



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD
Y CONTROL INDUSTRIAL

METODOLOGÍA PARA REALIZAR CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS DE ALUMBRADO DE INSTALACIONES INTERIORES.

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTRICIDAD Y CONTROL
INDUSTRIAL.

AUTOR:

Adalberto Vicente Torres Tenezaca

DIRECTOR:

Ing. Jorge Enrique Carrión González. Mg. Sc.

LOJA - ECUADOR
2013

CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Enrique Carrión González. Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO PRÁCTICO

CERTIFICA:

Haber revisado el proyecto de tesis de Trabajo Práctico titulado “**METODOLOGÍA PARA REALIZAR CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS DE ALUMBRADO DE INSTALCIONES INTERIORES.**” previo a la obtención del Título de Tecnólogo en Electricidad, realizado por el Sr. Egresado Adalberto Torres. El mismo que cumple con todos los fundamentos de la investigación científica y por consiguiente autorizo la presentación y defensa final.

Loja, 01de abril 2013



Ing. Jorge Enrique Carrión González Mg. Sc.

DIRECTOR

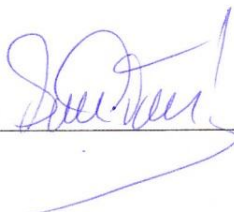
AUTORIA

Yo **Adalberto Vicente Torres Tenezaca** declaro ser autor (a) del presente trabajo de tesis y eximo expresarme a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Adalberto Vicente Torres Tenezaca

Firma: _____



Cédula: 1102643457

Fecha: 1 de abril del 2013

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis de grado está dedicado a **DIOS**, por darme la vida a través de mis queridos **PADRES**, quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores, para poder desenvolverme como: **ESPOSO, PADRE Y PROFESIONAL**.

A mi **ESPOSA**, que ha estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante para cumplir otra etapa en mi vida.

A mis **HIJOS**, que son el motivo y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis más preciados ideales de superación, ellos fueron quienes en los momentos más difíciles me dieron su amor y comprensión para poderlos superar, quiero también dejar a cada uno de ellos una enseñanza que cuando se quiere alcanzar algo en la vida, no hay tiempo ni obstáculo que lo impida para poder lograrlo.

RESUMEN

El presente tema de investigación titulado **“METODOLOGÍA PARA REALIZAR CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS DE ALUMBRADO DE INSTALACIONES INTERIORES.”** es una propuesta, de un método de cálculo, basado en un procedimiento teórico para desarrollar cálculos luminotécnicos de instalaciones de interiores.

La finalidad de esta investigación es la de establecer recomendaciones básicas para la creación de buenas condiciones de visión y un entorno visual cómodo por medio de una iluminación adecuada, para ello se presentan tablas y figuras para determinar la metodología a seguir para el cálculo luminotécnico de instalaciones de interiores basándonos en normas técnicas de luminotecnia y catálogos actualizados.

Así mismo las recomendaciones que se presentan se establecerán primordialmente para locales interiores en que se realizan trabajos, aunque son también aplicables en sentido general en otras locaciones.

SUMMARY

This research topic entitled "Methodology for calculations lighting installations INTERIOR LIGHTING." Is a proposal of a calculation method based on a procedure for developing theoretical calculations interior lighting facilities.

The purpose of this investigation is the one of establishing basic recommendations for the creation of good conditions of vision and a visual comfortable environment by means of an appropriate illumination, for they show up it charts and figures to determine the methodology to continue for the calculation luminotécnico of facilities of interiors basing us on technical norms of luminotecnia and up-to-date catalogs.

Likewise the recommendations that show up will settle down primarily for interior locals in that are carried out works, although they are also applicable in general sense in other leases.

ÍNDICE

CERTIFICACION	ii
AUTORIA	ii
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
SUMMARY	vi
1. TEMA:	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD	3
3.1 LUMINARIAS	3
3.2 RENDIMIENTO O EFICIENCIA DE UNA LUMINARIA	4
3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO RESPECTO A UN PLANO HORIZONTAL	5
3.3.1 SISTEMA DIRECTO	6
3.3.2 SISTEMA SEMIDIRECTO	7
3.3.3 SISTEMA GENERAL DIFUSO O MIXTO	8
3.3.4 SISTEMA SEMIINDIRECTO	9
3.3.5 SISTEMA INDIRECTO	10
3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS RESPECTO AL TIPO DE LÁMPARAS ...	15
3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS POR LA FORMA DE DISTRIBUIR EL FLUJO	15
3.4.1.2 DIFUSORES	15
3.4.1.3 REFLECTORES	16
3.4.1.4 REFRACTORES	17
PROTECCIÓN	17
3.5 REQUERIMIENTOS PARA UNA BUENA ILUMINACIÓN	18
3.5.1 NIVELES DE ILUMINACIÓN	18
3.6 MÉTODOS DE ALUMBRADO	20
3.6.1 ALUMBRADO GENERAL	21
3.6.2 ALUMBRADO LOCALIZADO	22
3.6.3 ALUMBRADO INDIVIDUAL	23
3.6.4 ALUMBRADO COMBINADO O LOCAL MÁS ALUMBRADO GENERAL.	24
3.6.5 ALUMBRADO SUPLEMENTARIO	25
LUMINOTÉCNICOS	27

4.1 ILUMINACIÓN EN LOCALES DE TRABAJO	27
4.2 LUMINANCIA Y CONTRASTE	31
4.3 ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA	32
4.4 DESLUMBRAMIENTO	34
4.5 CONTRASTE	37
4.6 COLOR	38
4.7 TEMPERATURA DE COLOR	39
4.7 DIFUSIÓN DE LA LUZ	44
5. METODOLOGÍA	45
6. RESULTADOS	47
ALUMBRADO DE INSTALACIONES INTERIORES	47
6.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL MEDIO DE ILUMINACIÓN REQUERIDO	50
MÉTODOS DE ALUMBRADO	51
CROMÁTICO DE LA MISMA	54
6.5 ELECCIÓN DE LA ALTURA DE SUSPENSIÓN DE LOS APARATOS DE	55
ALUMBRADO	55
6.6 DISTRIBUCIÓN O ESPACIAMIENTO DE LOS APARATOS DE ALUMBRADO	56
6.7 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL LOCAL	59
6.7.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DEL LOCAL (K)	59
6.8 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN (U)	60
DEPRECIACIÓN	66
6.10 CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO TOTAL	66
6.11 CÁLCULO DEL NÚMERO DE LÁMPARAS Y LUMINARIAS	67
6.12 DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS	67
6.13 TABLAS PARA EL CÁLCULO DEL PROYECTO DE ALUMBRADO	68
INTERIOR	68
6.13.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN	68
6.14 RENDIMIENTO DE APARATO DE ALUMBRADO	80
6.15 FACTORES DE REFLEXIÓN DE TECHO Y PAREDES	80
6.16 ÍNDICE DEL LOCAL	81
6.17 DISTRIBUCIÓN DE LOS APARATOS DE ALUMBRADO	81
6.18 FACTORES DE DEPRECIACIÓN	81
7. ORIENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS	83
7.1. ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 1	83
7.1.1 PROYECTO DE ILUMINACIÓN GENERAL DE UNA SALA DE DIBUJO.	83

7.2 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 2	89
INDUSTRIAL.	89
7.2.1 PROYECTO DE ILUMINACIÓN GENERAL PARA UNA NAVE	89
8. CONCLUSIONES	93
9. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95

1. TEMA:

**METODOLOGÍA PARA REALIZAR CÁLCULOS
LUMINOTÉCNICOS DE ALUMBRADO DE
INSTALACIONES INTERIORES.**

2. INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, la luminotecnia estuvo centrada en el estudio de la visión, es decir, determinar cuanta luz se necesita para cada tarea y los métodos o medios para lograr esos niveles de iluminación. El creciente costo de la energía lleva a los fabricantes de luminarias y equipos auxiliares a dar soluciones cada vez más económicas y eficientes, la función de la luz va mucho más allá de simplemente ver, genera actitudes en la gente y transmite mensajes, el entorno visual ha de permitir que los detalles esenciales de la tarea sean fáciles de ver y que queden excluidos o controlados adecuadamente los factores adversos que pueden provocar una molestia visual.

La finalidad de esta investigación es la de establecer recomendaciones básicas para la creación de buenas condiciones de visión y un entorno visual cómodo por medio de una iluminación adecuada, el entorno visual ha de permitir que los detalles esenciales de la tarea sean fáciles de ver y que queden excluidos o controlados adecuadamente los factores adversos que pueden provocar una molestia visual.

Las recomendaciones que se presentaran se establecerán primordialmente para locales interiores en que se realizan trabajos, aunque son también aplicables en sentido general en otras locaciones, donde se reconoce la necesidad de una buena administración de la energía y de esquemas de iluminación que sean económicos. Sin embargo, esto no debe conducir a una disminución de las normas de iluminación ya bien arraigadas y que promueven un trabajo eficaz, la seguridad y el bienestar.

Las recomendaciones se elaboraran en base a la investigación de los aspectos relativos a la cantidad y calidad de la iluminación y en la amplia experiencia obtenida al estudiar instalaciones existentes.

Debe tenerse presente que la iluminación no es una ciencia exacta, se relaciona con las personas y con las cosas, y la iluminación en un local específico no es buena si a los ocupantes no les gusta. La conciencia del hecho de que la iluminación es tanto un arte como una ciencia es fundamental, realmente, para una apreciación plena de lo que es importante en la iluminación de locales.

3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

En esta investigación se plantea una metodología para realizar cálculos luminotécnicos para proyectos de alumbrado de instalaciones interiores, los proyectos de alumbrado de interiores se diferencian fundamentalmente de los exteriores en que debido a los fenómenos de reflexión, se producen con facilidad efectos fisiológicos nocivos. Por otro parte, mediante estas mismas reflexiones, se puede reforzar la iluminación en el plano de trabajo, y por ello económicamente resulta esta circunstancia favorable. Por las numerosas posibilidades de acabado existentes, la importancia que en el alumbrado a proyectar tiene la reproducción de los colores, la cantidad de horas aproximadas de utilización anual, la arquitectura, ambiente del lugar la buena iluminación en el sector industrial es un factor de productividad y de rendimiento en el trabajo, en el caso del alumbrado comercial es un factor de atracción para el público, en el caso de alumbrado domestico se mejora el confort visual y se hace más agradable y acogedora la vida familiar.

El diseño de una instalación de alumbrado depende de muchos factores y se lleva a cabo mediante el análisis previo de la tarea visual y sus necesidades particulares de iluminación.

Para la proyección de la iluminación de interiores es necesario tener conocimiento de los siguientes aspectos que se mencionan en los siguientes acápites de esta investigación.

3.1 LUMINARIAS

Definimos las luminarias, como los aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación.

Cualquier luminaria debe cumplir los requisitos siguientes:

- 1) Hacer de soporte y de conexión eléctrica para la lámpara que alberga.
- 2) Controlar y distribuir la luz emitida por las lámparas.
- 3) Ser fácil de montar, desmontar y limpiar.
- 4) Tener fácil acceso a la lámpara y al equipo eléctrico.

- 5) Tener buen rendimiento luminoso.
- 6) Construir luminarias reducidas en determinadas direcciones.
- 7) Poseer un material adaptado a las condiciones de trabajo previstas.
- 8) Tener un aspecto agradable.
- 9) Resultar económicas.

3.2 RENDIMIENTO O EFICIENCIA DE UNA LUMINARIA

El rendimiento (η léase eta) de una luminaria se deduce de la relación entre el flujo luminoso que sale del aparato (ϕ_a) y el emitido por la lámpara (ϕ_e) figura 1.

$$\eta = \frac{\phi_a}{\phi_e}$$

Ecuación 1

El rendimiento depende de los materiales empleados en la construcción del aparato (en particular, del poder reflectante propio de los materiales o de las pinturas empleadas) de la forma del propio aparato y de los medios utilizados para apantallar la fuente de luz. Depende, además, de las condiciones de la instalación e, incluso, en algunos casos, de la temperatura ambiente.

Otro factor que condiciona notablemente el rendimiento de las luminarias es el estado de conservación de las características iniciales: un mal mantenimiento (por ejemplo, falta de limpieza) hace que aquel decaiga sensiblemente.

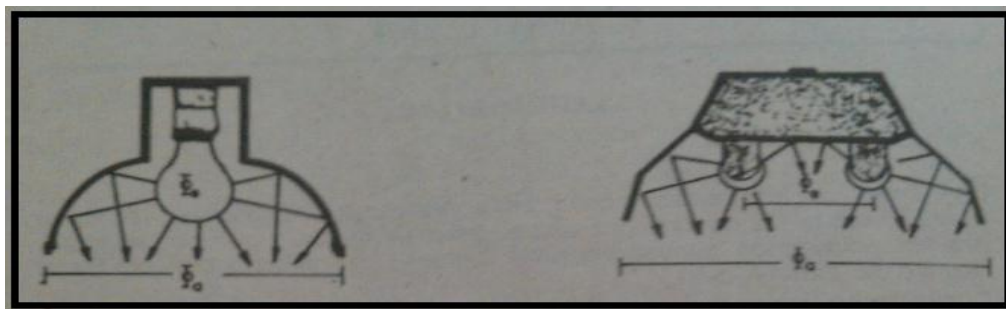


Figura 1

El diagrama de la figura 2 demuestra de qué forma la eficiencia inicial de un aparato disminuye sensiblemente en el transcurso de seis meses si no se procede a efectuar un mantenimiento periódico (por ejemplo, cada 3 meses).

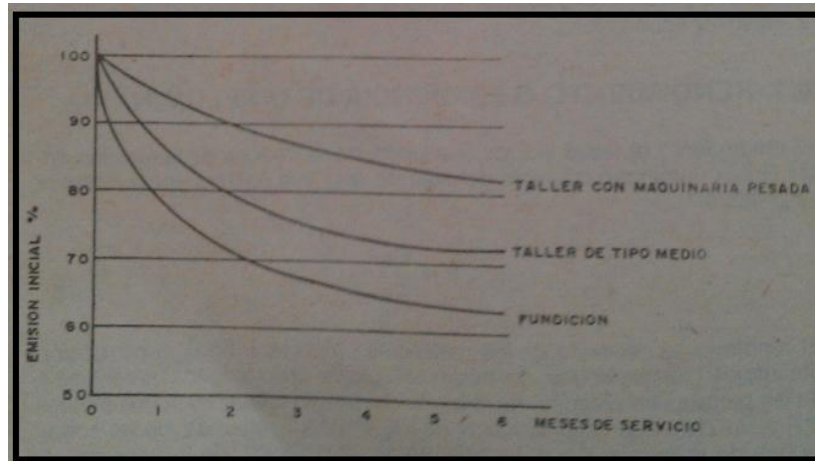


Figura 2

3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO RESPECTO A UN PLANO HORIZONTAL

Las luminarias para iluminación general de interiores se clasifican de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso emitido por debajo, y por encima de un plano que pase por el eje de la fuente de luz. El flujo luminoso emitido por una lámpara se transmite en todas las direcciones del espacio, originando un volumen de luz como el de la figura 3 correspondiente al de una lámpara incandescente estándar de 60 W.

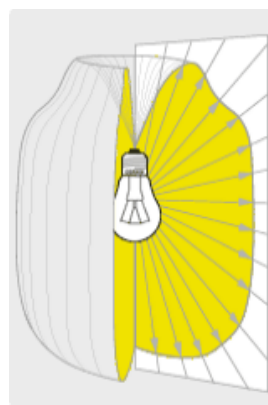


Figura 3 Representación gráfica del flujo luminoso de una lámpara incandescente

El uso adecuado de los reflectores especulares, con la forma correspondiente al reparto del flujo luminoso que se precise es el que, basándose en el efecto de la reflexión, permite organizar el flujo luminoso según los siguientes sistemas.

- 1) Sistema directo
- 2) Sistema semidirecto
- 3) Sistema general difuso o mixto
- 4) Sistema semiindirecto
- 5) Sistema indirecto

3.3.1 SISTEMA DIRECTO

En este caso (figura 4) del 90 al 100 % del flujo luminoso se dirige hacia el suelo o al plano de trabajo, en ángulos por debajo de la horizontal; de esta forma toda la iluminación está dirigida sobre la superficie de utilización. Desde el punto de vista referido, este es el sistema más eficaz a los efectos de producir luz desde un enfoque cuantitativo, ya que al dirigirse el flujo luminoso hacia abajo no existe absorción en el techo y es muy escasa en paredes.

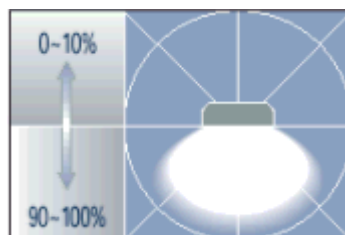


Figura 4 Alumbrado de tipo directo

Al concentrar las luces sobre el plano útil se reducen al mínimo el número de puntos de luz; pero, al mismo tiempo aumenta el riesgo de molestias, a causa de los reflejos brillantes. Evidentemente, las luces de este tipo exigen una superficie reflectora colocada superiormente de tipo especular, que refleja la luz hacia abajo en un gran porcentaje. De esta forma los techos quedan en la oscuridad o con una muy pequeña iluminación, por lo que este tipo de iluminación es muy adecuado en fábricas y locales de techos altos, como por ejemplo, los

recintos deportivos. Se pueden completar adecuadamente con iluminación cenital (se encuentra perpendicular respecto del suelo), mediante claraboyas y techos lo más transparentes posibles, para crear zonas de alto nivel de iluminación en determinados lugares.

Si bien ocasionalmente puede ser necesario unir al reflector un elemento denominado *difusor* (puede ser de vidrio, plástico o rejilla metálica), el uso de estos elementos difusores es innecesario en aquellos locales donde se instalen las luminarias a una altura suficientemente alta (aproximadamente más de 5 m), con los reflectores abiertos parcialmente en la parte superior para que una fracción de la luz que emitan fluya hacia arriba y se reduzca de esta manera el contraste entre el techo y la luminarias. De esta forma, además se reduce notablemente el ensuciamiento de lámparas y luminarias. En cualquier caso la abertura debe ser muy reducida, para que la fracción del flujo sobre la horizontal no supere el 5 % del total.

3.3.2 SISTEMA SEMIDIRECTO

Del 60 al 90 % de la luz se dirige hacia abajo en ángulos por debajo de la horizontal (ver figura 5) y queda el techo menos oscuro que en el caso anterior, manteniendo, sin embargo, un buen rendimiento y uniformidad; aunque sin llegar a la eficacia del sistema anterior.

En efecto para lograr los mismos niveles de la iluminación directa, es necesario un número de puntos de luz muy superior al de esta.

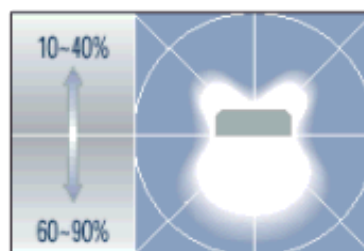


Figura 5 Alumbrado semidirecto

Este tipo de iluminación es muy recomendable para oficinas, escuelas, aulas de universidad, etc., porque la mayor parte del flujo luminoso recae sobre la superficie de trabajo, y quedan las paredes y techos iluminados moderada y agradablemente, con ausencia de brillos y sombras, además de obtenerse una buena uniformidad, todo lo cual hace que el efecto

lumínico espacial sea acogedor y confortable. Evidentemente, las superficies de los locales de este tipo suelen ser con frecuencia grandes, por lo cual el emplazamiento de las luminarias se debe realizar acorde con el módulo de las ventanas y paralelamente a ellas.

Es también imprescindible que los acabados de las paredes laterales, y particularmente del techo sean claros.

Una solución muy adecuada consiste en la integración de este tipo de iluminación artificial con la natural, lograda mediante dientes de sierra o cúpulas luminosas, con lo que se evitan los contrastes del techo, y desaparecen prácticamente, las sombras. En general, este sistema de alumbrado se puede completar de forma adecuada con algún alumbrado adicional directo en puntos específicos (ejemplo la pizarra de las aulas, zonas de ensamblaje de piezas pequeñas en la industria, etc.), con lo cual el resultado final es muy favorable.

