12791-7
18	100	0.220	4.9(124)	GX24-2	13032	F161BX/SP185/085	6	10000	1120	950	6500	82	15°F (-9)	13032-2
26	105	0.325	5.1(129)	GX24-3	12791*	F261BX/SP127/027	6	10000	1660	1410	2700	82	15°F (-9)	12791-8
26	105	0.325	5.1(129)	GX24-3	12446**	F261BX/SP130/030	6	10000	1660	1410	3000	82	15°F (-9)	12446-7
26	105	0.325	5.1(129)	GX24-3	12447**	F261BX/SP130/035	6	10000	1660	1410	2500	82	15°F (-9)	12447-4
26	105	0.325	5.1(129)	GX24-3	12795*	F261BX/SP141/040	6	10000	1660	1410	4100	82	15°F (-9)	12795-5
26	105	0.325	5.1(129)	GX24-3	13030**	F261BX/SP185/085	6	10000	1660	1410	6500	82	15°F (-9)	13030-7

T4 Diameter 1/2" (13 mm) - Biac™ T/E, GX24q-1-2-3 4 Pin Base Without Internal Starter Fig. 2

13	91	0.175	4.2(106)	GX24q-1	91982	F131BX/SP127/027	6	10000	840	710	2700	82	37°F (3)	11982-5
13	91	0.175	4.2(106)	GX24q-1	11863**	F131BX/SP130/030	6	10000	840	710	2000	82	37°F (3)	11983-2
13	91	0.175	4.2(106)	GX24q-1	11984**	F131BX/SP130/035	6	10000	840	710	2500	82	37°F (3)	11984-0
13	91	0.175	4.2(106)	GX24q-1	12791*	F131BX/SP141/040	6	10000	840	710	4100	82	37°F (3)	12791-2
18	100	0.220	4.9(124)	GX24q-2	10489	F161BX/SP127/027	6	10000	1120	950	2700	82	37°F (3)	10489-4
18	100	0.220	4.9(124)	GX24q-2	11988**	F161BX/SP130/030	6	10000	1120	950	3000	82	37°F (3)	11988-3
18	100	0.220	4.9(124)	GX24q-2	11989**	F161BX/SP130/035	6	10000	1120	950	2500	82	37°F (3)	11989-0
18	100	0.220	4.9(124)	GX24q-2	12792*	F161BX/SP141/040	6	10000	1120	950	4100	82	37°F (3)	12792-9
26	105	0.325	5.2(131)	GX24q-3	12778	F261BX/SP127/027	6	10000	1660	1410	2700	82	37°F (3)	12778-8
26	105	0.325	5.2(131)	GX24q-3	12448**	F261BX/SP130/030	6	10000	1660	1410	3000	82	37°F (3)	12448-5
26	105	0.325	5.2(131)	GX24q-3	12449**	F261BX/SP130/035	6	10000	1660	1410	2500	82	37°F (3)	12449-1
26	105	0.325	5.2(131)	GX24q-3	12793*	F261BX/SP141/040	6	10000	1660	1410	4100	82	37°F (3)	12793-6
32	105	0.325	5.0(126)	GX24q-3	12791*	F327BX/SP127/027	6	10000	2200	1870	2700	82	37°F (3)	12791-3
32	105	0.325	5.0(126)	GX24q-3	12449**	F327BX/SP130/030	6	10000	2200	1870	3000	82	37°F (3)	12449-8
32	105	0.325	5.0(126)	GX24q-3	12450**	F327BX/SP130/035	6	10000	2200	1870	2500	82	37°F (3)	12450-4
32	105	0.325	5.0(126)	GX24q-3	12792*	F327BX/SP141/040	6	10000	2200	1870	4100	82	37°F (3)	12792-0

Based on IESNA Megalux 24/071
 1. 4 Pin base minimum starting temperatures as a function of the ballast. Megalux ballast minimums are 50°F (10°C); electronic ballast minimums can be as low as -20°F (-28°C)
 2. Fluorescence lamp lumens are given during its useful life
 * As available in quarter 1993
 ** As available in quarter 1995
 *** As available in quarter 1995

3. Mantenimiento

El mantenimiento que requiere este sistema consiste en tres acciones principales. La primera, es la limpieza semestral de los luminarios. La segunda, es la limpieza anual de las paredes de los laboratorios, y en caso de así requerirlo, repintado de las mismas. Por último, se sugiere que el reemplazo de las lámparas sea grupal, cada 13 semestres (8,000 horas de uso).

4. Planos de la disposición de los luminarios

A continuación se presentan dos planos de la disposición de los luminarios, uno para el Laboratorio de Eléctrica y otro para los tres laboratorios restantes (figuras 11 y 12). En todos los casos, existen seis luminarios por cúpula, ordenados en dos filas de tres luminarios cada una y suspendidos de tal forma que el luminario queda al ras de la apertura de la cúpula.

La única variante que existe entre el Laboratorio de Eléctrica y los tres restantes es la orientación de las filas de luminarios en las cúpulas que están junto a las ventanas. Esto se debe a la forma en que está distribuido el Laboratorio de Eléctrica, de tal forma que con el arreglo propuesto de los luminarios se mejorará la uniformidad y se proporcionará luz a los puntos donde se realizan la mayoría de las actividades.

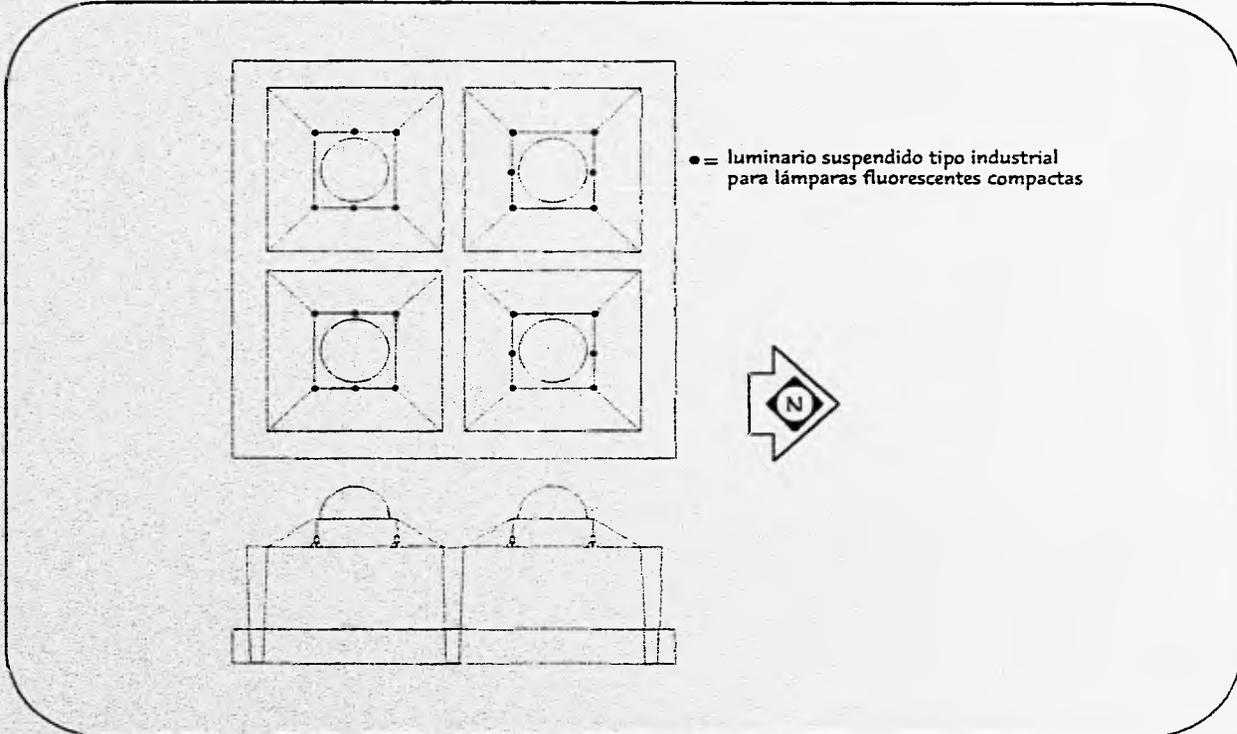


Figura 11. Disposición de los luminarios Sporlite en el Laboratorio de Eléctrica.