3.3.3 SISTEMA GENERAL DIFUSO O MIXTO

Prácticamente se dirige la misma cantidad de flujo luminoso hacia la parte superior, que hacia la inferior, según se aprecia en la figura 6. Quizá un tubo fluorescente libre, sin reflector incorporado, es el que indique de una forma más intuitiva la curva de distribución luminosa de este tipo de alumbrado.

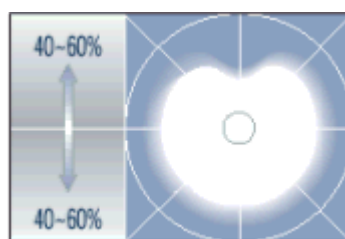


Figura 6 Alumbrado directo-indirecto

La iluminación espacial es ciertamente buena, especialmente con un tratamiento complementario de colores claros (aunque no brillantes), pues con colores oscuros en el recinto resulta antieconómica. Las sombras resultan muy suavizadas, y al ser un reparto muy equilibrado no existen contrastes violentos en ningún lugar del recinto, ni siquiera entre el techo y la propia luminaria.

En el enunciado de este apartado se anexa la iluminación difusa a la directa-indirecta, y ello no es completamente exacto, si bien la diferencia es pequeña, y se reduce a que la cantidad de luz producida en la dirección horizontal resulta, en la difusa, similar a la de las restantes; mientras que la directa-indirecta alcanza valores muy pequeños, casi nulos, en este lugar específico. Para ello se precisa un tipo de luminaria con paredes longitudinales que eviten la emisión de luz en esas direcciones. Este caso es bastante habitual en las cabeceras de las camas en establecimientos hospitalarios, donde eventualmente se simultánea con un alumbrado directo de lectura. La iluminación difusa, por otra parte, es muy favorable para crear un ambiente de descanso y psicológicamente adecuado.

3.3.4 SISTEMA SEMIINDIRECTO

Como se aprecia en la figura 7 del 60 al 90 % de la emisión luminosa se dirige hacia el techo en ángulos por encima de la horizontal, con lo cual el acabado de locales en sus paredes, y especialmente en techos, deben ser buenos reflectores; pues la mayor parte del flujo luminoso dirigido hacia estos se refleja en ellos, lográndose así un buen aprovechamiento de la reflexión, lo que mejora el rendimiento.

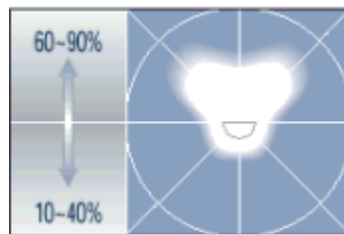


Figura 7 Alumbrado semiindirecto

Se consigue así un alumbrado suave y agradable, con sombras escasas y una buena uniformidad, por lo cual es un tipo de iluminación frecuentemente usada en laboratorios y locales, limpios en general. Generalmente, el apantallamiento de luz hacia abajo se realiza mediante elementos dispersores, tipo pantallas, plásticos, vidrios, etc., de tipo opalino, que permiten un control de luz muy preciso. Así, cada vez son más empleados, en lugar de difusores elementos refractores, los cuales facilitan un control de flujo prácticamente exacto hacia las paredes y techos; por ello son muy usados en este tipo de iluminación, como en el sistema indirecto.

3.3.5 SISTEMA INDIRECTO

Como se aprecia en la figura 8 en este último sistema todo el flujo luminoso (por lo menos el 90 % de la luz emitida) se dirige hacia arriba en ángulos por encima de la horizontal, repartiéndose uniformemente y reflejándose hacia el suelo. Por lo tanto, la luz que llega hacia este es consecuencia, fundamentalmente, de la reflexión, por lo cual es necesaria una frecuente renovación de la pintura del techo para mantener continuamente las condiciones originales.

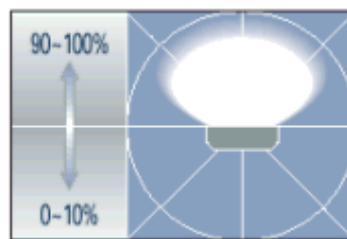


Figura 8 Alumbrado indirecto

Su gran ventaja reside en que prácticamente no existen en el local iluminado sombras ni brillos, por lo que este tipo de alumbrado es muy recomendable para toda clase de usos, incluidos los de lectura, trabajo, etc. Sin embargo como para lograr estos efectos son necesarias luminarias con reflectores inferiores o incluso espejos o chapas metálicas dirigiendo el flujo hacia arriba, por lo general se emplean en usos muy específicos. Por ejemplo, el caso del deterioro de las obras de arte al recibir directamente la luz es de sobra conocido, así como por ejemplo, el de numerosos objetos sensibles a ella, como alimentos, etc., permite un uso muy racional de este tipo de iluminación que puede completarse con un alumbrado adicional puntual mediante raíles electrificados y lámparas de pequeña potencia.

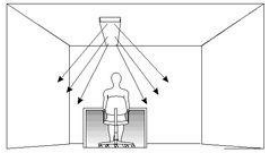
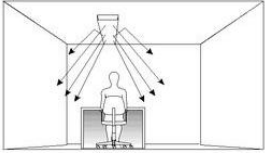
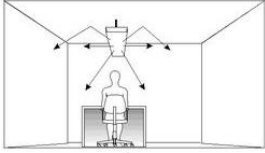
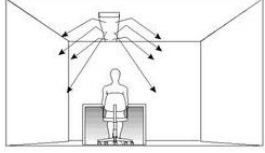
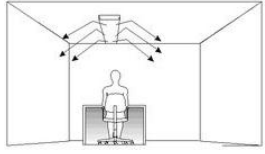
En la tabla 1 se resumen estos cinco sistemas, así como en las figuras 9 a la 17 se dan varios ejemplos de instalación de luminarias, de acuerdo con estos sistemas.

Además, se indica que la selección de los distintos materiales reflectores se debe realizar con atención. Los materiales de reflexión especular, espejo y chapas metálicas principalmente, se deben emplear donde es necesario un control exacto de la trayectoria de los rayos. La reflexión difusa, realizada mediante plásticos es, en este sentido, puesta, y no existe control direccional, sino que la luz es reflejada en todas direcciones. Ambos tipos exigen por lo tanto, acabados coherentes en los techos, donde sufren su segunda reflexión antes de llegar la onda

luminosa a los planos de trabajo, pues si bien este sistema es interesante desde un punto de vista cualitativo, su factor de utilización y rendimiento es pobre.

Por ello se debe estudiar en estrecha relación con el tratamiento de techos, para no disminuir aún más su utilización. En todo caso es de mucha importancia un buen mantenimiento y limpieza de las luminarias, para obtener el rendimiento esperado.

Tabla 1 Resumen de los sistemas de iluminación

Representación y distribución del flujo luminoso	Sistemas
	<p>Directa El flujo luminoso está dirigido hacia abajo. Este tipo de aparatos permite obtener rendimientos elevados.</p>
	<p>Semidirecta El flujo luminoso está dirigido en gran parte hacia abajo y en parte hacia arriba.</p>
	<p>Mixta El flujo luminoso está distribuido casi por igual, tanto hacia abajo como hacia arriba.</p>
	<p>Semiindirecta El flujo luminoso se dirige principalmente hacia arriba.</p>
	<p>Indirecta El rendimiento es bajo y la visión poco nítida por la falta total de efectos de sombra.</p>

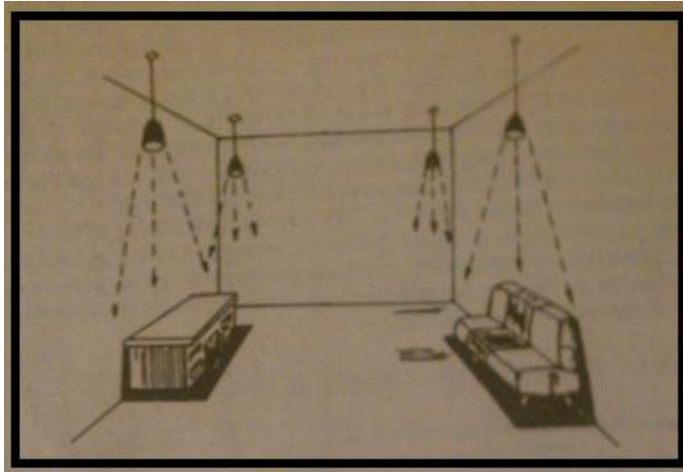


Figura 9 Instalación para iluminación directa, con aparatos de alumbrado para lámparas incandescentes

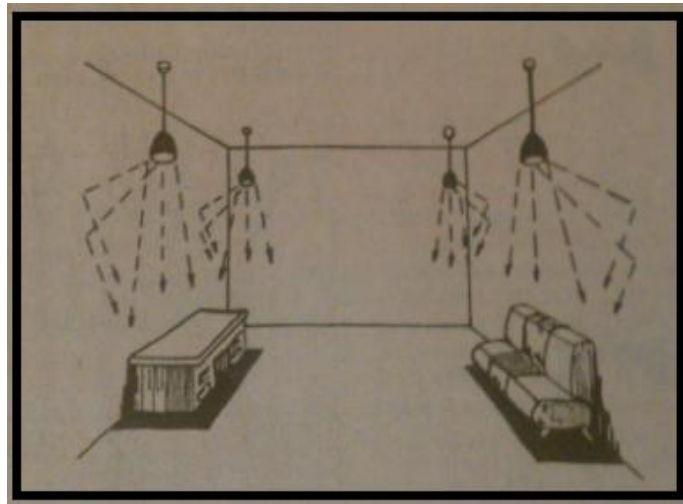


Figura 10 Instalación para iluminación semidirecta con aparatos de alumbrado para lámparas incandescentes

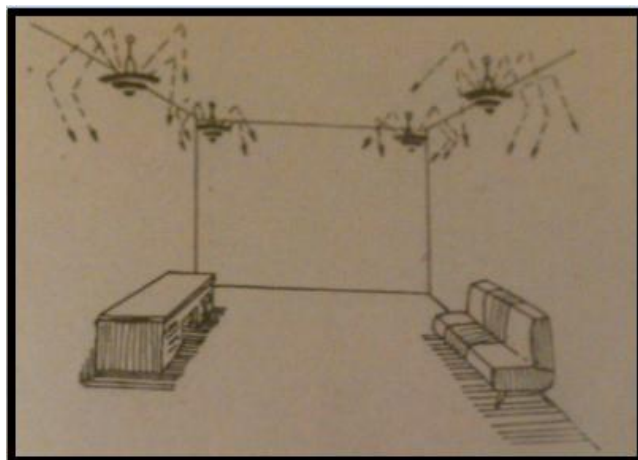


Figura 11 Instalación para iluminación indirecta con aparatos de alumbrado para lámparas incandescentes

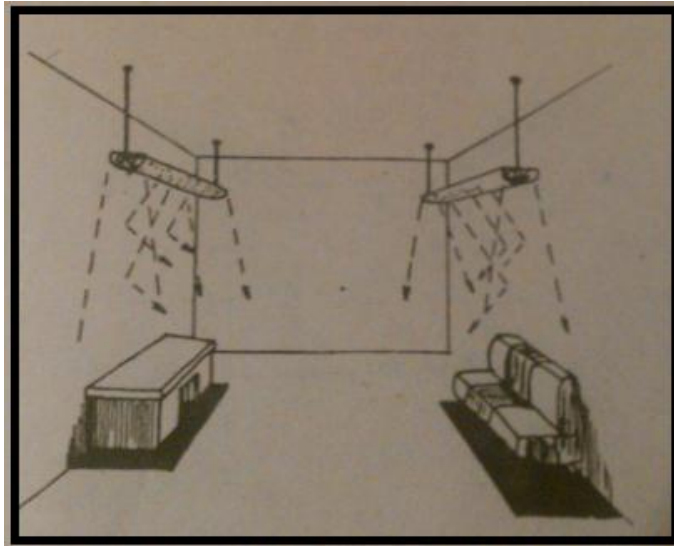


Figura 12 Instalación para iluminación semidirecta con aparatos de alumbrado para lámparas fluorescentes

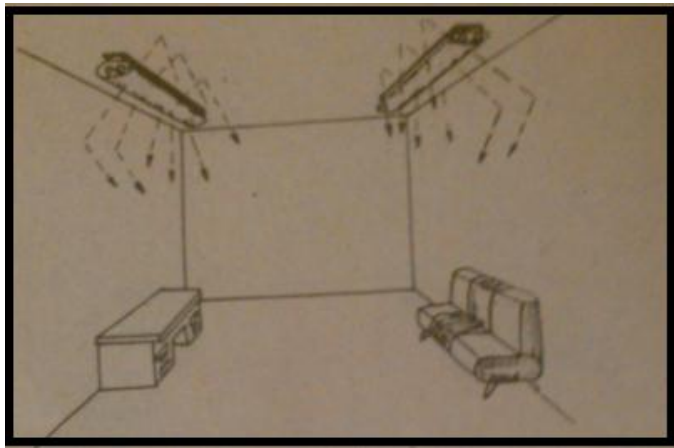


Figura 13 Instalación para iluminación difusa con aparatos de alumbrado para lámparas fluorescentes

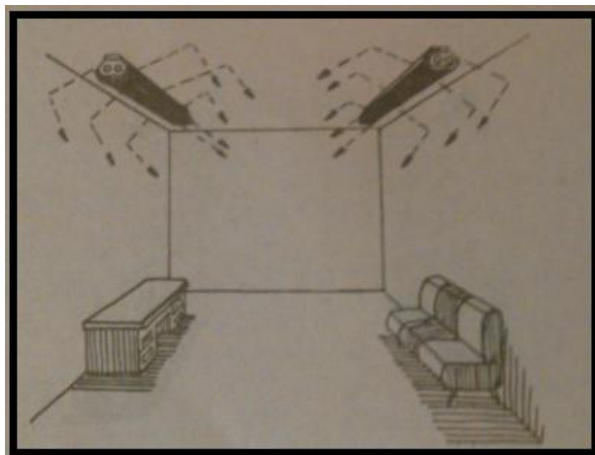


Figura 14 Instalación para iluminación semiindirecta con aparatos de alumbrado para lámparas fluorescentes

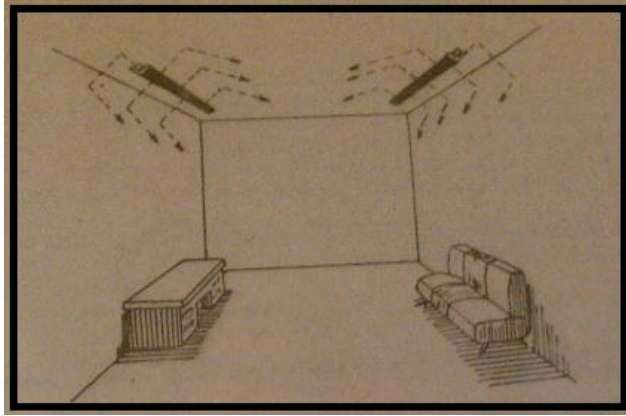


Figura 15 Instalación para iluminación indirecta con aparatos de alumbrado para lámparas fluorescentes

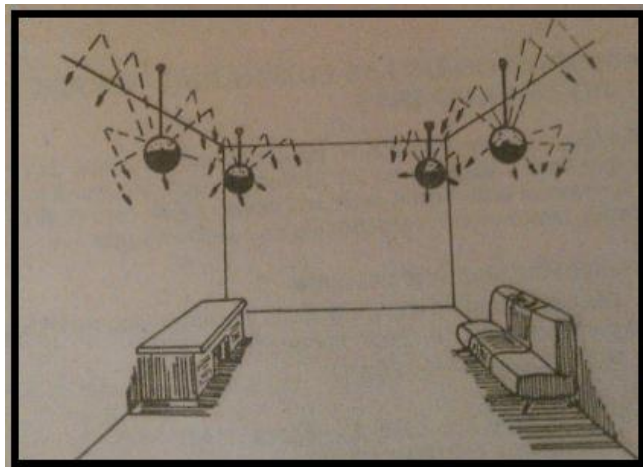


Figura 16 Instalación para iluminación semiindirecta con aparatos de alumbrado para lámparas incandescentes

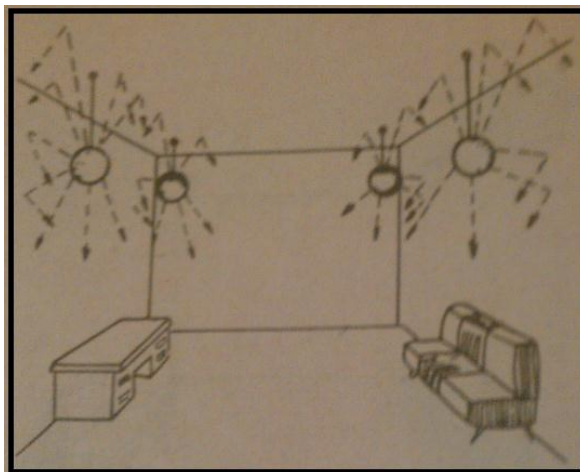


Figura 17 Instalación para iluminación difusa con aparatos de alumbrado para lámparas incandescentes

Como resumen de todo lo anterior se puede decir que, los rendimientos aproximados medios se pueden establecer como sigue: sistemas directos: 45-50 %; sistemas semidirectos: 40 %; sistemas difusos: 35 %; sistemas directo-indirectos: 30 %; sistemas semiindirectos: 25 %; y sistemas indirectos: 20 %.

3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS RESPECTO AL TIPO DE LÁMPARAS

Es difícil establecer una clasificación de las luminarias con respecto al tipo de lámpara que llevan, excepto en las luminarias para lámparas fluorescentes; por lo general una misma luminaria puede servir para distintos tipos de lámparas. Desde este punto de vista se pueden agrupar en:

- 1) Luminarias para lámparas incandescentes.
- 2) Luminarias para lámparas de vapor de sodio y halogenuros metálicos.
- 3) Luminarias para lámparas de vapor de mercurio.
- 4) Luminarias para lámparas fluorescentes.

3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS POR LA FORMA DE DISTRIBUIR EL FLUJO

Las luminarias modifican la distribución del flujo luminoso emitido por las fuentes de luz, con el objetivo de dirigirlo en determinadas direcciones atenuando el deslumbramiento u ocultando parcial o totalmente la visión de la lámpara.

Las luminarias se clasifican en: difusores, reflectores y refractores.

3.4.1.2 DIFUSORES

Están formados por envoltentes opalinas de vidrio o material plástico, en cuyo interior se coloca la lámpara y son adecuados para la ejecución de sistemas de iluminación semiindirecta, difusa o semidifusa, ya que el flujo luminoso se distribuye de un modo casi

uniforme en todas direcciones. Disminuyen la luminancia de la lámpara y, por lo tanto, atenúan el deslumbramiento.

Parte del flujo luminoso emitido por la lámpara es absorbido por el material empleado en la fabricación de la luminaria (vidrio esmerilado u opalino del 10 al 20 %); en los difusores del tipo lechoso la absorción es elevada (del 30 al 40 %). No son adecuados para grandes potencias; generalmente están previstos para albergar lámparas de incandescencia entre 40 y 200 W o lámparas fluorescentes tubulares normales (lineales, circulares o en U) , en la figura 18 se aprecia este detalle.



Figura 9

3.4.1.3 REFLECTORES

Están formados por superficies especulares (aluminio pulido, vidrio plateado, plancha de hierro esmaltada de blanco, etc.) que reflejan en determinadas direcciones la luz emitida por la lámpara (en un haz ancho o estrecho, según los tipos). Si su construcción es racional se puede conseguir un elevado rendimiento en la figura 19 se presenta un ejemplo.



Figura 10

Los proyectores entran en la categoría de los reflectores. Sirven para concentrar la luz en una dirección bien definida, generalmente sobre superficies delimitadas, en la figura 20 se presenta un ejemplo.



Figura 11

3.4.1.4 REFRACTORES

Están constituidos por recipientes de material transparente dotados de una profunda cavidad, cuyo perfil y orientación han sido predeterminados a fin de modificar notablemente la distribución del flujo luminoso, disminuyen sensiblemente el deslumbramiento.

Algunas luminarias pueden ser, a la vez, proyectores y refractores, por ejemplo el faro de un automóvil está constituido por un proyector (concentración de la luz) y un refractor (pantalla frontal de vidrio prensado, dotado de acanaladuras prismáticas).

3.4.1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS CON RESPECTO A SU PROTECCIÓN

De acuerdo con la forma en que las luminarias protegen a las lámparas de daños de origen mecánico o ambiental e impiden el acceso a las partes sometidas a tensión, evitando contactos directos, las luminarias para interiores se clasifican como se muestra en la tabla2.

Tabla 2 Clases de protección para luminarias

Grado de protección	Según	Norma	Protección contra		
	DIN 40050	VDE 0710			
IP20			Contacto de los dedos	Entrada de cuerpos extraños de tamaño medio	
IP21			Contacto de los dedos	Entrada de cuerpos extraños de tamaño medio	Agua de goteo

IP22	Contacto de los dedos	Entrada de cuerpos extraños de tamaño medio	Agua de lluvia
IP30	Contacto de herramientas	Entrada de cuerpos extraños de pequeño tamaño	—
IP33	Contacto de herramientas	Entrada de cuerpos extraños de pequeño tamaño	Agua salpica
IP43	Contacto de herramientas	Acumulaciones de polvo en su interior	Chorro de agua
IP44	Contacto de herramientas	Acumulaciones de polvo en su interior	Chorro de agua sin presión
IP54	Contacto de herramientas	Entrada de polvo	Chorro de agua
IP55	Contacto de herramientas	Entrada total de polvo	Chorro de agua a presión
Existen otros grados de protección para armaduras antideflagrantes.			

Nota: En rigor, las normas consideran también otros tipos de protección, pero hemos preferido limitarnos a las previstas para interiores, por cuanto esta investigación se ocupa exclusivamente de la iluminación interna. Tal como se señala, los diversos tipos de protección están contraseñados con dos cifras: la primera indica el grado de protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños y polvos; la segunda indica el grado de protección contra la penetración de líquidos.

3.5 REQUERIMIENTOS PARA UNA BUENA ILUMINACIÓN

Sin luz no hay visión, pues el ojo humano no puede transmitir a nuestro cerebro ninguna información de todo cuanto nos rodea.

Para obtener una buena iluminación hay que tener en cuenta la cantidad y calidad de la luz, y los factores fundamentales para lograr esto son los siguientes:

- 1) Nivel de iluminación
- 2) Deslumbramiento
- 3) Contraste
- 4) El color
- 5) Difusión de la luz

3.5.1 NIVELES DE ILUMINACIÓN

El nivel de iluminación es solo una de las características de las instalaciones luminosas. Es obvio que sin una iluminación adecuada no se puede llevar a cabo ninguna tarea visual de un modo correcto, rápido y seguro.

El nivel de iluminación es la cantidad de luz que hay que proporcionar al plano de trabajo. Donde no exista un área de trabajo definida, la iluminación se mide en un plano horizontal, a 80 cm sobre el nivel del piso terminado.

Las exigencias para una buena iluminación varían según varios factores, tales como:

- a) La naturaleza de la actividad
- b) La dificultad de la tarea visual
- c) El tamaño y el brillo del objeto
- d) El contraste
- e) El tiempo de realizar el trabajo
- f) La situación del entorno

Se ha investigado sobre esto a lo largo de muchos años, usando diversos métodos y criterios de medida visual. Todos los estudios basados en ensayos han mostrado que el rendimiento visual aumenta sin límite con la iluminación. Estos estudios permiten cifrar el rendimiento óptimo con una iluminación de 5000 lx. Como no se puede adoptar una iluminación de 5000 lx, los diferentes países deciden los diversos niveles de iluminación a partir de porcentajes de este valor óptimo.

Los niveles de iluminación recomendados dependen del rendimiento luminoso de las fuentes de luz disponibles y de la economía de cada país. Las lámparas fluorescentes propiciaron que se sobrepasaran notablemente de los valores de iluminación adoptados antes de la Segunda Guerra Mundial, cuando solo se disponía de lámparas incandescentes. Todo progreso en la técnica de las fuentes luminosas se traduce, por iluminaciones recomendadas cada vez mayores.

Los niveles de iluminación adoptados y que aparecen son tomados de la norma que establece la comisión internacional de iluminación (CIE), son la iluminación sobre el plano de trabajo horizontal y a una altura de 80 cm del nivel de piso terminado.

Estos valores no se deben tomar como iniciales, sino que son los valores del nivel de iluminación mínimo recomendado para cualquier punto del plano de trabajo.

Esto significa que la instalación se debe proyectar de tal manera, que ni la suciedad sobre las luminarias, las lámparas, las paredes, los techos, ni la disminución normal en la emisión luminosa de las lámparas en sí, hagan disminuir la iluminación por debajo del nivel recomendado.

Estos valores no representan el máximo en el confort visual y son los valores asequibles y prácticos en el estado actual del arte de la iluminación y los rendimientos económicos.

Si se comparan los niveles de iluminación que aparecen en las normas con los valores de la naturaleza, se obtiene el resultado de la tabla 3.

Tabla 3 Niveles de iluminación representativos (lx)

Luz de las estrellas	0,002
Luz de la luna	0,20
Luz del día:	
Ventanas orientadas al norte	500-2000
Al exterior, a la sombra	1000-10000
Directamente a los rayos solares	50000-100000
Alumbrado artificial oficinas	300
Alumbrado artificial comedores	150

Para obtener los niveles de iluminación en puntos de trabajo o áreas de trabajo, se pueden colocar las luminarias según el método de alumbrado seleccionado. A continuación se describen brevemente.

3.6 MÉTODOS DE ALUMBRADO

En este epígrafe se hace referencia a la concentración de luz necesaria para efectuar una tarea determinada. No hay que confundir los métodos de alumbrado con los sistemas de iluminación. En efecto, en cada uno de los métodos de alumbrado que se reseñan, se puede utilizar cualquiera de los sistemas de iluminación anteriormente explicados.

Los métodos de alumbrado pueden ser:

- a) General
- b) Localizado

- c) Individual
- d) Combinado
- e) Suplementario

3.6.1 ALUMBRADO GENERAL

Es un método de distribución uniforme de la luz que produce, en todos los lugares de un interior, idénticas condiciones de visión, es el más empleado en oficinas, aulas de escuelas, fábricas, etc., y, en general, donde se pretenda asegurar buenas condiciones generales de alumbrado.

Un sistema de alumbrado general proporciona la iluminación que se requiere sobre el plano horizontal con un determinado grado de uniformidad. La iluminación media deberá ser igual a la que requiere la tarea específica visual. La iluminación general se obtiene mediante una colocación regular de las luminarias bajo el área total del techo en filas continuas que mantienen la misma separación (figuras 21 y 22).

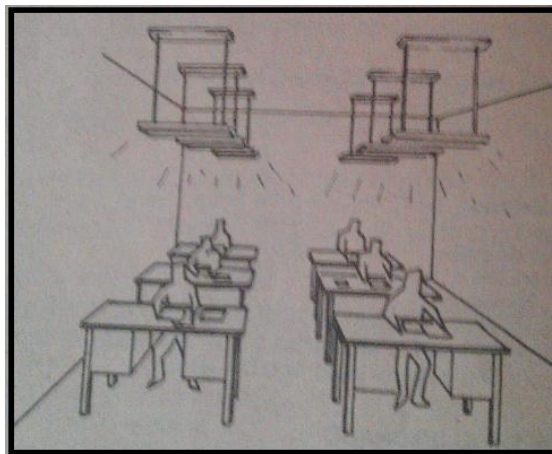


Figura 21 Instalación de alumbrado general

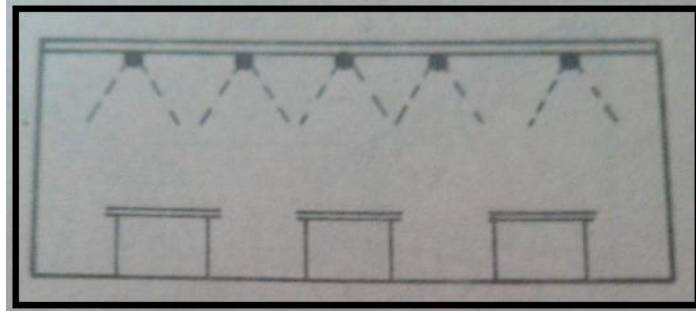


Figura 22

3.6.2 ALUMBRADO LOCALIZADO

Un sistema de alumbrado localizado proporciona una iluminación no uniforme del local. En los puestos de más interés, la iluminación debe ser lo suficientemente alta, mientras que en los otros sitios (zonas de paso), la iluminación queda limitada normalmente al 50 % de la que correspondería al motivo de la tarea visual.

En muchas naves industriales se agrupan las máquinas en sitios determinados (por ejemplo, arrimadas a la pared); por lo tanto, no es necesario mantener un nivel uniforme de iluminación en toda la nave. Se suspenden más bajos los equipos de alumbrado que en el caso anterior y, además, se agrupan estos de forma que sobre las máquinas se alcancen elevados niveles de iluminación, y al mismo tiempo, se asegura sobre los pasillos y zonas circundantes de las máquinas una iluminación general suficiente para eliminar los fuertes contrastes de iluminación (que producirían deslumbramiento) y mantener buenas condiciones de seguridad.

El alumbrado localizado se puede obtener concentrando luminarias en ciertas áreas o conmutando algunas dentro de la colocación regular usada para un alumbrado general. Cuando los puestos de trabajo no son permanentes hay que considerar, como primera opción, que puede ser necesario disponer las luminarias de otra forma.

En las figuras 23 y 24 se presentan ejemplos de este método de alumbrado. Las figuras 23 y 24 constituyen ejemplos donde se utilizan las técnicas de este método de alumbrado.

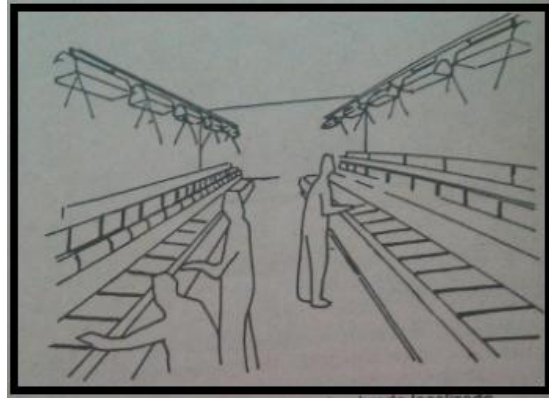


Figura 23 Instalación de alumbrado localizado

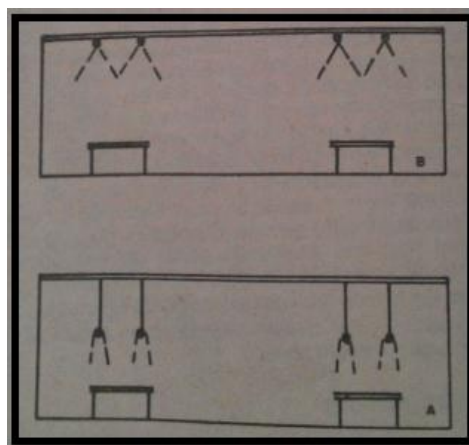


Figura 24 Instalación localizada (A); (B) conmutada

3.6.3 ALUMBRADO INDIVIDUAL

Se utiliza cuando se precisa un alto nivel de iluminación en la zona de trabajo individual, a causa de la precisión de la tarea. El ejemplo más característico de este método de alumbrado lo constituyen las lámparas de sobremesa utilizadas en mesas de despacho, de dibujo, etc. En la figura 25 se aprecia este tipo de alumbrado.



Figura 25 Instalación de alumbrado individual

Se recomienda iluminación local cuando:

- ❖ El trabajo implique exigencias visuales muy críticas, con iluminación de 1000 lx o más.
- ❖ La visión de formas y texturas requiere que la luz venga de una dirección determinada.
- ❖ La iluminación general no alcance a ciertas zonas por los obstáculos existentes.
- ❖ Se necesite mayor nivel de iluminación en beneficio de trabajadores de edad o trabajadores con comportamiento visual deficiente.
- ❖ El área solo esté ocupada parcialmente durante largos periodos.

3.6.4 ALUMBRADO COMBINADO O LOCAL MÁS ALUMBRADO GENERAL.

En muchas ocasiones se obtiene el mejor resultado combinando dos o más métodos de alumbrado. Por ejemplo, véase en la figura 26 un alumbrado combinado, que consta de alumbrado general para la iluminación conjunta del taller, y de alumbrado individual en cada máquina.

En los casos de alumbrado combinado, se debe procurar que la relación de iluminación entre la zona de trabajo y el ambiente general, no exceda de diez a uno en las figuras 26 y 27 se lo puede apreciar.

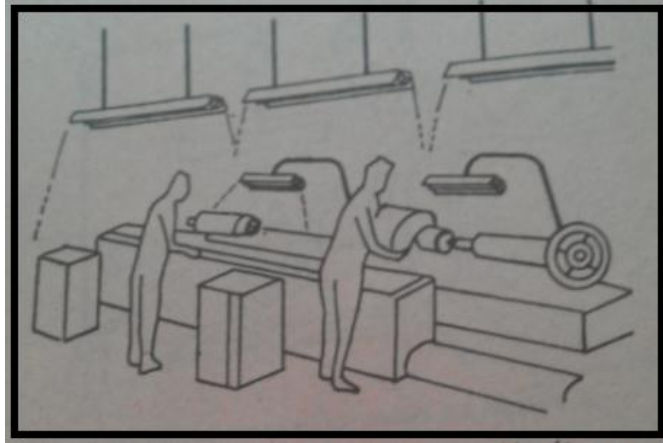


Figura 26 Instalación de alumbrado combinado

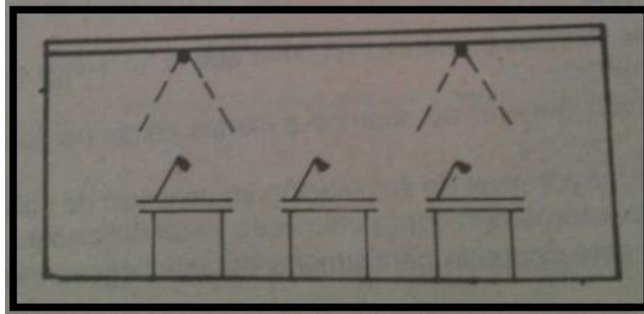


Figura 27 Iluminación local + iluminación general

3.6.5 ALUMBRADO SUPLEMENTARIO

Algunas veces, sobre todo en locales comerciales, vidrieras, etc., se pretende destacar un objeto o un artículo determinado con fines publicitarios o de venta. En este caso, se debe suplantar el alumbrado general por medio de aparatos de alumbrado especiales que concentran la luz, colocados en las cercanías del objeto que se pretende destacar. Por ejemplo, en la figura 28 se muestra cómo se pueden destacar artículos por este procedimiento.

En los siguientes epígrafes, se dan como elemento complementario de este epígrafe las partes más importantes de la Norma establecidas por La CIE sobre iluminación.

Esta norma establece los requisitos generales higiénico-sanitarios en cuanto a los niveles de iluminación.

Se aplica a todos los puestos de trabajo y actividades con excepción de los trabajos en minas bajo tierra, alcantarillado, canalización subterránea de energía y combustible y otros con características similares.

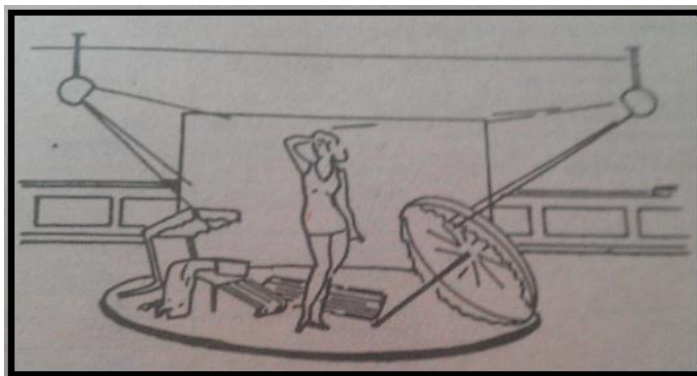


Figura 28 Instalación de alumbrado suplementario

4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES UTILIZADAS EN LOS CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS

Los términos y definiciones utilizadas en esta investigación son los establecidos para la realización de estudios luminotécnicos de interiores.

Sin embargo, resulta conveniente definir algunos términos específicos.

- 1) **Plano de trabajo:** Superficie de referencia formada por un plano sobre el que normalmente se trabaja.

Nota. A los efectos de la Protección e Higiene del Trabajo que rigen en cada país (PHT), sobre este plano se mide y normaliza la iluminación.

- 2) **Campo visual:** Extensión angular de las direcciones del espacio en la que un objeto puede ser percibido estando inmóviles la cabeza y el ojo (o los ojos). El campo puede ser monocular o binocular.

Nota. A los efectos de la PHT, el campo visual comprende unos 180° en el plano horizontal y unos 130° en el plano vertical, 60° por encima del horizontal y 70° por debajo.

- 3) **Objeto de distinción:** Objeto o parte componente del mismo, cuya diferenciación es indispensable para la tarea visual.

4.1 ILUMINACIÓN EN LOCALES DE TRABAJO

Se debe tener las siguientes consideraciones:

- 1) En todas las dependencias de un centro de trabajo donde existan puestos de trabajo y donde haya necesidad de transitar, se garantizará una iluminación natural o artificial o ambas, apropiada para las operaciones y tipos de trabajo que se realizan, la cual cumplirá con lo establecido en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8.

Tabla 4 Niveles mínimos de iluminación de los planos de trabajo

Características del trabajo visual según el tamaño menor del objeto de diferenciación	Contraste del objeto con el fondo	Iluminación	
		General + suplementaria	General
Exactitud mayor por debajo de 1 mm	Pequeño	≥ 2000	500
	Mediano	1000	300
	Grande	750	
Exactitud menor entre 1 y 5 mm	Pequeño	1000	300
	Mediano	750	
	Grande	400	200
Trabajo grueso 5 mm	Pequeño	500	150
	Mediano	300	
	Grande	200	
Observación general del desarrollo del proceso de producción o estado de los equipos			150

Tabla 5 Niveles mínimos de iluminación para locales auxiliares

Denominación	Altura del piso al plano de referencia (m)	Iluminación (lx)
Comedores	0,8	100
Duchas, taquilleros, servicios sanitarios		
Locales de descanso, albergues		70

Tabla 6 Niveles mínimos de iluminación para lugares de peso o permanencia sin esfuerzo visual

Denominación	Altura del piso al plano de referencia (m)	Iluminación (lx)
Escaleras, pasillos exteriores con obstáculos y declives	Sobre el piso	50
		30

Tabla 7 Niveles mínimos de iluminación en otros locales

	Denominación	Altura del piso al plano de referencia (m)	Iluminación
Locales administrativos	Proyectos y diseños	0,8	500
	Mecanografía y contaduría		400
	Gabinetes y oficinas		300
	Operaciones bancarias y correos		
	Archivos		
Establecimientos escolares	Gabinetes para dibujos técnicos		500
	Aulas, auditorios, gabinetes, escolares		300
	Laboratorios		200
	Gabinetes y oficinas de profesores		
Bibliotecas	Salas de lectura		300

Tabla 8 coeficientes de reflexión ρ de algunos colores

Color	Coefficiente
Blanco	0,75 a 0,85
Beige	0,62 a 0,70
Amarillo claro	0,60 a 0,70
Amarillo oscuro	0,50 a 0,60
Rojo claro	0,40 a 0,50
Rojo oscuro	0,15 a 0,30
Bermellón	0,15
Verde claro	0,45 a 0,65
Verde oscuro	0,05 a 0,30
Azul claro	0,40 a 0,60
Azul oscuro	0,05 a 0,20
Azul cobalto	0,15
Pardo	0,12 a 0,25
Gris claro	0,40 a 0,60
Gris oscuro	0,15 a 0,25
Negro	0,01
Marrón claro	0,30 a 0,40
Marrón oscuro	0,10 a 0,20
Rosado	0,45 a 0,55

- 2) En todo centro de trabajo la iluminación estará dispuesta de modo tal que no cause cansancio ni deslumbramiento y cumplirá los siguientes requisitos:
 - ❖ Llegar en cantidad adecuada a toda el área considerada
 - ❖ Llegar en cantidad adecuada al plano de trabajo
 - ❖ Recibirse en la dirección más útil
 - ❖
- 3) Para la iluminación diurna de los centros de trabajo se dará preferencia a la luz natural, aprovechando al máximo las ventajas de la situación geográfica, teniendo en cuenta lo que para la iluminación natural en edificaciones se establezca.
- 4) Los monitores y ventanas se ubicarán de modo que la iluminación natural sea uniforme en la zona de trabajo, asegurando su eficiencia mediante un procedimiento regular de limpieza. Las dimensiones de los monitores y ventanas garantizarán los niveles de iluminación requeridos y si fuera necesario estarán provistos de dispositivos para impedir el deslumbramiento.
- 5) Se dispondrá siempre de una iluminación artificial que garantice los niveles establecidos, en caso de hacerse insuficiente la iluminación natural durante el día y en turnos de trabajo nocturno.
- 6) Para el máximo aprovechamiento de la iluminación artificial se garantizará que:
 - ❖ Se logre una distribución uniforme del flujo luminoso
 - ❖ Las fuentes luminosas se mantengan limpias evitando la acumulación de polvo y suciedades
 - ❖
- 7) Para la iluminación general de los centros de trabajo se utilizará el método directo. En el caso de actividades donde es necesario la discriminación de colores se utilizarán lámparas de espectro corregido.
- 8) En los casos de locales calurosos, por la naturaleza del trabajo que realiza, se emplearán preferentemente lámparas no incandescentes.
- 9) La iluminación general y suplementaria de los planos de trabajo será especialmente diseñada e instalada para la labor particular que se ejecuta y dispuesta de modo o provista de pantallas o aparatos difusores que eviten el deslumbramiento, la fatiga visual y el efecto estroboscópico, a cuyos efectos cumplirán lo establecido en la tabla 4.