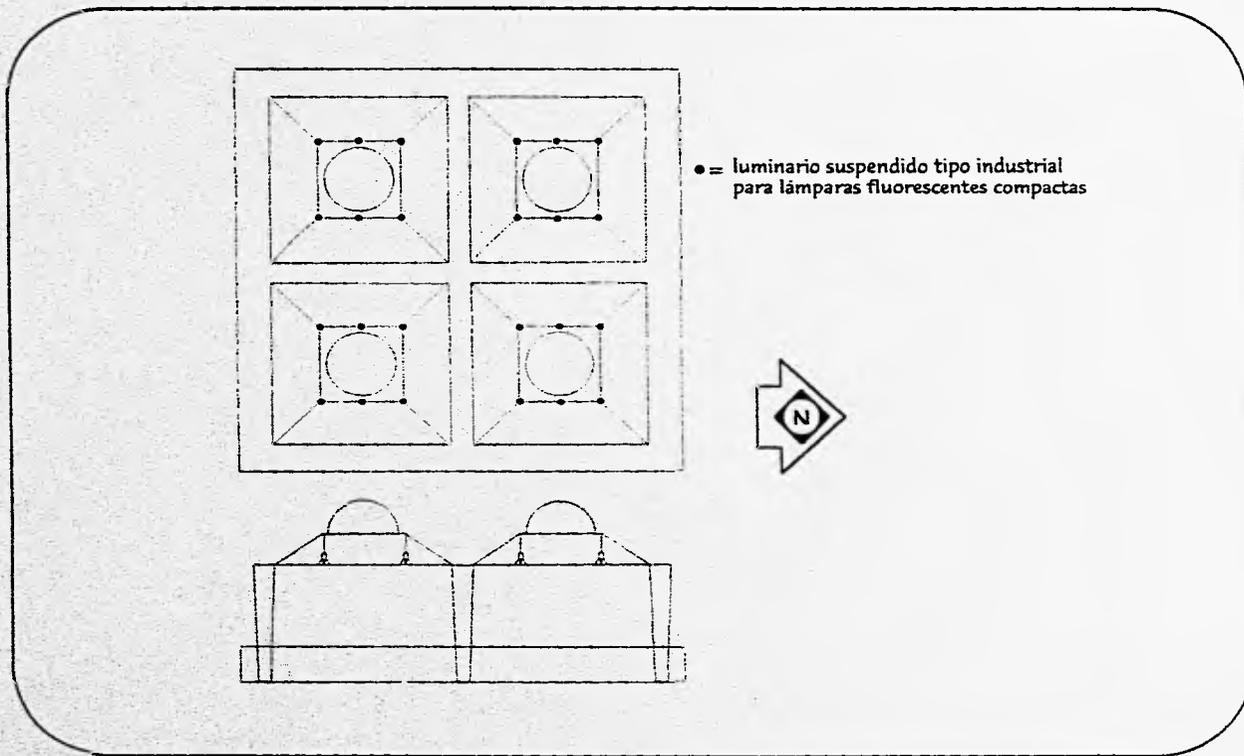


Figura 12. Disposición de los luminarios Sporlite en los Laboratorios de Térmica, Hidráulica y Estructuras.

B. Sistema de aditivos metálicos

1. Características técnicas

a. Luminarios

Los luminarios deberán ser marca Lumicon, modelo Durec Prismatic, para una lámpara de aditivos metálicos de 400 W, base mogul y un balastro electromagnético para operación en 220 V-, 60 Hz. La guía para ordenar el luminario es DP-M3-F-35-16+51.

Los luminarios serán de tipo abierto en su parte inferior y el material del reflector será plástico protegido contra rayos ultravioletas. Como accesorio, cada luminario deberá estar provisto de un gancho para instalación suspendida.

Los luminarios deberán cumplir con la curva fotométrica número 36-140-02, que se incluye en las siguientes páginas.

En el momento de la compra, cada luminario deberá estar provisto de la lámpara, el balastro y el accesorio descrito.

b. Balastos

Los balastos provistos en los luminarios deberán ser de marca Lumicon, modelo 74B9052/AB, de tipo electromagnético, para una lámpara de aditivos metálicos de 400 W, para operación en 220 V- y 60 Hz. El luminario deberá tener el balastro integrado y prealambrado.

El factor de potencia deberá ser alto (AFP).

El capacitor del balastro no deberá contener PCB y los aislamientos serán clase 180 °C. El balastro deberá ser capaz de operar a temperaturas ambiente menores o iguales a 40 °C.

El circuito del balastro deberá ser auto regulado.

c. Lámparas

Las lámparas deberán ser de aditivos metálicos, de 400 W de potencia nominal, un flujo luminoso inicial de 36,000 lm, acabado del bulbo claro, índice de rendimiento de color mayor o igual a 65 y temperatura de color igual a 4,000 K.

La vida nominal de las lámparas deberá ser mayor o igual a 20,000 horas, con una depreciación de la emisión lumínica menor o igual a 25% al 40% de la vida nominal.

La posición de encendido de las lámparas deberá ser universal y $\pm 15^\circ$ en vertical cuando se utilice en luminario abierto.

La base de las lámparas deberá ser mogul (E39/41) y el bulbo deberá ser ED-37.

Las lámparas podrán ser marca General Electric, modelo MVR-400/U o marca Philips, modelo MH400/U clave 19502.

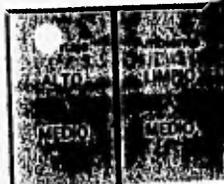
2. Copias de catálogos

Las copias que se presentan a continuación muestran los modelos de los equipos especificados, por lo que cualquier duda al respecto puede ser aclarada en estas hojas y, en caso de persistir alguna duda, pueden ser utilizadas como referencia en el momento de consultar al fabricante o distribuidor.

El orden que siguen las copias es: luminarios, balastros y lámparas.

Durec® Prismatic

LUMICON



El luminario DUREC PRISMATIC combina la mejor APARIENCIA con la más alta EFICIENCIA. Su reflector PRISMÁTICO de plástico distribuye la luz eficientemente y con buena uniformidad, equilibrando la ILUMINACION DIRECTA con una contribución importante de ILUMINACION INDIRECTA para obtener el máximo de CONFORT VISUAL.

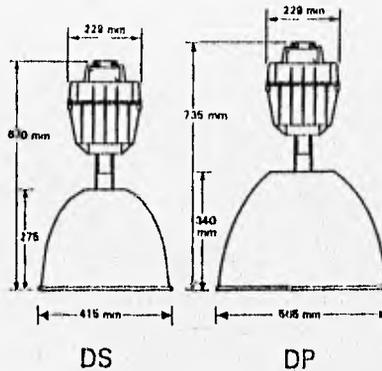
Su ELEGANTE aspecto lo hace indispensable en las MODERNAS áreas industriales y comerciales.

GUIA PARA ESPECIFICAR:

El luminario deberá ser modelo DUREC PRISMATIC de Lumisistemas catálogo No. (especificar) para operar una lámpara de aditivos metálicos de 175, 250 ó 400 W. ó de 150, 250 ó 400 W. de vapor de sodio alta presión a partir de una tensión nominal de 127, 220, 254, 277 ó 440 volts a 60 Hz.

El luminario deberá tener un balastro marca Lumicon clase 180 °C integrado y prealambrado, diseñado para operar a temperatura ambiente de hasta 55 °C. El compartimiento del balastro deberá ser de aluminio inyectado en alta presión. Para facilitar la instalación, el luminario deberá tener accesorios removibles de poco peso, que puedan ser fácilmente quitados del compartimiento del balastro y ensamblados a las piezas del montaje o a la estructura antes de colocar el resto del luminario. El luminario deberá contar con un portalámpara ajustable a diferentes posiciones para modificar la distribución fotométrica. El reflector deberá ser de acrílico con protección para rayos ultravioleta, y su diseño deberá ser a base de prismas exteriores. El luminario deberá contar con aprobación UL para operación en lugares húmedos y para temperatura ambiente de 40 °C ó 55 °C (especificar).

DIMENSIONES:

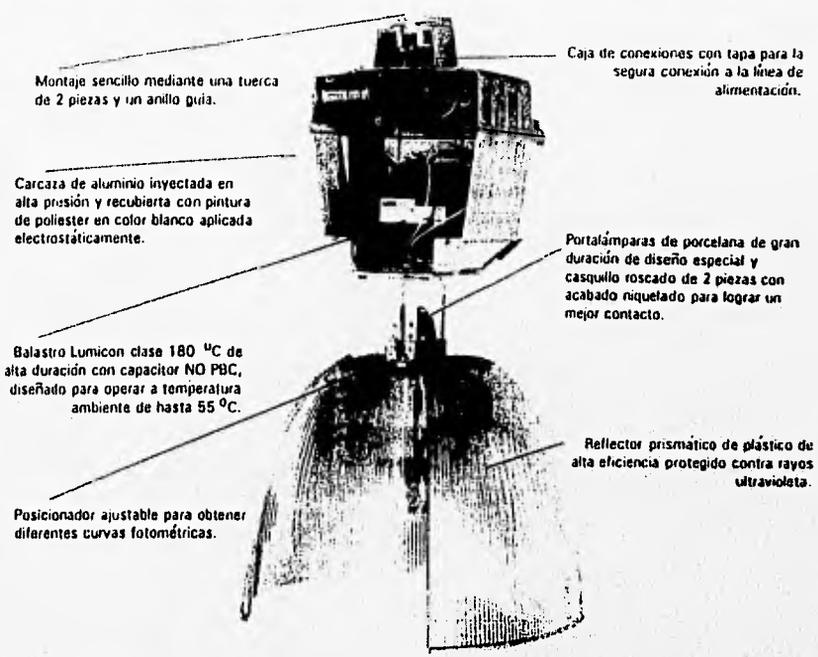


GUIA DE COMO ORDENAR:

LUMINARIO	TIPO DE LAMPARA	BALASTRO.	VOLTS	CRITERIO DE ESPACIAMIENTO	ACCESORIOS	
DS = Durec Prismatic 18" (hasta 250 watts.)	M = Aditivos metálicos.	F = Auto regulado.	25 = 127	07 = 0.7	+ 50 = Gancho macho	
	S = Vapor de presión.	B = Reactor Serie Alto Factor de Potencia	35 = 220	10 = 1.0	+ 51 = Gancho hembra	
			55 = 254	11 = 1.1		
DP = Durec Prismatic 22" (hasta 400 watts.)	H = Vapor de mercurio.	D = Alto reactancia alto factor de potencia.	60 = 277	12 = 1.2	+ 52 = Caza macho	
			85 = 440	13 = 1.3		+ 53 = Caza hembra
				14 = 1.4		
			15 = 1.5			
			16 = 1.6			
			17 = 1.7			
			18 = 1.8			
			19 = 1.9			
			20 = 2.0			

DUREC Y LUMICON Son marcas registradas de LUMISISTEMAS

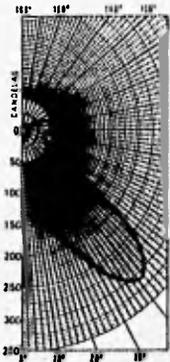
Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.



INFORMACION FOTOMETRICA:

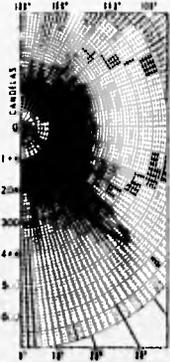
TIPO DE LAMPARA.	WATTS DE LAMPARA	LUMINARIO	A.C.	POSICION DEL PORTALAMPARA	NUMERO DE CURVAS
ADITIVOS METALICOS (CLARA)	175,250	DS	1.3	G	30-101-04
			1.6	E	30-101-02
			1.8	D	30-101-01
	400.	DP	1.3	G	30-100-02
			1.5	F	30-100-04
			1.8	D	30-100-01
ADITIVOS METALICOS (FOSFORADA)	175, 250.	DS	1.4	F	30-101-10
			1.6	E	30-101-15
			1.8	D	30-101-14
	400.	DP	1.3	G	30-100-02
			1.5	F	30-100-03
			1.8	D	30-100-01
VAPOR DE SODIO ALTA PRESION	150.	DS	1.3	F	30-101-07
			1.5	E	30-101-06
			1.8	D	30-101-05
	250.	DS	1.4	D	30-101-12
			1.6	C	30-101-11
			1.8	B	30-101-10
400.	DP	1.3	E	30-100-07	
		1.7	C	30-100-09	
		1.8	B	30-100-10	

S.C. = CRITERIO DE ESPACIAMIENTO



DUREC PRISMATIC
CURVA FOTOMETRICA No. 36-140-01
400 W-ADITIVOS METALICOS -
FOSFORADA
S.C. = 1.8
POSICION DEL PORTALAMPARA: D

RESUMEN DE INFORMACION		
	LUMENS	WATT
80 LAMP	181	17
0 SUP	159	16
0 INF	239	24
0 TAP	22	2
0 TAP	32	3
EFICIENCIA TOTAL 32%		



DUREC PRISMATIC
CURVA FOTOMETRICA No. 36-140-02
400 W-ADITIVOS METALICOS
CLARA
S.C. = 1.8
POSICION DEL PORTALAMPARA: D

RESUMEN DE INFORMACION		
	LUMENS	WATT
80 LAMP	120	12
0 SUP	8	1
0 INF	239	24
0 TAP	122	12
0 TAP	32	3
EFICIENCIA TOTAL 36%		

COEFICIENTES DE UTILIZACION (METODO DE LA CAVIDAD ZONAL) REFLECTANCIA EFECTIVA DE LA CAVIDAD DEL SUELO: 20% (PFC=0.20)												
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo en %												
R.P.	80		70		50		30		10		0	
	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
0	1	92.88	88	88.88	87	81.79	76	73.71	69.88	66	63	
1	1	82.76	71	79.73	69	73.69	65	67.64	61	67.60	57	65
	2	75.66	60	70.84	59	65.60	55	60.58	53	58.33	47	57
2	1	63.18	52	63.34	51	58.32	48	53.29	46	51.04	41	47
	2	56.50	46	56.79	44	52.48	43	48.40	40	45.38	38	43
3	1	52.44	40	50.43	37	47.41	36	44.38	34	41.33	31	37
	2	46.38	33	44.37	32	41.35	31	39.39	29	36.31	26	30
4	1	41.33	28	39.32	27	37.30	26	34.38	24	31.34	24	27
	2	36.26	23	36.28	23	32.26	22	30.25	21	26.23	20	18
5	1	32.24	18	31.29	19	28.28	18	27.21	17	25.20	16	18
	2	28.24	18	28.24	18	25.24	18	24.17	17	22.16	16	18

R.P. = REFLECTANCIA DE LA PARED EN %

COEFICIENTES DE UTILIZACION (METODO DE LA CAVIDAD ZONAL) REFLECTANCIA EFECTIVA DE LA CAVIDAD DEL SUELO: 20% (PFC=0.20)												
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo en %												
R.P.	80		70		50		30		10		0	
	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
0	1	96.84	91	96.91	88	94.88	83	91.75	88	97.74	74	72
1	1	87.81	77	88.78	75	79.76	72	78.71	68	70.67	59	62
	2	78.71	68	75.69	64	71.65	61	67.62	51	63.58	41	54
2	1	69.62	58	67.50	55	64.48	53	60.45	50	56.42	41	47
	2	62.54	48	60.43	47	57.40	46	54.38	44	51.35	38	43
3	1	54.46	41	53.35	40	50.32	39	47.29	37	44.26	30	34
	2	48.39	36	46.28	35	44.27	34	41.24	33	38.21	26	28
4	1	41.33	27	40.22	27	38.21	26	36.20	25	34.19	24	27
	2	36.26	22	35.15	22	33.14	21	31.13	20	29.12	19	21
5	1	30.22	17	29.11	17	27.10	16	25.09	15	23.08	14	16
	2	25.15	12	24.04	12	22.03	11	20.02	10	18.01	9	11

R.P. = REFLECTANCIA DE LA PARED EN %



DUREC PRISMATIC
CURVA FOTOMETRICA No. 36-140-08
400 W-VAPOR DE SODIO ALTA PRESION
S.C. = 1.5
POSICION DEL PORTALAMPARA: D