- 10) Cuando en un local de trabajo es necesario utilizar simultáneamente iluminación general y suplementaria, la primera no será inferior en intensidad al 10 % de la iluminación suplementaria.
- 11) Con el objetivo de mejorar la iluminación, las paredes de los locales estarán pintadas de colores con un coeficiente de reflexión entre 0,50 y 0,65, los techos se pintarán de blanco y los pisos tendrán un coeficiente de reflexión entre 0,20 y 0,30. Se exceptúan los techos de aquellos locales que por sus características particulares puedan estar barnizados o pintados con colores específicos.

4.2 LUMINANCIA Y CONTRASTE

Para el cálculo de los contrastes de la tabla 4, en esta investigación se utilizará el procedimiento que se establece a continuación.

- 1) La luminancia de la superficie laboral se determina por las siguientes expresiones de cálculo:

- a) Para superficies con reflexión difusa

$$B = \frac{E\rho\alpha}{\pi} \quad \text{Ecuación 2}$$

- b) Para superficies con reflexión dirigida

$$B = Bc\rho e \quad \text{Ecuación 3}$$

- c) Para superficies con reflexión mixta (difusa + dirigida)

$$B = Bc\rho e + \frac{E\rho\alpha}{\pi} \quad \text{Ecuación 4}$$

- d) Luminancia promedio de la superficie

$$B = \frac{B_1S_1+B_2S_2+\dots+B_nS_n}{S_1+S_2+\dots+S_n} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

$B_1; B_2; \dots B_n$: Luminancia de las diferentes secciones del plano de trabajo (cd/m^2)

$S_1; S_2; \dots S_n$: Áreas de las secciones del plano de trabajo (m^2).

E: Iluminación del plano de trabajo (tx).

Bc: Luminación de la fuente luminosa con dirección al campo visual del trabajador (cd/m²).

$\rho\alpha$: Coeficiente de reflexión difusa de la superficie

ρ_e : Coeficiente de reflexión especular del plano de trabajo con dirección al campo visual del trabajador.

- 2) El contraste entre el objeto de distinción y el fondo se determina por la siguiente expresión de cálculo:

$$K = \frac{B_o - B_f}{B_f} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

B_o: Luminancia del objeto (cd/m²).

B_f: Luminancia del fondo (cd/m²).

K: Contraste.

- 3) El contraste se considera, según el valor obtenido, de la siguiente manera:
- ❖ Grande. Cuando los valores de K son mayores que 0,5; de objeto y el fondo se diferencian de manera muy precisa.
 - ❖ Mediano. Cuando los valores de K están entre 0,2 y 0,5; el objeto y el fondo se diferencian, pero en menor grado.
 - ❖ Pequeño. Cuando los valores de K son menores que 0,2; la diferencia de luminancia es muy poca y se hace difícil apreciarla.

4.3 ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA

Se deben considerar los siguientes puntos:

- 1) Los centros de trabajo que laboren en turnos nocturnos, con varios talleres o que tengan más de un piso, tendrán una iluminación de emergencia en las escaleras más

importantes, en las salidas de los lugares de trabajo y en los pasillos que conducen a estas.

- 2) Se instalará la iluminación de emergencia en las máquinas y equipos, cuya interrupción pudiera ocasionar:
 - ❖ Explosión, incendio e intoxicación del personal.
 - ❖ Afectación prolongada de los procesos tecnológicos que puedan provocar daños materiales y humanos.
 - ❖ Afectación del trabajo en los servicios auxiliares de la producción que obligatoriamente tengan que mantenerse en operación.
 - ❖ Peligros de traumatismos en lugares de gran concentración de personas.
 - ❖ Afectación de los servicios a pacientes en salas de operación y cuerpos de guardia.
 - ❖ Otros lugares donde las exigencias de las actividades que se realizan así lo requieran.

- 3) La iluminación de emergencia será capaz de producir y mantener por lo menos durante 1 hora, un nivel de iluminación mínimo de 5 lx. Su fuente de energía será independiente de las instalaciones de iluminación general.

Cuando se trata de una iluminación general, hay que colocar las luminarias de tal manera que den una iluminación, uniforme sobre todo el plano de trabajo, de forma que se logre una buena distribución de la luz; esto depende de la relación entre la altura a que se hallan situados los centros luminosos y las distancias que los separan. En la figura 29 se muestra gráficamente lo anteriormente dicho.

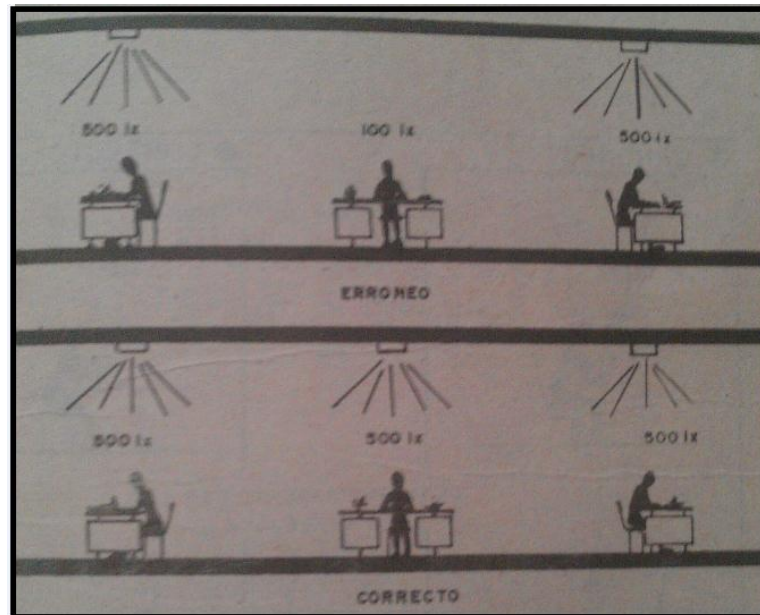


Figura 29 relaciones de iluminación máximas y mínimas bajo luminarias y entre ellas

La relación entre la iluminación máxima bajo las luminarias y la mínima en lugares situados entre dos de ellas, no debe ser nunca mayor de 1.5; y para obtener los mejores resultados se debe acercar todo lo posible a la unidad.

4.4 DESLUMBRAMIENTO

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad para distinguir objetos, a causa de una inadecuada distribución de las luminarias o a contrastes excesivos en el espacio. Los efectos que origina el deslumbramiento son de tipo psicológico o de tipo fisiológico.

En cuanto a la forma de producirse puede ser:

- ❖ Directo: Provocado al observar directamente desde la fuente de luz. Es el más molesto porque produce fatiga y reduce la percepción.
- ❖ Reflejado: Provocado por la incidencia de los mayores luminosos sobre el objeto observado; los cuales dan lugar a rayos reflejados cuyos ángulos de reflexión son iguales y simétricos a los rayos incidentes. Si el fenómeno es acentuado por la alta reflexión del objeto se produce la pérdida de contraste y fatiga visual, en la figura 30 se presenta un ejemplo.

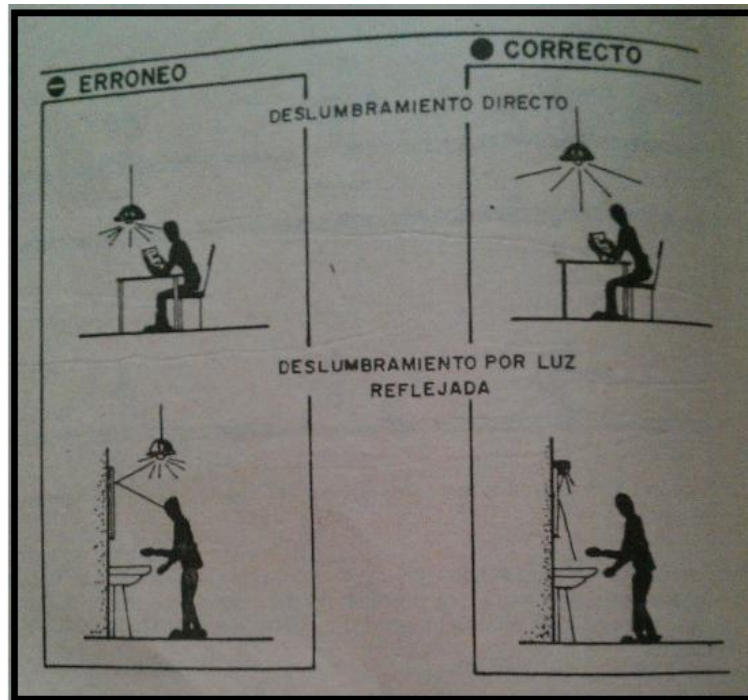


Figura 30 Deslumbramiento por luz reflejada

Los principales factores que intervienen en el deslumbramiento son:

- ❖ Brillo de la fuente: Cuanto mayor sea este, mayor será la molestia y la interferencia con la visión.
- ❖ Tamaño de la fuente: En función de la zona comprendida por un ángulo de 30° respecto al eje visual (En la figura 31 se presenta un ejemplo).
- ❖ Posición de la fuente: El deslumbramiento decrece rápidamente a medida que la fuente se aparte de la línea de la visión. Una luminaria suspendida en el campo de la visión produce mayor deslumbramiento que una montada por encima del ángulo visual normal.

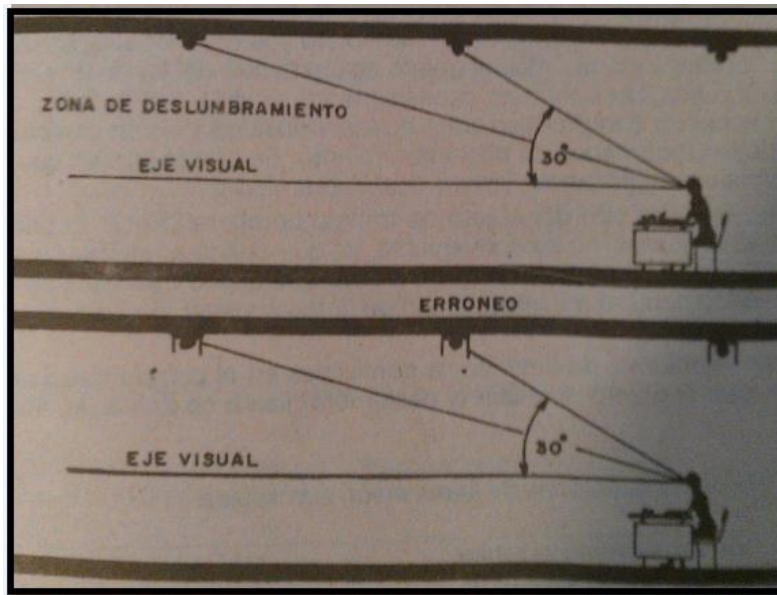


Figura 31 Zona de deslumbramiento en el campo visual

Las fuentes de luz se deben apantallar para evitar el deslumbramiento provocado por estas. En la figura 32 se muestra un ejemplo de luminaria provista de pantalla.



Figura 32 Ejemplo de luminaria: a) De pantalla longitudinal y b) transversal.

- ❖ Relaciones de brillo o luminancias: Cuanto más elevada sea la relación entre los valores de la luminancia del objeto y la del fondo, tanto mayor será el contraste y tanto más el objeto se destacará del fondo en favor de una visión nítida. Un contraste excesivo fatiga la vista, por lo tanto, es necesario buscar un compromiso entre buena visibilidad y visión confortable, evitando los fenómenos de deslumbramiento. Se puede afirmar que a mayor contraste de luminancia, mayor deslumbramiento.

Por ejemplo, un brillo alto del objeto de trabajo comparado con un brillo bajo de los alrededores, no es conveniente, ya que obliga a reajustar continuamente los ojos de un nivel de brillo a otro. Los brillos más altos en el campo periférico tienden a distraer el ojo de la tarea visual, por lo que deben evitarse. Las máximas relaciones de luminancia admisibles en el campo visual del observador, con el objeto de evitar el deslumbramiento se dan en la tabla 9.

Tabla 9 Máximas relaciones de iluminación admisibles.

Entre la tarea visual y la superficie de trabajo	3:1
Entre la tarea visual y el espacio circundante	10:1
Entre la fuente de luz y el fondo	20:1
Máxima relación de luminancia en el campo visual	4:1

4.5 CONTRASTE

Como se mencionó en los epígrafes anteriores, el ojo solo aprecia diferencias de brillo o luminancias. La diferencia de brillo entre el objeto que se observa y el espacio circundante es lo que se conoce por contraste.

Los trabajos que requieren gran esfuerzo visual, precisan de un mayor contraste. Combinando bien los grados de reflexión de las superficies de un local, se obtiene una buena distribución de la luminancia, obteniéndose un contraste fácil de distinguir, tal como se muestra en la figura 33.

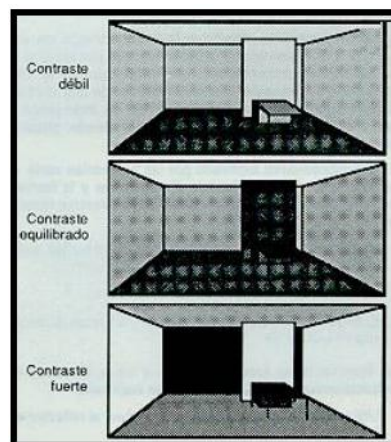


Figura 33 Relación de iluminancias muy favorables en la iluminación de una oficina.

La mayor visión se obtiene cuando el contraste del brillo entre el objeto y la superficie circundante no sobrepasa la relación de 3:1 y no sea inferior de 1:3.

4.6 COLOR

El color de la luz no influye grandemente en la eficiencia de la visión. Sin embargo, otras consideraciones, independientes de la capacidad de ver con facilidad, influyen en la elección del color de la fuente de luz más apropiada para un propósito determinado. Los efectos psicofisiológicos que produce el color constituyen el ambiente cromático, de gran influencia en las personas.

Se sabe por experiencia, que el color del ambiente que nos rodea, influye en nuestros estados anímicos. Por eso el uso adecuado de los colores debe ser objeto de preocupación para arquitectos, luminotécnicos, decoradores, etc.

No hay reglas fijas para seleccionar un color, pero se puede afirmar que determinados colores producen sensaciones en las personas, de calor o frío, por eso se habla de colores cálidos o colores fríos.

Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo-verdoso, y los colores fríos los que van en el espectro desde el color verde al color azul.

Los colores serán más cálidos o más fríos según sea su tendencia hacia el rojo o el azul, respectivamente.

Los colores cálidos son dinámicos y producen una sensación de proximidad y de calor. Son colores que acercan. Los fríos tienden a la calma, placidez y producen la sensación de frialdad y crean la ilusión de espacio y distancia.

También se sabe que los colores blancos dan la sensación de ligereza, alegría y los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

El color es como hemos dicho, una sensación. Se podría definir como la percepción por el ojo humano de la fracción de flujo luminoso incidente sobre un objeto cualquiera, no absorbida por dicho objeto y reenviada hacia el observador. Existe, pues, una relación directa entre la luz y el color, así como los factores de reflexión de la luz, de los objetos que nos rodean.

Por ejemplo, si juntamos dos superficies con colores diferentes, pero cuyo coeficiente de reflexión sea equivalente (por ejemplo, el amarillo claro = 0,55 y gris perla = 0,50), el ojo no experimentará fatiga alguna, ya que el efecto de contraste a realizar es prácticamente nulo; sin embargo, la impresión producida en el ojo por el amarillo claro sería superior a la del gris, produciendo una sensación de color “caliente” en comparación con este último. Este ejemplo puede servir de muestra para indicar la complejidad de los factores involucrados en la que se incluye primordialmente la reacción personal del observador, por lo cual es importante concretar los aspectos más definitorios.

Así, se tiene que las cualidades del color de una lámpara cualquiera se caracterizan por dos aspectos fundamentales:

- 1) La cromaticidad de la propia lámpara, que exige un concepto nuevo; el de la temperatura de color de la misma: lo que determina su “apariencia de color”.
- 2) El color de los objetos por ella iluminados.

Es importante por ello, poseer claras estas nociones, especialmente porque la luz artificial no debe proyectarse solo para sustituir la luz natural del día, sino esencialmente para complementarla y, como esta, debería ser blanca y con un alto rendimiento de color para posibilitar una buena reproducción de los colores; una buena integración de ambas fuentes solamente se logra con la concordancia total de ambos factores.

4.7 TEMPERATURA DE COLOR

Es una valoración del color de las fuentes luminosas adoptada por los fabricantes de lámparas. Por supuesto, la temperatura de color no se mide con el termómetro, simplemente define el color de la luz. De todos modos existe un nexo entre temperatura y color. Al calentar un pedazo de hierro, este pasa por toda una gama de colores que van del rojo oscuro al naranja incandescente. Cada incremento de temperatura va unido con un aumento de la energía radiante emitida.

Para establecer unas relaciones más precisas entre temperatura y color, los físicos han decidido tomar como patrón un cuerpo perfectamente negro, o sea, una fuente luminosa ideal dotada de la propiedad de emitir todas las zonas del espectro el máximo de la energía radiante y de absorber por completo la energía radiante que incide sobre él. La temperatura a la que se debe llegar a fin de que emita una luz similar a la de la fuente de luz en examen, se identifica con el término temperatura de color.

Como todo cuerpo incandescente, el cuerpo negro, al aumentar de temperatura, cambia progresivamente de color, de tal manera que según la temperatura a la que está sometido, adquiere el

color correspondiente de acuerdo con la escala siguiente: rojo, rojo claro, naranja, amarillo, blanco, blanco-azulado y azul.

Representado las distintas temperaturas producidas en este ciclo, se obtiene la curva cromática del cuerpo negro.

A efectos prácticos del cuerpo negro se realiza empleando una cavidad cuyas paredes están ennegrecidas con negro de humo y de cuya abertura salen las radiaciones. Calentando uniformemente el cuerpo negro a temperatura creciente y observando la cavidad, se aprecia que sale por ella una luz que se vuelve cada vez más blanca y más intensa a medida que aumenta la temperatura.