RESUMEN DE INFORMACION		
	LUMENS	WATT
80 LAMP	97	11
0 SUP	81	9
0 INF	779	78
0 TAP	212	22
0 TAP	970	97
EFICIENCIA TOTAL 81%		

COEFICIENTES DE UTILIZACION (METODO DE LA CAVIDAD ZONAL) REFLECTANCIA EFECTIVA DE LA CAVIDAD DEL SUELO: 30% (PFC=0.30)												
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo en %												
R.P.	80		70		50		30		10		0	
	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
0	1	98.82	88	92.87	87	85.83	82	80.76	77	76.74	72	
1	1	88.81	77	84.80	76	79.78	73	72.70	71	69.67	64	
	2	78.72	68	76.71	66	73.69	64	69.66	62	61.61	58	
2	1	71.65	60	70.64	59	68.61	57	63.59	56	60.57	54	
	2	65.56	53	63.55	52	61.54	50	58.52	48	55.50	46	
3	1	59.47	48	58.46	47	56.45	46	53.43	44	51.42	43	
	2	53.38	42	51.37	41	49.36	40	46.34	39	44.33	37	
4	1	48.29	37	47.28	36	45.27	35	42.25	34	40.24	33	
	2	42.20	31	41.19	30	39.18	29	36.16	28	34.15	27	
5	1	37.11	26	36.10	25	34.09	24	32.08	23	30.07	22	
	2	31.02	20	29.01	19	27.00	18	25.00	17	23.00	16	

R.P. = REFLECTANCIA DE LA PARED EN %



Lumisistemas
una empresa ENEC

DIVISION SISTEMAS DE ILUMINACION
VALLE DE MEXICO:

LUMISISTEMAS S.A. DE C.V., BLVD. TOLUCA 520-A
NAUCALPAN DE JUAREZ 53500
EDO. DE MEXICO, TEL. 578 04 33, FAX 359 38 04.

UL ES MARCA REGISTRADA DE UNDERWRITERS LABORATORIES INC.

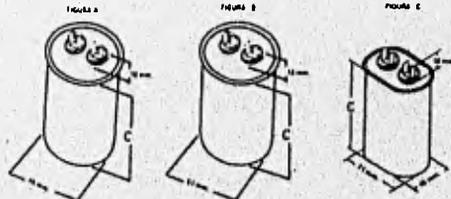
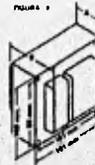
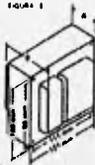
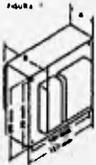
Aditivos Metálicos

auto transformador auto regulado

POTENCIA DE LA LAMPARA	TIPO DE LAMPARA	TENSION DE ENCENDIDO	TENSION DE OPERACION	TIPO DE TRANSFORMADOR	CORRIENTE DE ENCENDIDO	CORRIENTE DE OPERACION	TENSION DE LINEA	TIPO DE CABLEADO	TIPO DE CONEXION	ANCHO	ALTO	PROFUNDIDAD	DIAMETRO	TIPO DE LAMPARA	TIPO DE TRANSFORMADOR
1-175	AM 6 H39	127 220 254 277 440	127 220 254 277 440	CWA	205	174 0.97 0.86 0.75 0.47	290	A	1	48	86	5.050	A	60.3	1
1-250	AM 6 H37	127 220 254 277 440	127 220 254 277 440	CWA	285	230 1.35 1.15 1.08 0.68	320	A	2	38	76	6.465	A	73.0	1
1-400	AM 6 H33	127 220 254 277 440	127 220 254 277 440	CWA	455	380 2.12 1.90 1.70 1.10	305	A	2	54	92	7.610	B	98.4	1
1-1000	AM 6 H36	127 220 254 277 440	127 220 254 277 440	CWA	1070	870 5.60 4.35 4.10 2.50	475	A	3	82	125	13.000	B	98.4	1
1-500	AM	127 220 254 277 440	127 220 254 277 440	CWA	1610	1380 7.90 6.90 6.30 3.70	445	A	4	87	125	15.600	C	150.0	2

B. F. P. = BAJO FACTOR DE POTENCIA
C. W. A. = AUTO REGULADO

A. F. P. = ALTO FACTOR DE POTENCIA
L. = LAMPARA



CARACTERISTICAS

- ALTO FACTOR DE POTENCIA
- VARIACION PERMISIBLE EN LA TENSION DE ALIMENTACION ± 10
- VARIACION EN LA POTENCIA DE LAMPARA DE 7 A ± 12 %
- CORRIENTE DE LINEA DEL ENCENDIDO, MENOR QUE LA DE OPERACION NORMAL
- DISEÑO PARA SATISFACER TODOS LOS REQUISITOS DE LAS LAMPARAS DE ADITIVOS METALICOS
- PUEDE OPERAR LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO, QUE TENGAN CARACTERISTICAS SIMILARES A LAS DE ADITIVOS METALICOS.
- AISLAMIENTO 180° C
- CAPACITORES DE 90° C

DIAGRAMA A





ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

POTENCIA NOMINAL (WATTS)	175	250
G. E. CATALOGO	MVR175/U	MVR250/U

CARACTERISTICAS GENERALES

LUMENES INICIALES (PROMEDIO)*	VERTICAL	14,000	20,500
	HORIZONTAL	12,000	19,500
VIDA PROMEDIO A 10 HRS. /ARRANQUE:	VERTICAL	10,000 hrs.	10,000 hrs.
	HORIZONTAL	6,000 hrs.	10,000 hrs.
PORCENTAJE DE LUMENES MEDIOS:	VERTICAL	74%	83%
	HORIZONTAL	69%	72%
TIEMPO DE ENCENDIDO		2-4 min.	2-4 min.
TIEMPO DE REENCENDIDO		10-15 min.	10-15 min.
TEMPERATURA APARENTE DE COLOR		4,100°K	4,250°K
CRDMATICIDAD C.I.E.		x=0.384 y=0.389	x=0.379 y=0.377
INDICE DE RENDICION DE COLDR (Ra)		65	65
POSICION DE ENCENDIDO		UNIVERSAL	UNIVERSAL
TIPO DE LUMINARIO:	LAMP. VERTICAL $\pm 15^\circ$	CERRADO	CERRADO
	LAMP. EN DTRA POSICION	CERRADO	CERRADO

DESCRIPCION FISICA

BASE		MDGUL E39/41	MDGUL E39/41
BULBO		E-28	E-28
MATERIAL DEL BULBO		BOROSILICATO	BOROSILICATO
ACABADO DEL BULBO		CLARO	CLARO
DIAMETRO DEL BULBO		89 mm.	89 mm.
LARGO TOTAL		210 mm.	210 mm.
LARGO AL CENTRO DE LUZ		127 mm.	127 mm.
LONGITUD EFECTIVA DEL ARCO		25 mm.	36 mm.
TEMPERATURA MAXIMA DE BULBO		400°C	400°C
TEMPERATURA MAXIMA DE BASE		210°C	210°C
EXCENTRICIDAD MAX:	BASE A BULBO	4°	4°
	TUBO DE ARCO A EJE DE LAMPARA	3°	3°

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

WATTS NOMINALES DE LAMPARA		175 W	250 W
VOLTS NOMINALES DE LAMPARA (RMS)		135 V	133 V
CORRIENTE NOMINAL DE LAMPARA:	ARRANQUE	1.8 A	2.8 A
	OPERACION	1.4 A	2.1 A
MAXIMO FACTOR DE CRESTA DE CORRIENTE		1.8	1.8
MINIMO VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO DEL BALASTRO PARA ARRANCAR Y SOSTENER EL ARCO: HASTA -30° C.	RMS	382 V	382 V
	PICO	540 V	540 V
ESPECIFICACION ANSI DEL BALASTRO		M57	M58

LAMPARAS MULTI-VAPOR[®]

(ADITIVOS METALICOS)

400	1000	1500	1500
MVR400/U	MVR1000/U	MVR1500/HBU/E	MVR1500/HBU/E

36,000	110,000	155,000	155,000
32,000	107,800	150,000	150,000
20,000 hrs.	12,000 hrs.	3,000 hrs.	3,000 hrs.
15,000 hrs.	12,000 hrs.	a 5 hrs. /arr.	a 5 hrs. /arr.
75%	80%	90%	90%
83%	80%	90%	90%
2-4 min.	2-4 min.	2-4 min.	2-4 min.
10-15 min.	10-15 min.	10-15 min.	10-15 min.
4,000°K	3,800°K	3,600°K	3,600°K
x = 0.385 y = 0.390	x = 0.395 y = 0.395	x = 0.400 y = 0.385	x = 0.400 y = 0.385
65	65	65	65
UNIVERSAL	UNIVERSAL	HORIZONTAL A BASE ARRIBA	HORIZONTAL A BASE ABAJO
ABIERTO O CERRADO	ABIERTO O CERRADO	CERRADO	CERRADO
CERRADO	CERRADO	CERRADO	CERRADO

MOGUL E39/41	MOGUL E39/41	MOGUL E39/41	MOGUL E39/41
E-37	BT-56	BT-56	BT-56
BOROSILICATO	BOROSILICATO	BOROSILICATO	BOROSILICATO
CLARO	CLARO	CLARO	CLARO
117 mm.	178 mm.	178 mm.	178 mm.
287 mm.	383 mm.	383 mm.	383 mm.
178 mm.	238 mm.	238 mm.	238 mm.
30 mm.	89 mm.	89 mm.	89 mm.
400°C	400°C	350°C	350°C
210°C	210°C	210°C	210°C
4°	4°	4°	4°
3°	3°	3°	3°

400 W	1000 W	1500 W	1500 W
135 V	250 VERT. 245 HDR.	270 V	270 V
5.0 A	6.0 A	9.0 A	9.0 A
3.2 A	4.3 A	6.0 A	6.0 A
1.8	1.8	1.8	1.8
382 V	530 V	530 V	530 V
540 V	750 V	750 V	750 V
M59	M47	M48	M48

MULTI-VAPOR[®]

MORTALIDAD DE LAMPARAS (A 10 HORAS POR ARRANQUE)

% DE LAMPARAS ENCENDIDAS

HORAS DE ENCENDIDO	MVR175/U		MVR250/U		MVR400/U		MVR1000/U		HORAS DE ENCENDIDO	MVR1500
	VERT.	HOR.	VERT./HOR.	HOR.	VERT.	HOR.	VERT./HOR.	VERT./HOR.		
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0	100%
2,000	95	89	97	98	97	98	98	98	600	96
4,000	85	69	90	96	94	94	94	1,200	88	88
6,000	74	50	80	93	89	88	88	1,800	78	78
8,000	62	—	68	90	84	80	80	2,400	65	65
10,000	50	—	50	85	76	68	68	3,000	50	50
12,000	—	—	—	80	67	50	50	—	—	—
16,000	—	—	—	66	50	—	—	—	—	—
20,000	—	—	—	50	—	—	—	—	—	—

*15.000 HORAS DE VIDA

MANTENIMIENTO DE LUMENES** (A 10 HORAS POR ARRANQUE)

% DE HORAS DE ENCENDIDO	MVR175/U		MVR250/U		MVR400/U		MVR1000/U		MVR1500	
	VERT.	HOR.	VERT.	HOR.	VERT.	HOR.	VERT.	HOR.	VERT.	HOR.
INICIAL	14000	12000	20500	19500	36000	32000	110000	1078000	155000	150000
20%	11750	10060	18300	15700	29880	27000	92620	94220	147250	142500
40%	10350	8410	17000	14000	27000	24000	88000	86240	140000	135000
60%	9500	7690	16100	13100	24120	22320	82280	80610	131750	127500
80%	9250	7210	15100	12300	23760	21120	78760	77190	127100	123000
100%	9100	6850	14200	11700	23000	20800	77000	75450	124000	120000

NOTAS DE ATENCION:

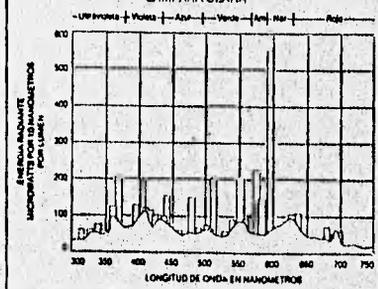
Todos los valores de rendimiento publicados son aproximados, basados en condiciones normales de operación, con equipo auxiliar que satisfaga las especificaciones de corriente establecidas.

Tanto estos valores como las especificaciones publicadas, están sujetos a cambio sin previo aviso.

*Lúmenes medidos a watts nominales después de 100 horas de operación.

**Los valores de mantenimiento de lúmenes fueron medidos bajo condiciones específicas de prueba a watts nominales, con lámparas operadas a 10 o más horas por arranque, en balastos comerciales típicos. Los lúmenes medidos, están medidos al 40% de la vida nominal, a watts nominales.

DISTRIBUCION ESPECTRAL LAMPARA CLARA



GE Lámparas

3. Mantenimiento

Para este sistema, el mantenimiento sugerido es muy similar al propuesto para el sistema fluorescente. Las acciones de limpieza deberán realizarse en los mismos períodos que para el fluorescente: limpieza semestral de los luminarios y limpieza anual de las paredes de los laboratorios. Es necesario recordar que en caso de así requerirlo, se repinten las paredes, ya que esto contribuye en gran medida a tener una buena iluminación. Por último, se sugiere que el reemplazo de las lámparas sea grupal, cada 16 semestres (9,450 horas de uso).

4. Planos de la disposición de los luminarios

Los planos que se presentan, muestran la disposición que guardan los luminarios en el Laboratorio de Eléctrica, y de hecho, en todos los demás laboratorios. Como puede verse en la figura 13, existen cuatro luminarios por cúpula (vista aérea), uno en cada esquina de la parte superior de la misma y suspendidos aproximadamente un metro, de tal forma que la parte inferior del luminario quede al ras de la apertura (corte lateral).

Los tres laboratorios restantes también tienen cuatro luminarios por cúpula y están ubicados de la misma forma que para el Laboratorio de Eléctrica.

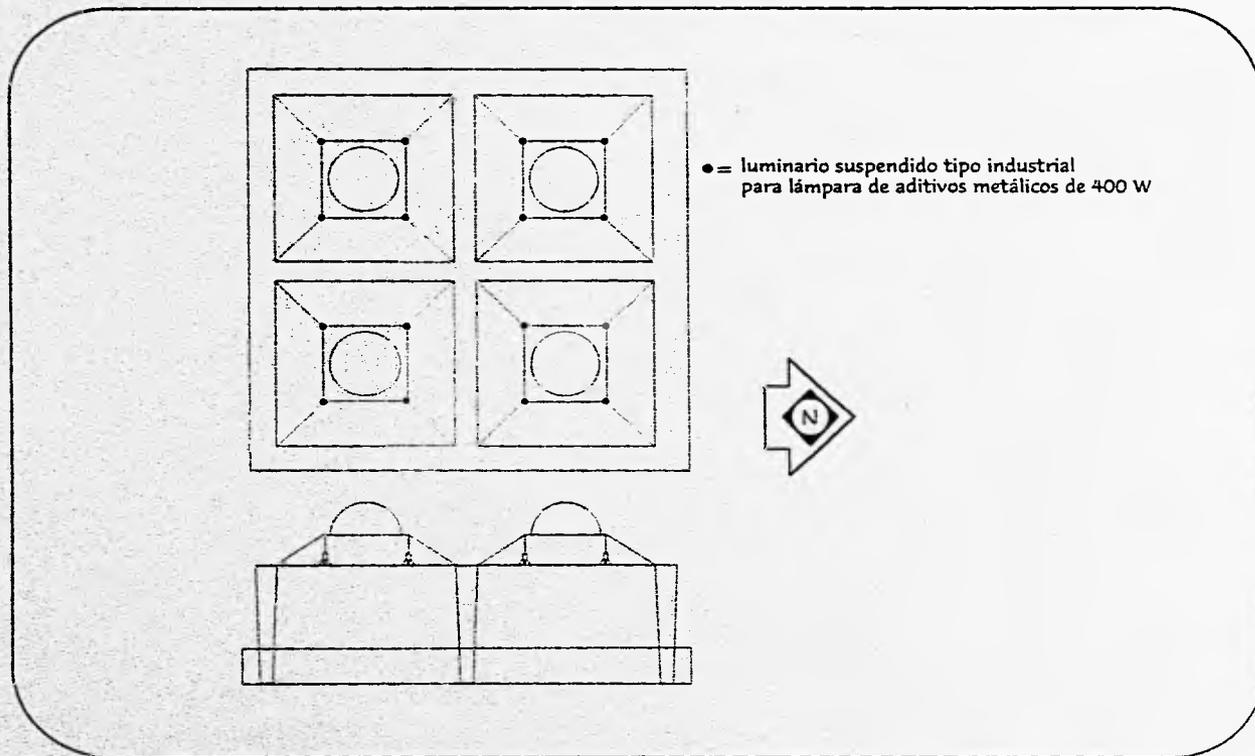


Figura 13. Disposición de los luminarios Durec Prismatic en el Laboratorio de Eléctrica.