La temperatura de color se mide en grados Kelvin (K). Su relación con los grados centígrados es: $1K = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las fuentes de luz artificial se pueden expresar por la temperatura de color más próxima o correlacionada, no siendo por tanto en realidad una medida estricta de temperatura. Así, podemos definir como temperatura de color de una lámpara expresada en grados kelvin, a la temperatura a la cual se debe elevar el cuerpo negro para que emita el mismo color de luz que la lámpara examinada. Por supuesto que, incluso en el caso de una lámpara que no se aproxima exactamente al color de la radiación de un cuerpo negro a ninguna temperatura, pero que se asemeja al correspondiente a una temperatura definida, se le asigna una temperatura de color aproximada representativa de color más semejante, (tabla 10).

Tabla 10 Temperaturas de color de la radiación solar dependiendo de que esta sea directa o del cielo, es decir reflejada

Radiación solar directa (K)	
Sol naciente	2000
1 h después	3500
2 h después	4500
Mediodía	5500
3 h 30 pm	5000
4 h 30 pm	4700
Sol poniente	3800

Deberán considerarse, igualmente, los datos recogidos en el cuadro detallado a continuación:

Tabla 11 Radiación de cielo

Radiación del cielo (K)	
Uniformemente cubierto	7000
Cielo azul	11000
Nubes blancas ligeras	13000
Cielo azul del S.E.	20000
Cielo azul muy claro del S.E.	26000
Valor máximo del cielo	100000

Existe una correspondencia entre la temperatura de color y la apariencia de color de las lámparas; se usa también como fuente de referencia el cuerpo negro, cuyo espectro es muy equilibrado a los 5000 K. Una temperatura de color superior a este valor se denomina de apariencia fría, entre los 3300 y 5000 K es de apariencia neutra; mientras que la apariencia cálida se consigue con una temperatura de color correlacionada de, aproximadamente, los 3000 K.

Así, las lámparas de incandescencia son de apariencia cálida, por su temperatura de color baja; este hecho aumenta por poseer un gran contenido de rojo en su espectro, mientras que la apariencia de color del vapor de mercurio es más fría por ser un azul pálido, y su temperatura de color correlacionada superior a la anterior. A título indicativo se dan algunos valores de temperatura de color de las fuentes naturales (tabla 10).

En la tabla 12 se presenta las temperaturas de color de las lámparas artificiales.

Existe por otra parte, una relación entre estos valores y el nivel de iluminación que nos inicia en la interrelación entre el flujo luminoso y el color. Kruthoff estudió en numerosos experimentos la relación existente entre la influencia psicológica agradable (en cierto cálida o fría), la temperatura del color y del nivel de iluminación, y obtuvo las curvas de la figura 34.

Tabla 12 Temperaturas de color de las lámparas artificiales

Tipo de lámparas	Temperatura de color (K)
Lámparas incandescentes	2700 – 3200
Lámparas de vapor de mercurio	4000 – 4500
Lámparas de vapor de sodio a alta presión	2000
Lámparas de halogenuros metálicos	5000 – 6000
Lámparas fluorescentes:	
Luz de día	6100
Blanco cálido	3100
Blanco universal	4000
Blanco frío	4100
Blanco cálido de lujo	3000
Blanco frío de lujo	3900

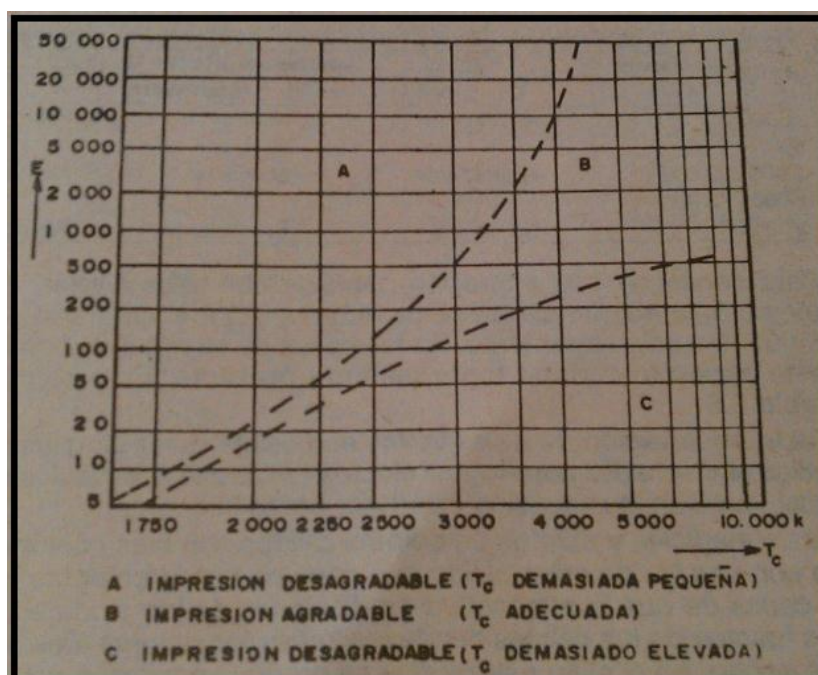


Figura 34 curvas de la temperatura de color y el nivel de iluminación de Kruithoff

En ella hay que señalar que cuanto, mayor es la temperatura de color de una fuente luminosa, es preciso que el nivel de iluminación sea más elevado. De la misma manera, para un nivel de iluminación bajo es deseable utilizar lámparas de colores cálidos, y para niveles altos, lámparas de colores fríos. Ello se corresponde con la variación de color de la luz diurna, cálida en el ocaso con

niveles de 500 a 1000 lx y temperaturas de color de 3500 K aproximadamente, y más frías al mediodía con niveles de 50000 lx y temperaturas de color 5500 – 6000 K.

Existe además una correlación, paralela a lo establecido por Kruithoff, en la cual se aprecia, si bien esto es subjetivo y por tanto variable, según los sujetos, que con bajos niveles de iluminación y una apariencia cálida del color produce una impresión agradable y acogedora en la tabla 13 se presenta lo mencionado.

Tabla 13 Correlación a lo establecido por Kruithoff

Apariencia de color		Temperatura de color correlacionada (K)		
Frío (blanco azulado)		> 5000		
Intermedio o neutro		3300 – 5000		
Cálido (blanco rojizo)		< 3300		
Variación de la impresión con la apariencia de color de la luz y la iluminancia				
Iluminancia (lx)	Apariencia de color de la luz			
	Cálida	Intermedia	Fría	
≤ 500	Acogedora	Neutro	Frío	
500 ... 1000				
1000 ... 2000	Estimulante	Acogedor	Neutro	
2000 ... 3000				
≥ 3000	No natural	Estimulante	acogedor	

Para conseguir una impresión parecida con altos niveles, 3000 lx por ejemplo, la apariencia de la luz debe ser, por el contrario, fría, de unos 5000 K aproximadamente. En los casos de integración con la luz diurna, este aspecto se debe tener siempre presente. Esto se muestra en la tabla 13.

De la observación de estas tablas es posible sacar algunas conclusiones útiles para el diseñador, para lograr efectos realmente agradables de confort visual, tanto en los espacios exteriores como en los interiores.

Las superficies y objetos de colores cálidos son más confortables a la vista con una luz de color cálido que con una luz de color frío, y a la inversa, a causa de que la ausencia de radiaciones de longitud de onda corta en las fuentes de luz cálidas tiende a eliminar los colores fríos de los objetos. De hecho en el ciclo natural que se produce a lo largo del día; al amanecer, y, especialmente al atardecer, los colores anaranjados, amarillentos y rojos dan una sensación de mayor intensidad (más cálidos), mientras que a medida que el día transcurre, si este es soleado, dichos colores pierden poco a poco ese carácter acogedor, en tanto que el azul y violeta del cielo y el color verde de la vegetación van adquiriendo un valor superior, debido al mayor contenido de radiaciones de esta longitud de onda en la radiación solar, para repetirse el ciclo a la inversa a medida que transcurre la tarde.

El color aparente de una superficie está determinado por dos factores: las características de la reflectancia espectral de la superficie (factor de reflexión para cada longitud de onda del espectro visible) y la composición espectral de la luz por la que es iluminada.

Para asegurar la armonía y eficacia de una decoración, es necesario que los colores de paredes, telas, muebles, y accesorios que hagan teniendo en cuenta, tanto el tipo de luz artificial con que serán iluminados, como la luz natural del día. Como la intensidad de la iluminación, al igual que la calidad espectral, influyen en la apariencia de los colores, el nivel luminoso de deberá aproximar a las condiciones de trabajo.

4.7 DIFUSIÓN DE LA LUZ

La iluminación que resulta de la luz procedente de varias direcciones, en contraposición con la luz que procede de una sola dirección, se llama difusa, la difusión es función de la calidad o tamaño de las fuentes de luz que contribuyen a la iluminación de un punto determinado y se miden en términos de ausencia de sombras.

El grado de difusión depende del tipo de trabajo a realizar. La luz perfectamente difusa es ideal para muchos trabajos que requieren buena visión, como escuelas, oficinas, etc.

La difusión se consigue mediante la multiplicidad de fuentes de luz, mediante luminarias de gran superficie y poco brillo, por alumbrado indirecto o parcialmente indirecto, en el que el techo y las paredes se convierten en fuentes secundarias, y mediante colores claros sobre techos, paredes, muebles e incluso suelos.

La luz difusa evita las molestias que ocasiona la reflexión especular. Debemos usar luz difusa en aquellas tareas o trabajos que así lo requieran; pero si no es así usaremos iluminación dirigida, que es más eficiente y requiere menos detalles de acabado de superficies.

5. METODOLOGÍA

Este trabajo se basa en una metodología para realizar cálculos luminotécnicos de alumbrado de instalaciones interiores, para ello fue necesario aplicar los siguientes métodos de investigación:

El método inductivo: que es un método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico que se caracteriza por cuatro etapas básicas: la observación y el registro de todos los hechos; el análisis y la clasificación de los hechos; la derivación inductiva de una generalización a partir de los hechos; y la contrastación.

Esto supone que, tras una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos y características, derivándose de una hipótesis que soluciona el problema planteado. Una forma de llevar a cabo el método inductivo es proponer, a partir de la observación repetida de objetos o acontecimientos de la misma naturaleza, una conclusión para todos los objetos o eventos de dicha naturaleza. Con este método fue posible llegar a identificar las principales técnicas de cálculos luminotécnicos para instalaciones de interiores.

El método deductivo: Que nos ira encadenando conocimientos como son axiomas, postulados, teoremas definiciones, entre otros para deducir nuevas propiciaciones; Parte de un marco general de referencia y se va hacia un caso en particular. En la deducción se comparan las características de un caso objeto y fenómenos. En la deducción se realiza un diagnostico que sirve para tomar decisiones. Con la aplicación de este método fue posible llegar a plantear la metodología para realizar cálculos luminotécnicos para instalaciones de interiores.

El Método Científico: Que consiste en seguir un conjunto de pasos fijados de antemano por una disciplina con el fin de alcanzar conocimientos válidos mediante instrumentos confiables, secuencia estándar para formular y responder a una pregunta, pauta que permite a los investigadores ir desde el punto A hasta el punto Z con la confianza de obtener un conocimiento válido. Con este método se llego a comprobar si la metodología para realizar cálculos luminotécnicos para instalaciones de interiores era coherente en los procedimientos de cálculo.

Con todos estos conocimientos previamente analizados y aplicados correctamente a la investigación del proyecto, se llegó a determinar la metodología para realizar cálculos luminotécnicos de alumbrado de instalaciones interiores.

6. RESULTADOS

6.1 METODOLOGÍA PARA REALIZAR CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS DE ALUMBRADO DE INSTALACIONES INTERIORES

Los proyectos de alumbrado de interiores se diferencian fundamentalmente, de los exteriores en que, debido a los fenómenos de reflexión, se producen con facilidad efectos fisiológicos nocivos. Por otra parte, mediante estas mismas reflexiones, se puede reforzar la iluminación en el plano de trabajo y por ello económicamente resultan estas circunstancias favorables.

Por las numerosas posibilidades de acabado existentes, importancia que en el alumbrado a proyectar tiene la reproducción de los colores, la cantidad de horas aproximadas de utilización anual, la arquitectura y ambiente del lugar, etc., las posibilidades de variación son muy grandes aunque, finalmente, es el factor económico el que decide la elección de los aparatos de iluminación.

Una buena iluminación, si se trata de alumbrado industrial es un factor de productividad y de rendimiento en el trabajo, además de que aumenta la seguridad del personal; en el caso de alumbrado comercial, es un decisivo factor de atracción para el público; finalmente en el caso de alumbrado doméstico se mejora el confort visual y se hace más agradable y acogedora la vida familiar.

Si se tiene en cuenta que, por lo menos, una quinta parte de la vida del hombre transcurre bajo alumbrado artificial, se comprenderá el interés que hay en establecer normas prácticas para realizar los proyectos de iluminación interior de forma que se unan la economía, la comodidad visual y el sistema de alumbrado más apropiado para una determinada función.

El diseño de una instalación de alumbrado depende de muchos factores y se lleva a cabo mediante el análisis previo de la tarea visual y sus necesidades particulares de iluminación.

La metodología de calculo que se propone esta basada en el método de los lúmenes, método que se utiliza para calcular la iluminación promedio en el plano de trabajo, fija la cantidad y la posición de las fuentes necesarias para alumbrar un local en el cual se practica una actividad conocida.

Una buena iluminación interior ha de cumplir cuatro condiciones esenciales:

- 1) Suministrar una cantidad de luz suficiente.
- 2) Eliminar todas las causas de deslumbramiento.
- 3) Proveer aparatos de alumbrado apropiados para cada caso particular.

4) Utilizar fuentes luminosas que aseguren una satisfactoria distribución de los colores.

La metodología que se propone a seguir para realizar la determinación de un proyecto de alumbrado de interiores consistente en seguir el siguiente orden de operaciones, las mismas que se describe en la tabla 14.

Tabla 14 Orden de operaciones para un proyecto de alumbrado

Orden secuencial de las magnitudes o elementos a definir		Símbolos	Unidad de medida
1a.	Definir las características del local que se quiere iluminar, objeto y disposición de muebles, maquinarias, etc.	-	-
1b.	Determinación del nivel medio de iluminación requerido.	E	lx
2.	Elección del sistema de iluminación y de los aparatos de alumbrado así como el método de alumbrado.	-	-
3.	Selección del tipo de lámpara, potencia y rendimiento cromático de la misma.	-	-
4.	Elección de la altura de montaje o suspensión de los aparatos de alumbrado	D	m
5.	Distribución o espaciamiento de los aparatos de alumbrado.	-	m
6.	Determinación de la superficie del local que se proyecta iluminar.	S	m ²
7.	Determinación del índice del local	K	-
8.	Determinación del factor de utilización.	U	-
9.	Determinación del factor de mantenimiento o depreciación.	δ	-
10.	Cálculo del flujo luminoso total.	Φ	lm
11a.	Cálculo del número de lámparas necesario con relación al flujo emitido por cada fuente luminosa.	H	-
11b.	Cálculo del número de luminarias con relación al número de lámparas por luminaria.	N	-
12a.	Distribución de las luminarias en el local	-	-
12b.	Chequeo de que el espaciamiento entre luminarias, y entre luminarias y pared, cumpla con las distancias permisibles.	e/2	m
13	Cálculo de la potencia absorbida por la instalación.	P	KW

6.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL MEDIO DE ILUMINACIÓN REQUERIDO

El nivel de iluminación necesario para conseguir una visión eficaz, rápida y confortable de la tarea encomendada, depende de ciertos factores, entre los que podemos mencionar:

- ❖ Magnitud de los detalles y de los objetos que se tratan de discernir.
- ❖ Distancia de estos objetos al órgano visual del observador.
- ❖ Factores de reflexión de los observadores.
- ❖ Contraste entre los detalles y los fondos sobre los que se destacan.
- ❖ Tiempo empleado en la observación de los objetos.
- ❖ Rapidez de movimiento de los objetos observados.

La mayor o menor dificultad de una tarea visual se debe apreciar en función de estos y otros factores. Según la importancia de estos factores, se han prescrito distintos niveles de iluminación, mediante investigaciones científicas, para los distintos tipos de locales y las diferentes tareas visuales. Estos niveles de iluminación los expresa la comisión internacional de iluminación (CIE).

Se expresan los valores mínimos de iluminación que, en ningún caso se deben disminuir, y los valores recomendables de iluminación para gran cantidad de las tareas visuales que se realizan en fábricas, oficinas, aulas, viviendas, etc.

Sin embargo, se deben hacer todavía unas observaciones sobre los niveles de iluminación, que a continuación se exponen.

Para iluminaciones inferiores a 100 lx se utilizará siempre el alumbrado general. Para iluminaciones comprendidas entre 100 y 1000 lx se puede completar el alumbrado general con un alumbrado individual o localizado, permanente o temporal, que nos permita alcanzar los valores deseados de iluminación. Para iluminaciones superiores a 1000 lx, el alumbrado del plano de trabajo habrá de ser localizado, lo que no excluye el necesario alumbrado general.

Los elevados valores necesarios para el alumbrado individual se pueden conseguir fácilmente por medio de lámparas de pequeña potencia montadas en reflectores adecuados situados a poca distancia del lugar donde se realiza el trabajo.

En los casos en que se precise un alumbrado individual combinado con el alumbrado general, los niveles de iluminación correspondientes a ambos tipos de alumbrado deben estar relacionados entre sí,

de tal manera que el valor de iluminación para el alumbrado general no debe ser inferior al indicado en el gráfico de la figura 35.

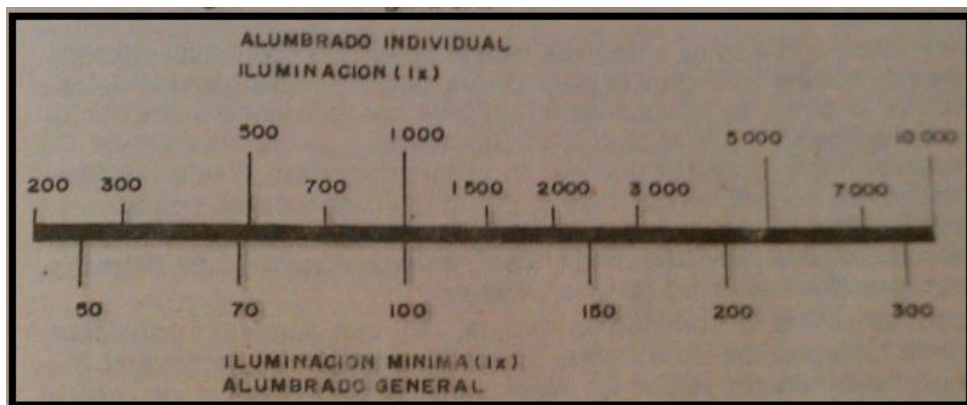


Figura 35 Gráfico de valores mínimos de iluminación

En aquellos casos en que el alumbrado general es el único empleado, debemos tener en cuenta el factor de uniformidad, o sea, la relación:

$$\frac{\text{iluminación mínima}}{\text{iluminación media}}$$

Se considera iluminación media a la media aritmética de los niveles de iluminación en diferentes puntos del local. En estas condiciones, el factor de uniformidad a de ser tal que:

$$\frac{E_{min}}{E_{med}} > \frac{1}{1,5} \quad \text{Ecuación 7}$$

6.3 ELECCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LOS APARATOS Y MÉTODOS DE ALUMBRADO

En los acápites anteriores se describió los sistemas de alumbrado con las ventajas e inconvenientes que presentaba cada uno de ellos; a continuación, completaremos los conceptos ya desarrollados, analizando las características más importantes de cada sistema, con objeto de disponer de elementos de juicio cuando se debe elegir entre ellos para un proyecto determinado.

- ❖ Para el correcto diseño de una iluminación de interior es necesaria la consulta de los catálogos de los fabricantes de aparatos de alumbrado, para determinar qué tipo de aparato es el más apropiado, de acuerdo con sus características constructivas y con su curva de distribución luminosa. No se debe obviar que la interacción con la tipología del local es, además, muy grande.