C. Pintado y mantenimiento de los laboratorios

Como último punto de este capítulo, cabe mencionar que los laboratorios requieren de mantenimiento periódico. Esto implica que se limpien las paredes y, en general, todas las superficies, para mantener las reflectancias lo más altas posibles. Esta limpieza deberá ser anual.

Es necesario que las paredes se pinten de un color claro, algún tono de blanco o crema muy ligero, para que su reflectancia aumente a por lo menos 75%. El piso, de ser posible, también deberá pintarse de un gris claro. Es importante mencionar que todas las pinturas deberán ser acabado mate.

VI. Análisis de las propuestas

VI. Análisis de las propuestas

Los dos diseños presentados en este trabajo tienen características que los hacen atractivos para esta aplicación. Sin embargo, debe analizarse detalladamente ambas propuestas antes de decidir por la instalación de cualquiera de ellas. Este capítulo pretende exponer todas las características de las propuestas y explicar cómo y porqué se considera ventajas o desventajas en el caso de los laboratorios de la Facultad.

La base de las comparaciones que a continuación se realizan es la tabla 15.

A. Análisis técnico

Como podrá deducirse de toda la información presentada en otros capítulos, las principales diferencias entre las dos propuestas son el número de luminarios y las características de la luz que proporcionan. A su vez, estas diferencias crean ambientes característicos de cada uno de ellos, presentan condiciones de mantenimiento propias y exigen un gasto particular.

Estas diferencias se presentan a continuación con el objeto de que se evalúen y se obtenga una lista de características que permita decidir por una u otra opción de acuerdo con las prioridades de los laboratorios.

1. Nivel de iluminancia, temperatura e índice de rendimiento de color

Los niveles iniciales proporcionados por ambos sistemas, son superiores a los 500 luxes recomendados, sin embargo la diferencia es notable. Para el caso del sistema fluorescente, tanto la diferencia en nivel inicial como en nivel mantenido es de +11% (525 lx) y -9.4% (457 lx) respectivamente, valores muy razonables de acuerdo con las recomendaciones internacionales. Es importante señalar que el nivel mantenido es inferior a los 500 luxes, pero debido a las características de la luz propuesta (85CRI @ 4,100 K), esta diferencia no será notada por los usuarios. Como conclusión, podemos decir que esta propuesta cumple con los requisitos de nivel de iluminancia, temperatura e índice de rendimiento de color para la aplicación que nos ocupa.

Por otra parte, los niveles inicial y mantenido que proporciona el sistema de aditivos metálicos son mayores a los 500 luxes especificados. El nivel mantenido es muy adecuado (+4%, 521 lx) pero el inicial es muy superior a lo que se necesita, 786 lx (+57.20%). Esto se debe a la gran depreciación que sufre este sistema y en particular en esta aplicación, lo que nos obliga a sobredimensionar en esa misma proporción al sistema, con el consiguiente aumento en consumo de energía. Las características de color de la luz de aditivos metálicos (65CRI @ 4,000 K) no es la más adecuada para los lugares donde la gente permanece por largos períodos de tiempo o donde su apariencia es importante. Aunque la temperatura de color de ambos sistemas es muy cercana, la apariencia general que produzcan será muy diferente, sobre todo si se comparan colores cálidos (piel, por ejemplo). Esto se debe a las características propias de cada lámpara, como lo es el índice de rendimiento de color (la lámpara de aditivos metálicos es pobre en reproducción de colores cálidos). Otra desventaja importante de las lámparas de aditivos metálicos es la variación en la temperatura de color, la cual se presenta de dos formas: entre lámpara y lámpara y en la misma lámpara conforme esta envejece. Estas variaciones suelen ser notables a simple vista en la mayoría de las instalaciones que cuentan con este sistema y aunque es inofensiva, resulta muy desagradable a la vista. Todo lo anterior no pretende, ni podría, demeritar la importancia de las lámparas de aditivos metálicos, las cuales han probado ser una excelente alternativa para el ahorro de energía en aplicaciones donde el índice de rendimiento de color no es crítico; así pues, se presenta como una opción más para iluminar los laboratorios de la Facultad.

2. Relaciones de uniformidad

Las relaciones de uniformidad no fueron calculadas para ninguno de los dos sistemas propuestos, sin embargo, se espera que con el sistema fluorescente la uniformidad sea muy cercana a 1.3, tanto en el plano horizontal como en el vertical. Lo anterior se puede observar en el reporte que proporciona el fabricante del luminario. Por otra parte, al tener un mayor número de luminarios, necesariamente se incrementa la uniformidad.

Para el sistema de aditivos metálicos, la uniformidad también se incrementará notablemente, pero debemos mencionar que se tendrán valores máximos muy altos debido a la potencia de las lámparas, a su acabado claro y al tamaño reducido de su tubo de descarga (la fuente puede considerarse como puntual).

3. Flicker

El flicker que presente el sistema de aditivos metálicos será muy inferior al que se tiene actualmente, pero al instalarse el sistema fluorescente con balastro electrónico, desaparecerá por completo. En cualquiera de los dos casos, el flicker será menos molesto que el actual.

4. Sistema eléctrico

En todo lo relacionado con la carga instalada, el consumo de energía y demás parámetros eléctricos, existen datos interesantes. El ahorro por carga instalada y por energía consumida, es muy similar en ambas propuestas; para el sistema fluorescente, el ahorro es de 55%, mientras que para el de aditivos metálicos es de 45%. A pesar de que los porcentajes son muy atractivos, la disminución de la carga instalada no representa un valor grande en kW (7.24 y 6.91 kW, respectivamente), pero indudablemente es un beneficio para el transformador.

Los porcentajes de ahorro mencionados, se aplican por igual a la disminución de carga instalada, energía consumida en períodos de punta y base y para el costo total eléctrico (demanda facturable más energía consumida). Los ahorros anteriores se vuelven más atractivos considerando que la tarifa eléctrica es horaria en media tensión (HM).

Otro parámetro eléctrico interesante es la eficacia de los sistemas. El valor que aparece en el renglón 58 de la tabla 15, implica la salida total de luz de las lámparas dividida entre el consumo total del balastro (se incluye el factor de balastro). De esta forma, las eficacias de los sistemas propuestos es prácticamente la misma y a su vez representa el doble de la eficacia del sistema actual. Este valor de eficacia eléctrica nos indica que tan bien aprovecha el sistema la energía eléctrica para convertirla en luz.

5. Instalación y mantenimiento

Las características de la instalación se muestran en el capítulo llamado Especificaciones de los sistemas propuestos, donde se detalla la ubicación de los luminarios. Es muy importante señalar, que para ambos sistemas es necesaria la correcta instalación de tierra física con fines

de seguridad y operación adecuada, sin embargo, si esto no es posible, los balastros electrónicos del sistema fluorescente no deberán ser instalados bajo ningún motivo, ya que su operación sin conexión a tierra física los dañaría irremediablemente.

El mantenimiento que se debe proporcionar a los sistemas propuestos es considerablemente desigual. Mientras que para el sistema de aditivos metálicos se deberán limpiar 16 luminarios cada seis meses y cambiar las 16 lámparas cada 9,450 horas de uso (7.8 años aproximadamente), para el sistema fluorescente se tendrán que limpiar 24 luminarios cada seis meses y cambiar 192 lámparas cada 8,000 horas de uso (6.6 años, aproximadamente).