- ❖ La iluminación directa es apropiada para la obtención económica de altos niveles de iluminación sobre el plano de las mesas y de los puestos de trabajo. Por lo tanto, es la iluminación utilitaria por excelencia y encuentra muchas aplicaciones en el alumbrado de talleres y en ciertas oficinas. Es interesante hacer observar que por su misma naturaleza deja en la sombra las partes superiores del local y, por lo tanto, reduce las pérdidas de luz, lo que puede resultar decisivo para su elección en el caso de locales provistos de dichos elementos constructivos (fábricas, talleres, grandes naves industriales, etc.). Cuando se utiliza la iluminación directa, hay que aumentar considerablemente los aparatos de alumbrado, con el propósito de conseguir que cada objeto iluminado, reciba luz desde varias direcciones a la vez, con lo que se consigue la disminución de sombras molestas. La iluminación directa se realiza, en general, por medio de reflectores de chapa esmaltada o de aluminio pulido anodizado y abrigantado. Con el objeto de dar a la luz obtenida cierto grado de difusión y, a la vez, concentrar el flujo luminoso hacia las zonas útiles del local, estos reflectores deben ser anchos y profundos.

- ❖ Con la iluminación semidirecta se hace intervenir la reflexión sobre el techo de una buena parte de la luz emitida por los aparatos de alumbrado. De lo cual se deduce, que para la utilización económica se debe limitar su empleo a los casos en que los techos no son muy altos; y no se debe utilizar este sistema de iluminación en los locales provistos de claraboyas en el techo. También es un sistema utilitario de iluminación, que se emplea bastante en los locales de trabajo. Permite la realización relativamente económica de elevados niveles de iluminación con las ventajas de iluminación directa de que las sombras son bastante más suaves porque, como ya sabemos, los objetos reciben, a la vez, la luz directa de los aparatos de alumbrado y la reflejada en el techo y en las paredes.

- ❖ Con la iluminación difusa se da una importancia creciente a la reflexión de la luz sobre el techo y las paredes. Por lo tanto desaparecen casi por completo las sombras de los objetos, pero se aconseja que el techo y las paredes estén pintados de colores claros, con el objeto de disminuir en lo posible las pérdidas por absorción que, de otro modo, resultarían muy elevadas.

Con la iluminación semidirecta y más aún con la indirecta, las fuentes secundarias, a que equivalen las paredes y el techo del local, tiene un efecto preponderante sobre las fuentes de luz primarias que, en estos casos, son las lámparas eléctricas. Las sombras desaparecen totalmente el alto grado de difusión del flujo luminoso crea una impresión sedante sobre el ánimo del observador. Así mismo, desaparece también el riesgo del deslumbramiento directo, ya que las lámparas están ocultas los ojos del observador.

La supresión absoluta de sombras puede resultar favorable para ciertos trabajos de oficina; pero otras veces, la falta de plasticidad de los objetos obtenidos en estos sistemas de iluminación, puede resultar poco apropiada para los fines requeridos, en este último caso, se debe completar el alumbrado del local por medio de aparatos de alumbrados auxiliares, como “apliques”, etc., introduciendo así cierta proporción de iluminación semidirecta o mixta y restableciendo, por tanto, la sensación de plasticidad. La iluminación semidirecta y todavía más, la indirecta, precisan, necesariamente, que el techo y las paredes estén pintadas con materiales de muy alto factor de reflexión, y aunque esta condición se cumpla, el consumo de energía es mayor que para los otros sistemas de iluminación.

Con frecuencia, se realiza el alumbrado de locales con el sistema de iluminación indirecta, por medio de lámparas fluorescentes disimuladas en las cornisas, con reflectores o sin ellos, que iluminan el techo. Este procedimiento de alumbrado es conveniente para salas de espera, salas de recepción, etc. Muchas veces se agrega aparatos de alumbrado suplementario como lámparas portátiles, apliques, etc., de carácter decorativo que, a la vez, crean zonas de alumbrado localizado.

A continuación se da el valor aproximado de los rendimientos luminosos correspondientes a los diferentes sistemas de iluminación:

Directo	0,45
Semidirecto	0,40
Difuso	0,35
Semiindirecto	0,25
Indirecto	0,20

En este punto del diseño de iluminación de interiores debemos seleccionar el método de alumbrado a proyectar, teniendo en cuenta la dificultad de la tarea visual, necesidad de alumbrado localizado u otras restricciones o necesidades.

6.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE LÁMPARA, POTENCIA Y RENDIMIENTO CROMÁTICO DE LA MISMA

Los criterios que se deben seguir para la elección del tipo de lámparas, teniendo en cuenta que podemos elegir las diferentes clases de lámparas que hemos presentado en los acápites anteriores son: La lámpara de incandescencia es de cómodo empleo. Existe una gran gama muy amplia de potencias disponibles, por lo tanto, podrá resultar una buena solución en la gran parte de los problemas de alumbrado. Sin embargo, su bajo rendimiento luminoso y su duración útil media, reducida a unas 1000 h, restringen prácticamente su utilización a los casos en que basta un nivel de iluminación inferior a 200 lx cuando la cantidad de horas de utilización anual es inferior a 2000 h. En las condiciones indicadas, el empleo de la lámpara de incandescencia resulta económico, debido al costo moderado del material y de la instalación y a pesar del precio elevado de la energía consumida por esas lámparas y de la mano de obra necesaria para la reposición de estas al final de su vida útil.

La lámpara fluorescente se impone cuando se precisa una elevada temperatura de color (4500-6500 K), es decir, para tonos blancos de luz, con predominio de los colores neutros y fríos del espectro. También resulta interesante su empleo, cuando el nivel de iluminación necesario sobre el plano útil del trabajo, a de alcanzar o sobrepasar los 200 lx, sobre todo si la instalación a de estar funcionando durante una elevada cantidad de horas al año (2000 h o más).

Cuando las condiciones de cantidad de luz son menos exigentes, sobre todo en el alumbrado industrial, se podrá estudiar la utilización de la lámparas de vapor de mercurio de color corregido, y de las de vapor de mercurio de luz mixta. Las lámparas de vapor de mercurio de color corregido resultan económicas por su elevado rendimiento luminoso, y por su larga duración útil resultan especialmente indicadas para alumbrado directo, con aparatos de alumbrado suspendido a mucha altura, en las grandes naves industriales.

En esta aplicación particular, su elevada potencia unitaria permite aprovechar bien su gran altura de suspensión, separando debidamente los aparatos de alumbrado y disminuyendo, por tanto, la cantidad de estos. En iluminación interior, solamente en algunos casos excepcionales se podrá usar la lámpara de vapor de sodio. A pesar de su buen rendimiento y de su gran duración, esta lámpara no se emplea más, en alumbrado de interiores por el monocromatismo de su emisión luminosa.

Actualmente se utilizan en instalaciones de alumbrado de carreteras, almacenes exteriores, etc.

A modo de resumen podemos concluir que a razón de carácter industrial, comercial, deportivo, donde existen naves de considerable altura, las lámparas de vapor de mercurio, las de color corregido, las de halogenuros metálicos y, en menor escala, por su peor reproducción de colores, las de vapor de sodio

de alta presión, son las más económicas cuando se desea obtener altos niveles de iluminación. La altura de 4 m es la mínima exigible para instalar este tipo de luminarias en caso de estancias prolongadas en el local, para evitar causar problemas desagradables de visión.

En oficinas, escuelas, almacenes, etc., y en general, en todos aquellos locales de poca altura, se utilizan mucho las lámparas fluorescentes de excelente rendimiento y bajo brillo. Una ventaja, nada desdeñable, del alumbrado fluorescente consiste en la posibilidad de, dada una disposición inicial determinada, coordinar con nuevos elementos fluorescentes la instalación existente, logrando así los requerimientos de uniformidad, disminución de sombras y eventuales incrementos futuros de nivel lumínico exigible. Las lámparas incandescentes no son recomendables con exigencias de altos niveles de iluminación, por su bajo rendimiento unitario y corta vida.

En la actualidad se están presentando muchas propuestas (algunas se han llevado a cabo) para la modificación de luminarias ya instaladas, y adaptarlas a diferentes sistemas de LED'S con diferentes soluciones LED'S, bien con "lámparas de reemplazo" o mediante la "sustitución de todo el sistema óptico". Ante estas situaciones, el usuario debe saber que, cuando se coloca el LED en una luminaria y a ésta se la hace funcionar para iluminar (encendida de forma continuada en un periodo superior a escasos milisegundos), este LED se calienta: por lo tanto el flujo emitido por el mismo será menor que el nominal indicado por el fabricante del propio diodo LED y dependerá de la capacidad de la luminaria para disipar el calor desprendido por el LED. Esta capacidad, al no haberse diseñado la luminaria para los LED'S, será normalmente pequeña.

A la hora de utilizar una luminaria de LED'S en un proyecto de iluminación, los parámetros más importantes a determinar son tres:

- ❖ Flujo total útil ofrecido por la luminaria (ya expuesto en el apartado correspondiente)
- ❖ Fotometría de la luminaria (es necesaria una fotometría específica de la luminaria con el sistema de LEDs propuesto)
- ❖ Factor de mantenimiento a aplicar

6.5 ELECCIÓN DE LA ALTURA DE SUSPENSIÓN DE LOS APARATOS DE ALUMBRADO

La altura de suspensión de los aparatos de alumbrado es una característica fundamental de todo proyecto de iluminación de interior, llamaremos:

d: Distancia vertical de los aparatos de alumbrado al plano útil de trabajo, situado, como sabemos, a 0,80 m del suelo.

d': Distancia vertical de los aparatos de alumbrado al techo.

h: Altura desde el techo a dicho plano útil de trabajo.

En los locales de altura media como oficinas, salas de clases, habitaciones, etc., la tendencia actual es situar los aparatos de alumbrado tan altos como sea posible. Procediendo de esta manera se disminuye considerablemente el riesgo de deslumbramiento, se pueden separar los focos luminosos, lo que permite disminuir también la cantidad de ellos.

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

$$d = \frac{2}{3}h \quad \text{Ecuación 8}$$

y, siempre que sea posible, se debe procurar que:

$$d = \frac{3}{4}h \quad \text{Ecuación 9}$$

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

$$d' = \frac{h}{4} \quad \text{Ecuación 10}$$

A veces, sobre todo en interiores industriales, los locales son de gran altura. Por ejemplo, en las naves en que deban instalarse grúas puente o monorraíles (cadenas de fabricación); también, cuando las dimensiones verticales de los aparatos fabricados o de las máquinas herramientas sean muy grandes (construcción de grandes máquinas, fabricación de aviones, hangares, etc.)

Puede suceder, por lo tanto, que los aparatos de alumbrado sean situados a muy grandes alturas por encima del plano útil (7 m y más). En estos casos se puede adoptar la altura mínima compatible con las condiciones locales, sin tener en cuenta la altura de los techos y claraboyas existentes.

6.6 DISTRIBUCIÓN O ESPACIAMIENTO DE LOS APARATOS DE ALUMBRADO

Las luminarias se deben distribuir en el local a iluminar sobre la base de muchas consideraciones, por lo cual se establecen reglas generales aconsejables. Estas se limitan a considerar que el objetivo

principal consiste en obtener el mejor factor de uniformidad posible. Para ello las interdistancias horizontales y verticales se deben ajustar valores específicos para cada tipo de luminaria, y vienen relacionados con su altura de montaje.

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

En la presente metodología para el cálculo de iluminación de interiores llamaremos:

e: Distancia horizontal entre dos luminarias contiguas.

d: Distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo.

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

Por tanto, para asegurar esta uniformidad bastará con fijar un límite superior para la relación anterior. Las características fotométricas de los modernos aparatos de alumbrado, conducen a que se empleen las normas establecidas por la CIE que describiremos a continuación, para iluminación directa, semidirecta y mixta, en la figura 36 se presenta la forma de como se debe realizar la distribución de los aparatos de alumbrado.

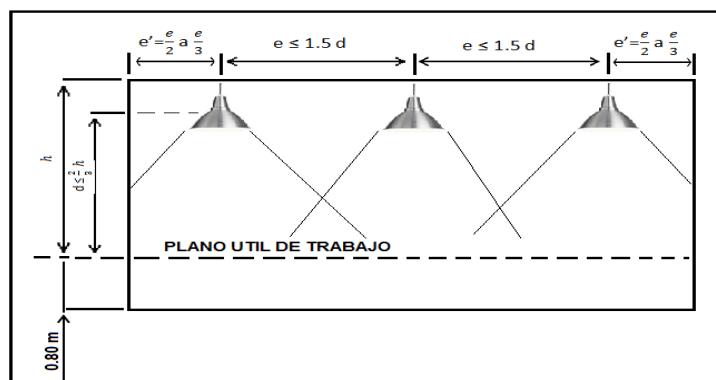


Figura 36 Distribución de los aparatos de alumbrado para instalaciones de iluminación semidirecta y mixta

El valor de la relación será:

$$\frac{e}{d} \leq 1,5$$

Para luminarias industriales o abiertas y para luminarias con rejillas o con difusores, el valor de la relación será:

$$\frac{e}{d} \leq 1,3$$

Para los casos de iluminación semiindirecta e indirecta (figura 37), se le llama d' a la distancia vertical de los aparatos de alumbrado al techo.

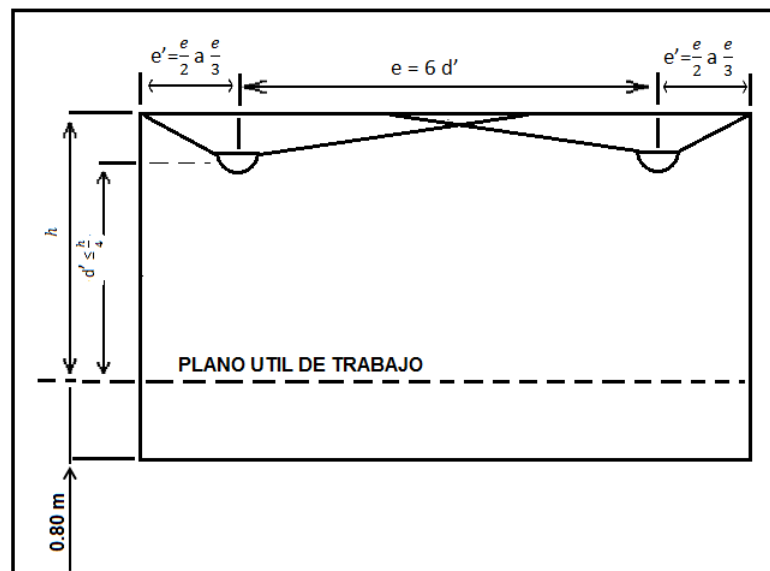


Figura 37 Distribución de los aparatos de alumbrado para instalaciones de iluminación semiindirecta e indirecta

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

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

$$\frac{e}{d} \leq 6$$

Si se admite que:

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

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

$$\frac{e}{h} \leq 1,5$$

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

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

En general se adopta este valor:



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

Y en los casos particulares que los puestos de trabajo como pupitres, mesas, máquinas, etc., se deben situar a lo largo de este muro, se adoptará el valor:

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

Para el caso de luminarias tipo reflectores, mercurio, sodio, etc., el espaciamiento es el que se muestra en la tabla 15.

Tabla 15 Espaciamiento entre reflectores

Reflectores de haz amplio		$e = d$
Reflectores de haz medio		$e = 0,9d$

6.7 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL LOCAL

La determinación de la superficie (S) del local que se proyecta iluminar, no es más que el área total del local que se va a iluminar, en m², donde:

$$A = L \cdot a$$

6.7.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DEL LOCAL (K)

Las características geométricas del local influyen en la eficiencia de un sistema de alumbrado; estas características se consideran a través de un coeficiente denominado índice del local, el que toma en consideración el ancho (a) y la profundidad (b) del local en cuestión, así como la altura de la lámpara al plano de trabajo. Los valores se expresan en metro, tal como se muestra en la figura 38.

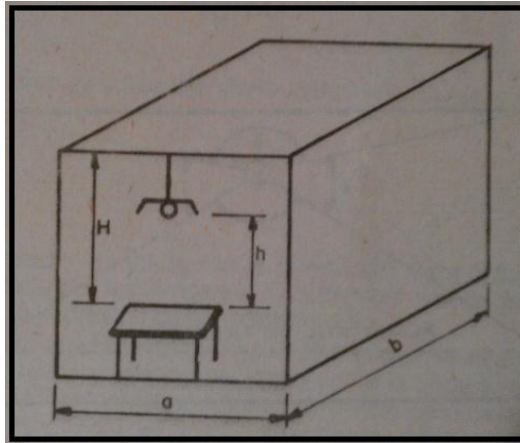


Figura 38 Características geométricas del local

Es decir, que el índice del local resume las relaciones de las tres dimensiones del local, y se expresa por la siguiente expresión:

Para distribuciones con luz directa, semidirecta y mixta:

$$K = \frac{2b+8a}{10h} \quad \text{Ecuación 11}$$

Para distribuciones con luz indirecta, semiindirecta:

$$K = \frac{2b+8a}{10H} \quad \text{Ecuación 12}$$

6.8 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN (U)

El factor de utilización es la relación del flujo luminoso que llega al plano de trabajo y el flujo luminoso total suministrado por las lámparas.

Es un factor obtenido experimentalmente en locales normalizados, utilizando luminarias de características fotométricas similares a las que se piensa emplear. Este factor depende de:

- a) Sistema de iluminación.
- b) Características de la luminaria.
- c) Del índice (K) del local.
- d) Del factor de reflexión de techo y paredes.

Para comprender este factor y su procedimiento de cálculo, son precisos unos razonamientos previos, que detallaremos a continuación.

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

En la figura 39 se aprecia que la distribución en el espacio del flujo luminoso emitido por las lámparas, después de haber sido absorbida una parte de dicho flujo por los aparatos de alumbrado.



Figura 39 Distribución del flujo luminoso en un local cerrado

Una parte del flujo luminoso (1) de la figura 39 llega directamente a la superficie de trabajo; otra parte de este flujo (2), se dirige hacia las paredes donde una fracción se absorbe y otra fracción llega también a la superficie de trabajo, después de una o varias reflexiones. Finalmente, otra parte del flujo luminoso (3), se emite hacia el techo donde, como antes, una porción se absorbe y otra llega a la superficie de trabajo después de varias reflexiones.

Para llegar al concepto de factor de utilización llamaremos:

ϕ_0 : Flujo luminoso total emitido por las lámparas.

ϕ_A : Flujo luminoso emitido por los aparatos de alumbrado.

ϕ_n : Flujo luminoso útil, que llega a la superficie de trabajo.

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

$$\eta_A = \frac{\phi_A}{\phi_0} \quad \text{Ecuación 13}$$

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

$$u = \frac{\phi_n}{\phi_0} \quad \text{Ecuación 14}$$

Es decir, que el factor de utilización es la relación entre el flujo luminoso útil y el flujo emitido por las lámparas. Siempre será menor que la unidad, pues se trata de la expresión de un rendimiento.

Hay que tener presente que la parte de flujo luminoso que no es absorbida por las paredes ni el techo y que tampoco no llega a la superficie; pero cumple una función visual muy importante, ya que ilumina y hace visible la parte de espacio comprendida dentro del local.

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

- 1) Rendimiento de los aparatos de alumbrado.
- 2) Forma en que el flujo se divide en tres partes que se dirigen: al techo, a las paredes, y al plano útil de trabajo respectivamente.
- 3) Factores de reflexión de las paredes y del techo.
- 4) Dimensiones del local.

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

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

También es fácil comprender que si se tienen dos locales de las mismas dimensiones, y se utilizan las mismas lámparas y los mismo aparatos de alumbrado, tendrá mejor factor de utilización el local cuyas paredes y techo tengan más elevado factor de reflexión.

Finalmente, el factor de utilización depende también de las dimensiones del local.

Para comprender mejor estos conceptos, supongamos (figura 40) un local que se va a iluminar con un sistema de iluminación determinado, por ejemplo, iluminación semidirecta; si se tiene otro local (figura 41) cuyas dimensiones tomadas en relación con la superficie útil de trabajo, son proporcionales al local anterior y además, en este último local se instala el mismo número de lámparas, distanciadas entre sí, y respecto a muros y plano de trabajo de forma también proporcional a las lámparas del local

anterior, se puede decir que ambas instalaciones son semejantes y que para cada aparato, los ángulos sólidos que determinan la parte de flujo luminoso correspondiente al techo y a las paredes respectivamente son iguales en ambos locales.