Respecto de la limpieza semestral de los luminarios, podemos decir que la diferencia entre limpiar 16 ó 24 luminarios, puede no ser apreciable, pero el reemplazo de 192 lámparas implica condiciones de tiempo, personal y material de reemplazo muy diferentes a las requeridas para cambiar 16 lámparas.

Es necesario mencionar que el correcto funcionamiento de cualquier diseño depende directamente del mantenimiento que se le de y que las condiciones antes mencionadas deberán considerarse de tal forma, que no importando el sistema que se elija se cumplan los programas de limpieza y reemplazo necesarios.

6. Depreciación de los sistemas

Otra forma de medir las eficacias de los sistemas se presenta en los renglones 84 a 86 de la tabla 15. Esta eficacia toma en cuenta sólo aquellos lúmenes que llegan al plano de trabajo, es decir, involucra a los factores de pérdida de luz, al coeficiente de utilización y al consumo total eléctrico por luminario.

Es interesante notar que aunque la eficacia inicial del sistema de aditivos metálicos es 16% mayor que la del sistema fluorescente, al paso del tiempo la depreciación que sufre el primer sistema es tan grande, que la eficacia final del sistema fluorescente supera a la del de aditivos metálicos con un 7%.

7. Características de encendido y variación de intensidad luminosa

Aunque el principio de operación de las dos lámparas propuestas pueda ser considerado como el mismo, sus características eléctricas, mecánicas y térmicas son muy diferentes. Esto provoca que las lámparas de aditivos metálicos tarden aproximadamente de 3 a 7 minutos en encender totalmente (>80% del flujo luminoso nominal). Una vez que la lámpara ha estado encendida por algún tiempo y por alguna razón pierde el suministro de energía eléctrica, tardará aproximadamente 10 minutos en volver a encender. Estas características de encendido pueden ser desde molestas hasta peligrosas, dependiendo de la aplicación.

Las lámparas fluorescentes no presentan este problema. El tiempo de encendido y reencendido es considerado como cero.

Respecto a la variación de la intensidad luminosa podemos decir que las lámparas de aditivos metálicos no presentan esta característica con las mismas ventajas que las fluorescentes. Estas últimas, pueden ser controladas en un rango de 10 a 100% de su intensidad mediante el uso de balastos y controles adecuados. Otra ventaja de los luminarios Sportlite, es que al contar con ocho lámparas, éstas pueden ser controladas por pares encendiéndolas o apagándolas según sea necesario. De esta forma, se pueden tener niveles de iluminancia de 0, 25, 50, 75 y 100 %.

B. Análisis económico

1. Mantenimiento

Los costos anuales de mantenimiento que se presentan en la tabla 15 sólo contemplan el precio de las lámparas. La mano de obra no se incluye porque la proporciona el personal interno. Tampoco se incluye el costo de reposición de balastos porque su vida útil es muy grande como para hacer una comparación en costos actuales; la vida nominal que se menciona en la tabla 15 es un valor mínimo asegurado por el fabricante, pero normalmente suele ser muy superior (hasta 50,000 horas para los balastos electrónicos).

Aún cuando el costo de mantenimiento del sistema fluorescente es muy alto (4.85 veces más alto que el sistema de mercurio), su bajo consumo de energía (45% del actual) permite ahorrar un 23% del costo total anual. Para el sistema de aditivos metálicos, ambos costos (por energía y por mantenimiento) son muy inferiores a los actuales, por lo que se puede ahorrar un 44% en el costo total anual.

Los porcentajes de ahorro fueron calculados considerando que la Facultad paga por la energía que consume, aunque aparentemente esto es así. Si en el futuro próximo la Facultad pagara tanto la energía que consume como el material de mantenimiento, los ahorros calculados serán reales y, si esto no sucede, la Facultad tendrá que desembolsar el equivalente a \$2,500 por año, en caso de que se elija el sistema fluorescente, para reemplazar el total de las lámparas cada 6.6 años.

2. Inversión inicial

Las inversiones iniciales para cada sistema son muy diferentes; mientras que para el sistema de aditivos metálicos es de \$21,199, para el sistema fluorescente el costo es 2.9 veces mayor, \$61,272.

Estos costos sólo incluyen el valor de los luminarios, las lámparas y los balastos. Es necesario considerar el costo de la instalación, que para el caso del sistema fluorescente será proporcionalmente mayor que la de aditivos metálicos.

No se puede establecer una comparación directa y equitativa entre los dos sistemas basándose en su costo inicial, ya que las características de la iluminación que proporcionan y los ambientes que crean son muy diferentes. Objetivamente, el sistema fluorescente supera técnicamente al de aditivos metálicos y de ahí su mayor costo. Otra razón importante para justificar la diferencia de costos es la paridad del peso respecto del dólar, ya que los luminarios Sportlite están cotizados en esta moneda.

El objetivo de este capítulo es proporcionar los criterios principales para la elección de uno de los dos sistemas. Con base en lo anterior, debemos mencionar que el sistema fluorescente proporciona las características de iluminación adecuadas para los laboratorios y que si bien el sistema de aditivos metálicos es más barato, no se tendrían los mismos resultados.

7.4	Sistema Actual		Propuesta 1	Propuesta 2
Denominación del sistema	Tipo I + Tipo II		Tipo III	Tipo IV
Descripción general	Mercurio + Incandescente		CFL- 32W	MH - 400 W
I. Parámetros del diseño				
1	Área por iluminar (m ²)	441.00	441.00	441.00
2	Altura sobre el plano de trabajo (m)	7.10	6.14	6.14
3	Iluminancia promedio inicial (lx)	280.00	555.00	786.00
4	Iluminancia promedio mantenida (lx)	188.48	457.00	521.00
5	Reflectancias efectivas			
6	cavidad de techo	22%	70%	70%
7	paredes	10%	10%	10%
8	cavidad de piso	16%	16%	16%
9	Factor de pérdida de luz	0.607	0.742	0.583
10	Método de cálculo	Cavidad zonal	Cavidad zonal	Cavidad zonal
II. Datos del luminario				
11	Tipo	industrial	industrial	industrial
12	Descripción	suspendido	suspendido	suspendido
13	Marca	Holophane	Sportlite	Lumicon
14	Modelo	Primspack-610	SL-8	Durec Prismatic
15	Número de lámparas	1	8	1
16	Número de balastos	1	4	1
17	Coefficiente de utilización	0.546	0.590	0.684
18	Costo (\$/lum.), (incluyen bal. y lamp.)	1440.69	2553.00	1324.93
III. Datos del balastro				
19	Marca	Lumicon	Robertson	Lumicon
20	Modelo	7389116/AB	RED2L10-120H	7489052/AB
21	Tipo	electromagnético	electrónico	electromagnético
22	Circuito	auto regulado	-	auto regulado
23	Lámparas por balastro	1	2	1
24	Tensión de operación (V)	220	127	220
25	Corriente de línea (A)	2.10	0.59	2.12
26	Potencia de línea (W)	455.00	62.50	458.00
27	Factor de potencia	AFP	0.99	AFP
28	Factor de balastro	0.88	0.90	0.88
29	Vida nominal (años)	13.50	35.00	13.50
30	Frecuencia de operación (Hz)	60	60	60
31	Costo (\$/balastro)	197.18	468.86	239.80

Tabla 15. Comparación de parámetros técnicos y económicos del sistema actual y los propuestos.

Denominación del sistema Descripción general	Sistema Actual Tipo I + Tipo II Mercurio + Incandescente		Propuesta 1 Tipo III CFL- 32W	Propuesta 2 Tipo IV MH - 400 W
IV. Datos de la lámpara				
32 Marca	Solar/GE/Philips	Solar	Philips	GE
33 Sistema	HID-mercurio	Inc.	Fluorescente	HID-MH
34 Modelo o denominación	H33GL-400/DK		PL-T 32W/41/4P	MVR-400/U
35 Denominación del bulbo	ED-37	PS-30	SLS	ED-37
36 Acabado del bulbo	fosf. b. de lujo	claro	forforado	claro
37 Base	E40	std.	GX24q-3	mogul
38 Potencia nominal (W)	400	300	32	400
39 Emisión luminica inicial (lm)	23,000	5,500	2,400	36,000
40 Emisión luminica media (@ 40% vida nom.)	80%	90%	85%	75%
41 Eficacia (lm/W)	57.50	18.33	75.00	90.00
42 Vida nominal (horas)	24,000	1,000	10,000	20,000
43 Vida esperada (horas)	16,200	750	10,000	13,500
44 Vida económica (horas)	11,340	750	8,000	9,450
45 Índice de rendimiento de color (CRI)	45	92	85	65
46 Temperatura de color (K)	4,000	2,700	4,100	4,000
47 Costo (\$/lámpara)	90.69	8.32	84.66	158.08
V. Sistema eléctrico (lab. eléctrica)				
48 Número total de luminarios	8	32	24	16
49 Carga instalada por luminario (W)	455	300	250	458
50 Carga instalada total (kW)	13.24		6.00	7.33
51 Horas de uso en base por año	576		576	576
52 Horas de uso en punta por año	640		640	640
53 Energía en punta (kWh/año)	7,626.24		3,456.00	4,220.93
54 Energía en base (kWh/año)	8,473.60		3,840.00	4,689.92
55 Energía total (kWh/año)	16,099.84		7,296.00	8,910.85
56 Demanda facturable (kW/año)	158.88		72.00	87.94
57 Densidad de carga (W/m ²)	30.02		13.61	16.62
58 Eficacia total (lm/W)	34.09	100%	69.12	203%
			203%	203%

Tabla 15. Comparación de parámetros técnicos y económicos del sistema actual y los propuestos.

Denominación del sistema Descripción general	Sistema Actual Tipo I + Tipo II Mercurio + Incandescente		Propuesta 1 Tipo III CFL- 32W		Propuesta 2 Tipo IV MH - 400 W	
	VI. Costo anual por energía eléctrica					
59 Energía en base (kWh/año)	7,626.24		3,456.00		4,220.93	
60 Energía en punta (kWh/año)	8,473.60		3,840.00		4,689.92	
61 Demanda facturable (kW/año)	158.88		72.00		87.94	
62 Precio energía en base (\$/kWh) (HM)	0.12575		0.12575		0.12575	
63 Precio energía en punta (\$/kWh) (HM)	0.2012		0.2012		0.2012	
64 Precio por kW facturable (\$/kW) (HM)	24.135		24.135		24.135	
65 Costo por energía (\$)	2,663.89		1,207.20		1,474.39	
66 Costo por demanda (\$)	3,834.57		1,737.72		2,122.34	
67 Costo total eléctrico (\$)	6,498.46	100%	2,944.92	45%	3,596.73	55%
68 Ahorro por costo total eléctrico (\$)	0.00	0%	3,553.54	55%	2,901.73	45%
VII. Costo anual por mantenimiento						
69 Costo por reposición de lámparas	90.69	8.32	84.66		158.08	
70 Lámparas repuestas por año	0.86	51.88	29.18		2.06	
71 Costo de mantenimiento por sistema	77.80	431.66	2,470.60		325.46	
72 Costo de mantenimiento total	509.46		2,470.60		325.46	
VIII. Inversión inicial						
73 Importe de los luminarios	10,800.00	11,200.00	61,272.00		18,669.60	
74 Importe de las lámparas	725.50	266.24	0.00		2,529.28	
75 Importe de los balastos	0.00	0.00	0.00		0.00	
76 Inversión inicial total	22,991.74		61,272.00		21,198.88	
IX. Comparación de los sistemas						
77 Inversión inicial por equipo	22,991.74	100%	61,272.00	266%	21,198.88	92%
78 Costo anual por energía eléctrica (\$)	6,498.46	100%	2,944.92	45%	3,596.73	55%
79 Costo anual por mantenimiento (\$)	509.46	100%	2,470.60	485%	325.46	64%
80 Costo anual total (eléct.+mant.) (\$)	7,007.92	100%	5,415.52	77%	3,922.19	56%
81 Ahorro en costo anual total (\$)	0.00	0%	1,592.40	23%	3,085.73	44%
82 Iluminancia promedio mantenida (lx)	188.48	100%	457.00	242%	521.00	276%
83 Desviación de iluminancia (base 500 lx)	-165.28%		-9.41%		4.03%	
84 Eficacia total inicial (lm/W)	9.33	100%	40.79	437%	47.30	507%
85 Eficacia total final (lm/W)	6.28	100%	33.59	535%	31.35	499%
86 Pérdidas en eficacia	33%		18%		34%	
87 Costo anual total por lux mantenido (\$/lx)	37.18	100%	11.85	32%	7.53	20%

Tabla 15. Comparación de parámetros técnicos y económicos del sistema actual y los propuestos.

Conclusiones

Conclusiones

Al final de este trabajo podemos decir lo siguiente respecto de la iluminación actual de los laboratorios:

El nivel de iluminancia es muy bajo de acuerdo con las recomendaciones internacionales y la distribución de la luz no es adecuada, lo que provoca una uniformidad muy baja. Dicha falta de uniformidad se manifiesta con puntos muy oscuros y muy brillantes que son molestos para los usuarios, especialmente para aquellos que toman clase en la noche. La calidad de la luz no propicia la concentración de los estudiantes y tiende a cansar la vista después de estar en los laboratorios por más de media hora.

Por otra parte, y respecto de las instalaciones en sí, podemos decir que el acabado de las superficies tiene una reflectancia muy baja, lo que hace parecer al lugar como oscuro, sucio y abandonado. El poco mantenimiento que tienen los laboratorios contribuye a que esta impresión sea generalizada, ya que conforme avanza el tiempo, las instalaciones se deprecian cada vez más.

Con base en todo el trabajo realizado, podemos afirmar que es necesario el cambio del sistema actual de iluminación. Como consecuencia de lo anterior, se tendrán unas instalaciones más agradables para estudiar. Se espera también, que con el cambio de iluminación aumente el aprendizaje de los alumnos, aunque esto sólo podrá ser observado conforme pasen varios semestres.

Cualquiera de los sistemas de iluminación aquí propuestos, así como los cambios en los programas de mantenimiento, rendirán beneficios en los estudiantes, personal técnico, visitantes, y en general la Facultad de Ingeniería, que sobrepasarán por mucho cualquier inversión que para tal efecto tenga que hacerse.

Bibliografía

Bibliografía

1. Stoer, G. W. *History of light and lighting*
Eindhoven, The Netherlands; Philips Lighting B. V.; 1986.
2. Philips Lighting B. V. *TL5 Super/80 Lamps, Technical information for the european market*
Eindhoven, The Netherlands; Philips Lighting B. V.; 1995.
Datos de funcionamiento de la lámpara fluorescente de 28 W, T5, 4,100 K, marca Philips operada con balastro electrónico
3. Philips Lighting B. V. *Lighting Manual*
Eindhoven, The Netherlands; Philips Lighting B. V.; 1993.
4. English, Cheryl R. *Lighting Education Intermediate Level, ED-150*
New York, USA; Illuminating Engineering Society of North America; 1993.
5. Commission Internationale de l'Éclairage. *Guide on interior lighting*
Paris, France; Bureau Central de la CIE; 1986.
6. Kruitoff, A. A. *Tubular luminescence lamps for general illumination*
Philips Tech. Rev. 6(3):65-73; 1941.
7. Cuttle, C., y P. R. Boyce. *Kruithof revisited: A study of people's responses to illuminance and colour temperature of lighting*
Light, Aust.; 1988.
8. Rea, Mark S. *Lighting Handbook*
New York, USA; Illuminating Engineering Society of North America; 1993.
9. Philips Lighting. *Lighting and Colour*
Eindhoven, The Netherlands; Philips Lighting B. V.; 1995.
10. Kanaya, S., Hashimoto, K., Kichize, E. *Subjective balance between general colour index, colour temperature and illuminance of interior lighting*
Proceedings: 19th Session. Commission Internationale de l'Éclairage, Kyoto; Paris, France; Bureau Central de la CIE.1979.

11. English, Cheryl R. *Lighting Education Intermediate Level, ED-150*
New York, USA; Illuminating Engineering Society of North America; 1993.
12. Rea, Mark S. *Lighting Handbook*
New York, USA; Illuminating Engineering Society of North America; 1993.
13. National Lighting Bureau. *Lighting and Industrial Productivity*
Washington, D.C., USA; National Lighting Bureau; 1994.
14. National Lighting Bureau. *Performing a Lighting System Audit*
Washington, D.C., USA; National Lighting Bureau; 1994.