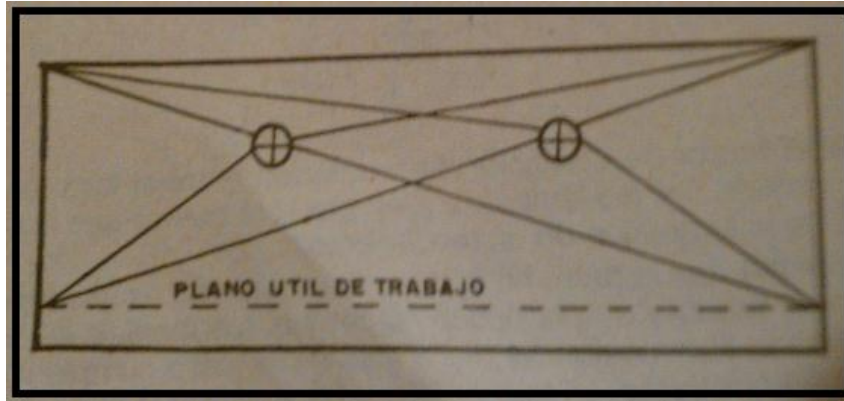


Figura 40 Figura explicativa del concepto de factor de utilización



Figura 41 Las dimensiones de este local son proporcionales al de la figura 40

Por lo tanto, en iguales circunstancias, el factor de utilización es también el mismo para los dos locales.

Por el contrario, en un local de gran longitud y poca altura (figura 42) la distribución del flujo luminoso es muy diferente a la de un local de gran altura y poca longitud (figura 43)

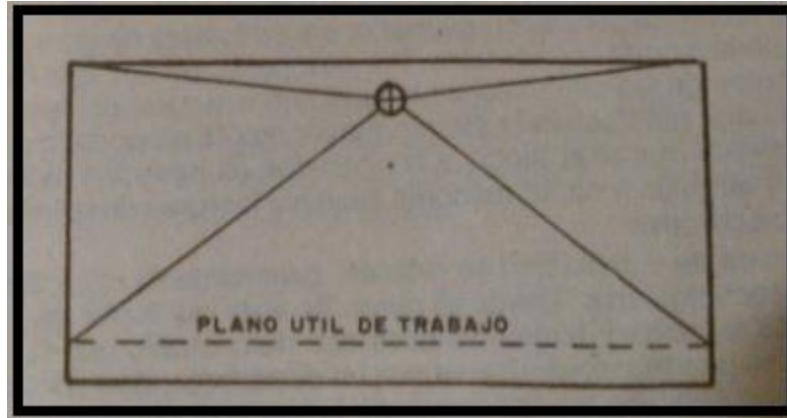


Figura 42 En un local de pequeña altura y grandes dimensiones horizontales se obtiene un deficiente factor de utilización

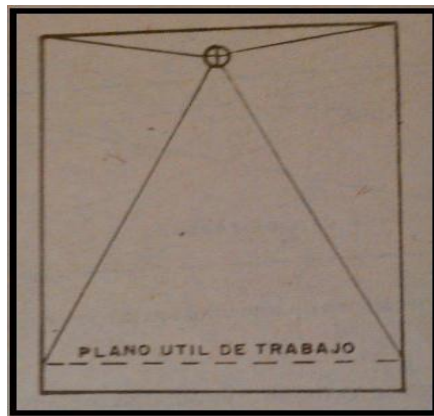


Figura 43 En un local de gran altura y pequeñas dimensiones horizontales se obtiene un deficiente factor de utilización

Además, se puede observar en las dos figuras anteriores que la cantidad de flujo enviado al plano útil de trabajo es proporcional a las dimensiones horizontales del local (largo y ancho) e inversamente proporcional a la altura del local.

Por lo tanto para un mismo aparato de alumbrado, y suponiendo iguales las demás condiciones (reflexión de muros, y paredes, nivel de iluminación, etc.), se obtiene mejor factor de utilización en aquellos locales cuyas dimensiones horizontales son grandes respecto a su altura y, recíprocamente, un factor de utilización pequeño, en los locales de gran altura y reducidas dimensiones horizontales. Por otra parte, no hay que olvidar que esta influencia de las dimensiones el local sobre el valor del factor de utilización se hace más notoria cuanto mayor sea la proporción de flujo luminoso enviada hacia el techo y las paredes (iluminación indirecta, por ejemplo), y también cuanto menores sean los factores de reflexión del techo y de las paredes.

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

La determinación de los factores de utilización se realiza por medio de tablas, cuyos valores son el resultado de trabajos teóricos y experimentales.

En dichas tablas se expresan los factores de utilización para diferentes tipos de aparatos de alumbrado, distintos valores del índice del local, factores de reflexión de techo y paredes.

6.9 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MANTENIMIENTO O DEPRECIACIÓN

Este factor tiene en cuenta la depreciación de las características fotométricas de las luminarias. El envejecimiento de las lámparas varía según las condiciones ambientales y la forma como se efectúa el mantenimiento.

Se sabe que las lámparas sufren un proceso de envejecimiento, durante el cual el flujo luminoso va disminuyendo; además, los aparatos de alumbrado y las pinturas del local también envejecen, y disminuyen; por tanto, el factor de reflexión de unos y otros, y en muchas ocasiones, la acumulación de polvo en las paredes, techo y aparatos de alumbrado también contribuye a aumentar la depreciación de la instalación. Todos los efectos citados se han de tener en cuenta en los cálculos de iluminación; generalmente se expresan por medio de un factor correctivo, δ denominado factor de depreciación, siempre mayor que la unidad, y que expresa el aumento del flujo luminoso que se debe tener en cuenta por este concepto.

Las tablas que indican los factores de utilización para los diversos tipos de lámparas emitidas por los fabricantes dan, a su vez, los valores de los factores de mantenimiento o depreciación relacionados con estas.

6.10 CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO TOTAL

Una vez conocido el factor de utilización, se puede calcular el flujo luminoso necesario para producir una iluminación E , sobre la superficie útil de trabajo S , expresada en metros cuadrados. Evidentemente, el flujo luminoso útil para iluminar esta superficie, se calcula con la siguiente expresión:

$$\varphi_n = E \cdot S \quad \text{Ecuación 15}$$

Recordando que el factor de utilización viene expresado por:

$$u = \frac{\varphi_n}{\varphi_o} \quad \text{Ecuación 16}$$

Se tiene que:

$$u = \frac{E \cdot S}{\varphi_o} \quad \text{Ecuación 17}$$

Expresión que permite calcular el flujo luminoso total que se necesita para conseguir una iluminación media E sobre la superficie útil de trabajo.

Pero como se deben tener en cuenta los factores de mantenimiento o depreciación, la expresión de cálculo definitiva que expresa el flujo luminoso necesario para iluminar un local, será la siguiente:

$$\varphi_{total} = \frac{E.S.\delta}{u} \quad \text{Ecuación 18}$$

6.11 CÁLCULO DEL NÚMERO DE LÁMPARAS Y LUMINARIAS

Este paso es consecuencia del anterior pues, según los distintos rendimientos luminosos unitarios, se obtiene para el mismo flujo total, ϕ_T , una cantidad de lámparas diferentes, considerando, además, la distinta cantidad de lámparas por luminarias que eventualmente puede darse, especialmente en luminarias. Para ellos se tiene las siguientes expresiones de cálculo:

$$\text{cantidad de lámparas} = \frac{\phi_T}{\phi_{lámpara}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

ϕ_T : flujo luminoso total.

$\phi_{lámpara}$: flujo luminoso unitario de cada lámpara.

$$\text{cantidad de lámparas} = \frac{\text{cantidad total de lámparas}}{\text{cantidad de lámparas por luminarias}} \quad \text{Ecuación 20}$$

6.12 DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS

Las luminarias calculadas se deben distribuir en el local a iluminar, sobre la base de muchas consideraciones, por lo cual establecer reglas generales no es aconsejable.

El objetivo principal en las salas de trabajo consiste en obtener el mejor factor de uniformidad posible. Para ello las distancias horizontales y verticales deben ajustarse a los valores ya especificados.

La realidad es que los factores arquitectónicos, forma y altura, principalmente, unidos a la ubicación de los lugares de trabajo y los elementos estructurales, son otros tantos factores que condicionan

fuertemente el emplazamiento de las luminarias. Estas se deben elegir, de formato rectangular, si es posible en locales rectangulares, y cuadrados en locales cuadrados. Las tiras continuas iluminadas en locales largos y estrechos; se adecuan perfectamente a la sensación de aumentar la profundidad del local, logrando así un reparto especial de la luz muy adecuado. Los modelos de disposición regular, siguiendo líneas rectas, resultan siempre adecuados.

En resumen, lo correcto es cumplir los requisitos de separación con la menor cantidad de lámparas posible, para minimizar el costo total de la instalación, así como su mantenimiento. En efecto, si no se busca la máxima separación permitida, no se saca todo el partido posible de la distribución luminosa del modelo adoptado.

6.13 TABLAS PARA EL CÁLCULO DEL PROYECTO DE ALUMBRADO INTERIOR

Para la determinación de los factores de utilización y de los factores de depreciación en los diferentes casos que se pueden presentar en los proyectos de alumbrado interior, se presentan las tablas, 16 a la 27.

En ellas se han tenido en cuenta los siguientes factores:

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

A continuación se resumen las influencias de todos los factores citados.

6.13.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

En la columna de la izquierda de las tablas 16 a la 27, se han dibujado esquemáticamente aparatos de alumbrado típico, correspondientes a cada sistema de iluminación.

Tabla 16 Iluminación directa


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		1 año	2 años	3 años
	0 ↑ 80 ↑ 80	1	0,27	0,21	0,17	0,26	0,21	0,17	0,26	0,21	0,17	Suciedad baja x x X Suciedad normal 1,35 1,55 x Suciedad alta 1,65 2,15 x		
		1,2	0,32	0,26	0,21	0,31	0,25	0,21	0,30	0,25	0,21			
		1,5	0,38	0,32	0,27	0,37	0,32	0,27	0,36	0,31	0,27			
		2	0,46	0,40	0,36	0,45	0,40	0,36	0,44	0,39	0,36			
		2,5	0,51	0,46	0,42	0,50	0,46	0,42	0,49	0,45	0,42			
		3	0,55	0,50	0,46	0,54	0,50	0,46	0,53	0,49	0,46			
		4	0,61	0,56	0,53	0,60	0,56	0,53	0,59	0,55	0,53			
		5	0,64	0,60	0,57	0,63	0,60	0,57	0,62	0,60	0,57			
		6	0,67	0,63	0,61	0,66	0,63	0,60	0,65	0,62	0,60			
		8	0,70	0,67	0,65	0,69	0,67	0,65	0,68	0,66	0,65			
	10	0,72	0,70	0,68	0,71	0,69	0,67	0,71	0,69	0,67				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,29	0,23	0,19	0,28	0,23	0,19	0,28	0,23	0,19				
	1,2	0,35	0,29	0,25	0,34	0,29	0,25	0,33	0,28	0,25				
	1,5	0,42	0,37	0,33	0,41	0,36	0,33	0,41	0,36	0,33				
	2	0,52	0,47	0,44	0,51	0,47	0,44	0,50	0,47	0,44				

Tabla 17 Iluminación semidirecta


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		1 año	2 años	3 años
	20 ↑ 88 ↑ 68	1	0,27	0,21	0,17	0,25	0,20	0,16	0,23	0,19	0,15	Suciedad baja 1,25 1,40 X Suciedad normal 1,45 1,80 x Suciedad alta 1,65 2,15 x		
		1,2	0,32	0,26	0,21	0,30	0,24	0,20	0,27	0,23	0,19			
		1,5	0,38	0,32	0,27	0,35	0,30	0,26	0,33	0,28	0,24			
		2	0,46	0,40	0,35	0,43	0,37	0,33	0,39	0,35	0,32			
		2,5	0,51	0,45	0,41	0,47	0,43	0,39	0,44	0,40	0,36			
		3	0,55	0,50	0,45	0,51	0,47	0,43	0,47	0,44	0,40			
		4	0,60	0,56	0,52	0,56	0,52	0,49	0,52	0,49	0,46			
		5	0,64	0,60	0,56	0,60	0,56	0,53	0,56	0,53	0,50			
		6	0,66	0,63	0,59	0,62	0,59	0,56	0,58	0,56	0,53			
		8	0,70	0,67	0,64	0,66	0,63	0,61	0,61	0,59	0,57			
	10	0,72	0,69	0,67	0,68	0,65	0,63	0,64	0,62	0,60				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,29	0,23	0,19	0,27	0,22	0,18	0,25	0,20	0,17				
	1,2	0,35	0,28	0,24	0,32	0,27	0,23	0,30	0,25	0,22				
	1,5	0,41	0,36	0,31	0,39	0,34	0,30	0,36	0,32	0,28				
	2	0,51	0,46	0,42	0,48	0,43	0,40	0,45	0,41	0,38				

Tabla 18 Iluminación difusa


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación			
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada			
		$\rho_p = 0,5$ 0,3	$\rho_p =$ $\rho_p = 0,1$		$\rho_p = 0,5$ 0,3	$\rho_p =$ $\rho_p = 0,1$		$\rho_p = 0,5$ 0,3	$\rho_p =$ $\rho_p = 0,1$		1 año	2 años	3 años		
	35 ↑ 79 ↑ 80	1	0,20	0,15	0,12	0,18	0,13	0,10	0,15	0,11	0,09	Suciedad baja 1,25 1,40 X	Suciedad normal 1,45 1,80 x	Suciedad alta x x x	
		1,2	0,24	0,18	0,15	0,21	0,16	0,13	0,17	0,14	0,11				
		1,5	0,28	0,23	0,19	0,24	0,20	0,16	0,21	0,17	0,14				
		2	0,34	0,29	0,25	0,30	0,25	0,21	0,25	0,21	0,18				
		2,5	0,39	0,33	0,29	0,33	0,29	0,25	0,28	0,25	0,22				
		3	0,42	0,37	0,32	0,36	0,32	0,28	0,31	0,27	0,24				
		4	0,46	0,42	0,38	0,40	0,36	0,33	0,34	0,31	0,29				
		5	0,50	0,45	0,42	0,43	0,40	0,37	0,37	0,34	0,32				
		6	0,52	0,48	0,45	0,45	0,42	0,39	0,39	0,36	0,34				
		8	0,55	0,52	0,49	0,48	0,45	0,43	0,42	0,39	0,37				
		10	0,57	0,54	0,51	0,50	0,48	0,46	0,43	0,41	0,40				
		1 aparato de alumbrado en el centro del local													
		1	0,21	0,16	0,12	0,18	0,14	0,11	0,15	0,12	0,09				
		1,2	0,25	0,19	0,16	0,21	0,17	0,14	0,18	0,14	0,12				
		1,5	0,30	0,24	0,20	0,26	0,21	0,18	0,22	0,18	0,15				
		2	0,36	0,31	0,27	0,32	0,27	0,24	0,27	0,24	0,21				

Tabla 19 Iluminación semiindirecta


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años
	69 ↑ 89 ↑ 20	1	0,24	0,19	0,15	0,18	0,15	0,12	0,13	0,11	0,09	Suciedad baja 1,35 1,55 X Suciedad normal 1,65 2,15 x Suciedad alta x x x		
		1,2	0,28	0,22	0,19	0,21	0,18	0,15	0,16	0,13	0,11			
		1,5	0,33	0,28	0,24	0,25	0,22	0,19	0,19	0,16	0,14			
		2	0,39	0,34	0,31	0,31	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18			
		2,5	0,44	0,39	0,36	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21			
		3	0,47	0,43	0,39	0,37	0,34	0,31	0,27	0,25	0,23			
		4	0,51	0,48	0,45	0,40	0,38	0,36	0,30	0,28	0,27			
		5	0,54	0,51	0,49	0,43	0,41	0,39	0,32	0,30	0,29			
		6	0,56	0,54	0,51	0,45	0,43	0,41	0,33	0,32	0,30			
		8	0,59	0,57	0,55	0,47	0,45	0,44	0,35	0,34	0,33			
	10	0,61	0,59	0,57	0,48	0,47	0,46	0,36	0,35	0,34				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,24	0,19	0,16	0,19	0,15	0,13	0,14	0,11	0,10				
	1,2	0,28	0,23	0,20	0,22	0,19	0,12	0,17	0,14	0,12				
	1,5	0,34	0,29	0,25	0,27	0,23	0,20	0,20	0,18	0,16				
	2	0,41	0,36	0,33	0,32	0,29	0,27	0,24	0,22	0,20				

Tabla 20 Lámparas fluorescente normal en regleta de montaje


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5 \quad \rho_p = 0,3$ $\rho_p = 0,1$			$\rho_p = 0,5 \quad \rho_p = 0,3$ $\rho_p = 0,1$			$\rho_p = 0,5 \quad \rho_p = 0,3$ $\rho_p = 0,1$			1 año	2 años	3 años
Lámpara fluorescente en regleta de montaje 	33 ↑ 93 ↑ 60	1	0,27	0,20	0,16	0,24	0,18	0,15	0,21	0,16	0,13	Suciedad baja 1,25 1,40 1,55 Suciedad normal 1,45 1,80 2,05 Suciedad alta x x x		
		1,2	0,31	0,25	0,20	0,28	0,22	0,18	0,25	0,20	0,16			
		1,5	0,37	0,31	0,26	0,33	0,28	0,23	0,29	0,25	0,21			
		2	0,45	0,39	0,34	0,40	0,35	0,31	0,35	0,31	0,28			
		2,5	0,50	0,44	0,39	0,45	0,40	0,36	0,40	0,36	0,32			
		3	0,54	0,48	0,44	0,48	0,44	0,40	0,43	0,39	0,36			
		4	0,60	0,55	0,50	0,54	0,50	0,46	0,48	0,44	0,41			
		5	0,63	0,59	0,55	0,57	0,53	0,50	0,51	0,48	0,45			
		6	0,66	0,62	0,59	0,60	0,56	0,53	0,53	0,51	0,48			
		8	0,70	0,66	0,63	0,63	0,60	0,58	0,57	0,54	0,52			
	10	0,72	0,69	0,66	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,28	0,22	0,17	0,25	0,20	0,16	0,22	0,18	0,14				
	1,2	0,33	0,27	0,22	0,29	0,24	0,20	0,26	0,22	0,18				
	1,5	0,40	0,34	0,29	0,36	0,30	0,27	0,32	0,28	0,24				
	2	0,49	0,43	0,38	0,44	0,39	0,35	0,39	0,36	0,32				

Tabla 21 Iluminación directa con armadura sencilla


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años
Armadura de artesa con lámparas fluorescentes 	0 ↑ 82 ↑ 82	1	0,29	0,24	0,20	0,29	0,23	0,20	0,28	0,23	0,20	Suciedad baja x x x Suciedad normal 1,40 1,70 1,90 Suciedad alta 1,85 2,55 3,10		
		1,2	0,35	0,29	0,25	0,34	0,28	0,25	0,33	0,28	0,24			
		1,5	0,41	0,36	0,31	0,41	0,35	0,31	0,40	0,35	0,31			
		2	0,50	0,45	0,41	0,49	0,44	0,41	0,48	0,44	0,41			
		2,5	0,55	0,50	0,47	0,54	0,50	0,46	0,53	0,50	0,46			
		3	0,59	0,55	0,51	0,58	0,54	0,51	0,58	0,54	0,51			
		4	0,65	0,61	0,58	0,64	0,60	0,58	0,63	0,60	0,57			
		5	0,68	0,65	0,62	0,67	0,64	0,62	0,66	0,64	0,62			
		6	0,70	0,67	0,65	0,69	0,67	0,65	0,69	0,67	0,65			
		8	0,73	0,71	0,69	0,72	0,71	0,69	0,72	0,70	0,69			
		10	0,75	0,73	0,71	0,74	0,73	0,71	0,74	0,72	0,71			
		1 aparato de alumbrado en el centro del local												
		1	0,32	0,26	0,22	0,31	0,26	0,22	0,30	0,26	0,22			
		1,2	0,28	0,33	0,29	0,37	0,32	0,29	0,37	0,32	0,29			
		1,5	0,46	0,41	0,38	0,46	0,41	0,38	0,45	0,41	0,38			
		2	0,57	0,53	0,50	0,57	0,53	0,50	0,56	0,53	0,50			

Tabla 22 Iluminación directa con armadura de celosías


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años
Directo con celosías 	0 ↑ 60 ↑ 60	1	0,24	0,21	0,18	0,24	0,20	0,18	0,24	0,20	0,18	Suciedad baja 1,30 1,45 1,65 Suciedad normal 1,55 1,90 2,15 Suciedad alta X X x		
		1,2	0,29	0,25	0,22	0,28	0,24	0,22	0,28	0,24	0,22			
		1,5	0,34	0,30	0,27	0,33	0,30	0,27	0,33	0,29	0,27			
		2	0,40	0,37	0,34	0,39	0,36	0,34	0,39	0,36	0,34			
		2,5	0,43	0,40	0,38	0,43	0,40	0,38	0,42	0,40	0,38			
		3	0,46	0,43	0,41	0,45	0,43	0,41	0,45	0,43	0,41			
		4	0,49	0,47	0,45	0,49	0,47	0,45	0,48	0,46	0,45			
		5	0,51	0,49	0,48	0,51	0,49	0,47	0,50	0,49	0,47			
		6	0,53	0,51	0,49	0,52	0,51	0,49	0,52	0,50	0,49			
		8	0,54	0,53	0,52	0,54	0,53	0,52	0,54	0,53	0,52			
	10	0,56	0,54	0,53	0,55	0,54	0,53	0,55	0,54	0,53				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,27	0,23	0,21	0,26	0,23	0,21	0,26	0,23	0,21				
	1,2	0,32	0,29	0,26	0,32	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26				
	1,5	0,39	0,36	0,33	0,38	0,35	0,33	0,38	0,35	0,33				
	2	0,46	0,44	0,42	0,46	0,44	0,42	0,45	0,44	0,42				

Tabla 23 Iluminación directa con armadura de pantalla difusora


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años
Directo con pantalla de metacrilato 	0,5 ↑ 65 ↑ 64,5	1	0,24	0,19	0,18	0,23	0,19	0,16	0,23	0,19	0,16	Suciedad baja 1,30 1,45 1,65 Suciedad normal 1,55 1,90 2,15 Suciedad alta X X x		
		1,2	0,28	0,23	0,20	0,27	0,23	0,20	0,27	0,23	0,20			
		1,5	0,33	0,29	0,25	0,32	0,29	0,25	0,32	0,28	0,25			
		2	0,40	0,36	0,33	0,39	0,35	0,32	0,38	0,35	0,32			
		2,5	0,44	0,40	0,37	0,43	0,40	0,37	0,42	0,39	0,37			
		3	0,47	0,43	0,40	0,46	0,43	0,40	0,45	0,42	0,40			
		4	0,51	0,48	0,45	0,50	0,47	0,45	0,49	0,47	0,45			
		5	0,53	0,51	0,48	0,53	0,50	0,48	0,52	0,50	0,48			
		6	0,55	0,53	0,51	0,54	0,52	0,50	0,54	0,52	0,50			
		8	0,57	0,55	0,54	0,57	0,55	0,54	0,56	0,55	0,53			
	10	0,59	0,57	0,56	0,58	0,57	0,55	0,58	0,56	0,55				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,26	0,22	0,19	0,25	0,21	0,18	0,25	0,21	0,18				
	1,2	0,31	0,27	0,24	0,30	0,26	0,24	0,30	0,26	0,24				
	1,5	0,37	0,34	0,31	0,37	0,33	0,31	0,36	0,33	0,33				
	2	0,46	0,42	0,40	0,45	0,42	0,40	0,44	0,42	0,40				

Tabla 24 Iluminación semidirecta con armadura de celosías


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		$\rho_p = 0,5$ $\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,3$		1 año	2 años	3 años
SEMIDIRECTO Armadura de artesa con hendidura 	25 ↑ 88 ↑ 63	1	0,28	0,22	0,18	0,25	0,20	0,17	0,23	0,19	0,16	Suciedad baja X X X Suciedad normal 1,40 1,70 1,90 Suciedad alta 1,85 2,55 3,10		
		1,2	0,33	0,27	0,23	0,30	0,25	0,21	0,27	0,23	0,20			
		1,5	0,39	0,33	0,29	0,36	0,31	0,27	0,33	0,28	0,25			
		2	0,47	0,42	0,37	0,43	0,39	0,35	0,40	0,36	0,33			
		2,5	0,53	0,47	0,43	0,48	0,44	0,41	0,44	0,41	0,38			
		3	0,56	0,51	0,48	0,52	0,48	0,45	0,48	0,44	0,42			
		4	0,61	0,57	0,54	0,57	0,53	0,51	0,52	0,50	0,47			
		5	0,65	0,61	0,58	0,60	0,57	0,55	0,55	0,53	0,51			
		6	0,67	0,64	0,61	0,62	0,60	0,57	0,58	0,55	0,54			
		8	0,70	0,68	0,65	0,65	0,63	0,61	0,60	0,59	0,57			
	10	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,29	0,24	0,19	0,27	0,22	0,19	0,25	0,21	0,18				
	1,2	0,35	0,29	0,24	0,32	0,27	0,24	0,30	0,26	0,23				
	1,5	0,43	0,37	0,31	0,39	0,35	0,31	0,36	0,33	0,30				
	2	0,52	0,48	0,40	0,49	0,45	0,42	0,45	0,42	0,40				

Tabla 25 Iluminación semidirecta con armadura de pantalla difusa


Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años
SEMIDIRECTO Con pantalla de metacrilato 	14 ↑ 66 ↑ 52	1	0,20	0,15	0,12	0,18	0,14	0,11	0,17	0,13	0,11	Suciedad baja 1,30 1,45 1,65 Suciedad normal 1,55 1,90 2,15 Suciedad alta X X X		
		1,2	0,23	0,18	0,15	0,21	0,17	0,14	0,20	0,16	0,13			
		1,5	0,28	0,23	0,19	0,26	0,21	0,18	0,24	0,20	0,17			
		2	0,34	0,29	0,25	0,31	0,27	0,24	0,29	0,25	0,23			
		2,5	0,37	0,33	0,39	0,35	0,31	0,28	0,32	0,29	0,26			
		3	0,40	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29			
		4	0,44	0,41	0,38	0,42	0,38	0,36	0,39	0,36	0,34			
		5	0,47	0,44	0,41	0,44	0,41	0,39	0,41	0,39	0,37			
		6	0,49	0,46	0,43	0,46	0,44	0,41	0,43	0,41	0,39			
		8	0,52	0,49	0,47	0,49	0,47	0,45	0,46	0,44	0,42			
	10	0,53	0,51	0,49	0,50	0,49	0,47	0,47	0,46	0,44				
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,21	0,16	0,13	0,19	0,15	0,13	0,18	0,14	0,12				
	1,2	0,25	0,20	0,17	0,23	0,19	0,16	0,21	0,18	0,15				
	1,5	0,30	0,25	0,22	0,28	0,24	0,21	0,26	0,23	0,20				
	2	0,37	0,33	0,30	0,35	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27				

Tabla 26 Iluminación semiindirecta con armadura de mejilla

Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación		
tipo	Rend η A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada		
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años
SEMIINDIRECTO con celosía	24	1	0,25	0,20	0,17	0,23	0,19	0,16	0,21	0,17	0,15	Suciedad baja 1,30 1,50 1,70		
		1,2	0,30	0,25	0,21	0,27	0,23	0,20	0,25	0,21	0,19			
		1,5	0,35	0,30	0,27	0,32	0,28	0,25	0,29	0,26	0,23			
		2	0,42	0,38	0,34	0,39	0,35	0,32	0,35	0,32	0,30			
		2,5	0,46	0,42	0,39	0,43	0,39	0,36	0,39	0,36	0,34			
		1	0,49	0,46	0,43	0,45	0,42	0,40	0,42	0,39	0,37			
		4	0,54	0,50	0,48	0,49	0,47	0,44	0,45	0,43	0,41			
		5	0,56	0,53	0,51	0,52	0,50	0,48	0,48	0,46	0,44			
		6	0,58	0,56	0,53	0,54	0,52	0,50	0,49	0,48	0,46			
		8	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,49			
	10	0,62	0,60	0,59	0,57	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51	Suciedad normal 1,60 2,00 2,30			
	1 aparato de alumbrado en el centro del local													
	1	0,27	0,22	0,19	0,25	0,21	0,18	0,23	0,19	0,17		Suciedad alta x x x		
	1,2	0,32	0,27	0,24	0,29	0,26	0,23	0,27	0,24	0,21				
	1,5	0,39	0,34	0,31	0,36	0,32	0,29	0,33	0,30	0,28				
	2	0,47	0,43	0,40	0,43	0,38	0,40	0,40	0,38	0,36				
	76	1	0,49	0,46	0,43	0,45	0,42	0,40	0,42	0,39			0,37	
	8	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,49				
10	0,62	0,60	0,59	0,57	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51					
52	1	0,27	0,22	0,19	0,25	0,21	0,18	0,23	0,19	0,17				

Tabla 27 Iluminación semiindirecta con armadura de pantalla difusora

Aparato de alumbrado		Índice del local K	Factores de utilización									Factores δ depreciación				
Tipo	Rend η_A		$\rho_T = 0,7$			$\rho_T = 0,5$			$\rho_T = 0,3$			Limpieza cada				
			$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	$\rho_p = 0,5$	$\rho_p = 0,3$	$\rho_p = 0,1$	1 año	2 años	3 años		
SEMIINDIRECTO con celosía	51	1	0,24	0,19	0,15	0,20	0,16	0,13	0,16	0,13	0,11	Suciedad baja	1,40	1,65	1,85	
		1,2	0,28	0,23	0,19	0,23	0,19	0,16	0,19	0,16	0,13					
		1,5	0,33	0,28	0,24	0,28	0,23	0,20	0,22	0,19	0,17					
		2	0,40	0,35	0,31	0,33	0,29	0,26	0,27	0,24	0,22					
		2,5	0,44	0,39	0,35	0,37	0,33	0,30	0,30	0,27	0,25					
		3	0,47	0,43	0,39	0,40	0,36	0,33	0,32	0,30	0,28					
		4	0,52	0,48	0,45	0,44	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31					
		5	0,55	0,51	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38	0,36	0,34					
		6	0,57	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44	0,39	0,38	0,36					
		8	0,60	0,57	0,55	0,51	0,49	0,47	0,41	0,40	0,39					
	85	10	0,62	0,59	0,57	0,52	0,51	0,49	0,43	0,42	0,41	Suciedad alta	x	x	x	
		1 aparato de alumbrado en el centro del local														
		1	0,25	0,20	0,16	0,21	0,17	0,14	0,17	0,14	0,12					
		1,2	0,29	0,24	0,20	0,25	0,21	0,18	0,20	0,17	0,15					
	34	1,5	0,35	0,30	0,26	0,29	0,25	0,23	0,24	0,21	0,19					
		2	0,42	0,37	0,34	0,35	0,32	0,29	0,29	0,27	0,25					



6.14 RENDIMIENTO DE APARATO DE ALUMBRADO

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

6.15 FACTORES DE REFLEXIÓN DE TECHO Y PAREDES

Se expresan en las tablas citadas por:

ρ_T : Factor de reflexión del techo.

ρ_p : Factor de reflexión de las paredes.

Y se resumen la reflexión de techo y paredes de la manera siguiente:

Techo de color blanco $\rho_T = 0,7$

Techo de color muy claro $\rho_T = 0,7$

Techo de color claro $\rho_T = 0,5$

Techo de color medio $\rho_T = 0,3$

Paredes de color claro $\rho_p = 0,5$

Paredes de color medio $\rho_p = 0,3$

Paredes de color oscuro $\rho_p = 0,1$

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

Techo $\rho_T = 0,5$

Paredes $\rho_p = 0,3$

6.16 ÍNDICE DEL LOCAL

El índice del local se debe calcular previamente, de acuerdo con la expresión de cálculo expresada anteriormente. En las tablas citadas viene representando por K y sus valores están comprendidos entre 1 y 10. Si en los cálculos resulta un valor intermedio, habrá que interpolar; si el valor resultante es superior a 10, se tomará este último valor como índice del local, pues está demostrado que para índices de local superiores de 10 el aumento de dicho índice apenas tiene influencia sobre el factor de utilización.

6.17 DISTRIBUCIÓN DE LOS APARATOS DE ALUMBRADO

En el valor del factor de utilización tiene influencia la distribución de los aparatos de alumbrado. Las tablas citadas han sido desarrolladas teniendo en cuenta las condiciones expuestas sobre la distribución de los aparatos de alumbrado, altura de suspensión, distancia de los aparatos extremos a las paredes y cantidad mínima de aparatos de alumbrado.

Para los locales cuyo índice de local esté comprendido entre los valores siguientes: $K=1\dots 2$; puede resultar interesante instalar un solo aparato de alumbrado en el centro, en cuyo caso el factor de utilización es mayor, y, por lo tanto, se precisa menos flujo luminoso para iluminar el local; pero hay que tener en cuenta que en los locales iluminados de esta manera, la iluminación en el centro es más elevada que en las paredes, lo que en ciertos casos puede resultar un inconveniente. En las tablas se ha previsto un aparato especial para las instalaciones con aparatos de alumbrado, situados en el centro del local.

6.18 FACTORES DE DEPRECIACIÓN

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

- a) Suciedad ligera o baja, como el correspondiente a tiendas, oficinas, escuelas, habitaciones en viviendas y, en locales donde la suciedad es escasa.
- b) Suciedad normal, en los locales que no están comprendidos en ninguno de los otros dos apartados.
- c) Suciedad alta, como el que existe en altos hornos, fundiciones, minas y, en general, en locales donde hay mucho polvo y suciedad.

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

- a) Limpieza periódica de lámparas y aparatos cada año.
- b) Limpieza periódica de lámparas y aparatos cada dos años.
- c) Limpieza periódica de lámparas y aparatos cada tres años.

En algunos casos de suciedad ligera o grande, no se indica ningún factor de depreciación, cuando esto ocurre así, es que existen razones de carácter económico, estético o luminotécnico que no aconsejan la elección del tipo de aparato de alumbrado más apropiado.

En todos los casos se han previsto unas 1500 h anuales de funcionamiento para las lámparas fluorescentes.

En las instalaciones para iluminación indirecta con cornisas, se indican períodos de limpieza cada seis meses y cada año, pues la experiencia ha demostrado que un año es el tiempo máximo permitido para la limpieza de lámparas y cornisas. Además, se recomienda emplear cornisas solamente en locales con suciedad ligera (véase tablas 16-27).

7. ORIENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Con la metodología descrita en los acápites anteriores, a continuación se ilustran dos prácticas para la realización de proyectos de iluminación de interiores, en los que se aplicarán los procedimientos de cálculos propuestos en esta metodología, al mismo tiempo se enseñará el manejo de las tablas de niveles de iluminación y de las tablas de factores de utilización y de depreciación presentadas en este trabajo las cuales siguen las normas establecidas por la comisión internacional de iluminación (CIE).

7.1. ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 1

7.1.1 PROYECTO DE ILUMINACIÓN GENERAL DE UNA SALA DE DIBUJO.

Suponiendo que se quiere iluminar el local de la figura 44 que se va a destinar a sala de dibujo, las características son las siguientes:

Longitud del local = 16 m

Anchura del local = 8 m

Altura del local = 5 m

Color del techo = blanco

Color de las paredes = verde claro

Superficie del local = $8 \cdot 16 = 128 \text{ m}^2$

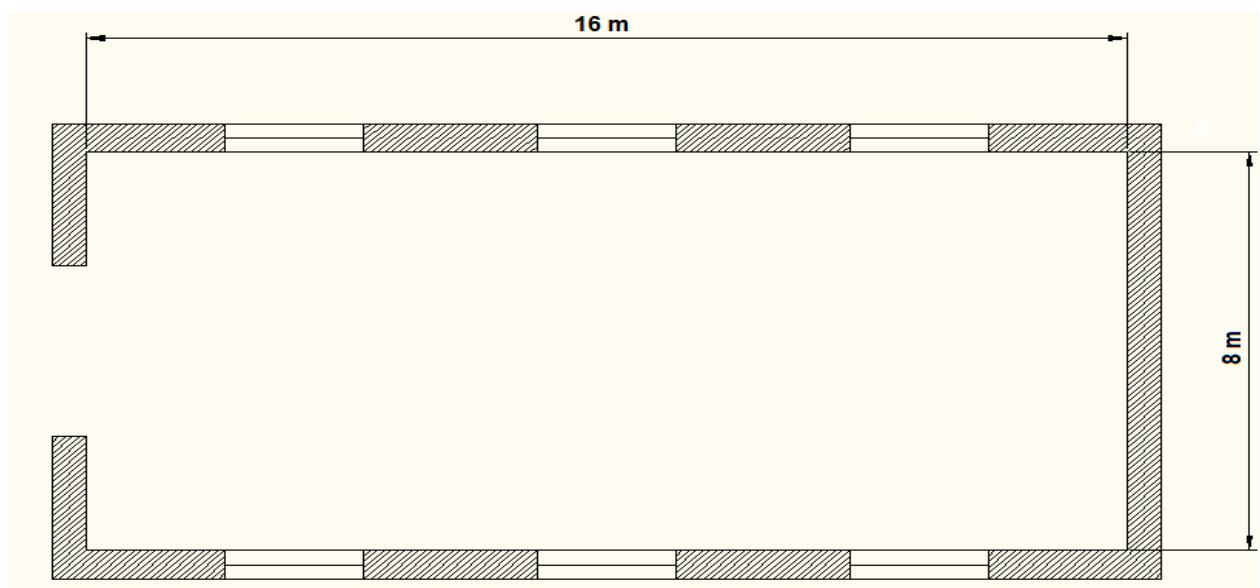


Figura 44 Proyecto de iluminación general de una sala de dibujo. Dimensiones del local

La solución para este proyecto de iluminación de interiores se realiza según la metodología propuesta y explicada anteriormente, se seguirán los siguientes pasos:

1) Determinación del nivel de iluminación.

De la tabla 1,3 y 4 donde se describe los niveles mínimos de iluminación de los planos de trabajo se toma el siguiente valor:

Exactitud entre 1 y 5 mm.

Iluminación general 300 lx

2) Elección del sistema de iluminación y de los aparatos de alumbrado.

Por el tipo de trabajo a desarrollar, se selecciona el sistema semidirecto, con aparato de alumbrado con pantalla difusora de metacrilato, rendimiento del aparato 66 %, este valor se lo selecciona de la tabla 25. Decidimos el método de alumbrado general.

3) Selección de tipo de lámpara.

De acuerdo con las normas generales de proyecto, la lámpara más apropiada es la fluorescente. Usaremos la lámpara de 40 W, luz de día de 5000 lm, temperatura de color de 6500 K.

4) Altura de suspensión de los aparatos de alumbrado.

Dadas las características de las mesas utilizadas para dibujo, el plano útil de trabajo no puede estar situado, como se hace casi siempre a 0,80 m del suelo, sino a mayor altura, por ejemplo, 1 m del suelo. Por lo tanto se tiene:

$$h = 5 - 1 = 4 \text{ m}$$

La distancia de los aparatos al plano de trabajo (iluminación semidirecta), se toma:

$$d = \frac{3}{4}h = \frac{3}{4}(4) = 3 \text{ m}$$

O sea a:

$$4 - 3 = 1 \text{ m del techo}$$

5) Distribución o espaciamiento de las luminarias.

Por ser iluminación semidirecta y aparatos con rejilla difusora, se toma:

$$\begin{aligned}\frac{e}{d} &\leq 1,3 \\ e &\leq 1,3 \cdot d \\ e &\leq 1,3 \cdot 3 \\ e &\leq 4 \text{ m (aproximadamente)}\end{aligned}$$

Y para los aparatos de los extremos:

$$e' = \frac{e}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

6) Determinación de la superficie del local que se va a iluminar:

Se utiliza la expresión de cálculo descrita en acápites anteriores teniendo:

$$S = 8 \times 16 = 128 \text{ m}^2$$

7) Determinación del índice del local (K).

Por tratarse de iluminación semidirecta se tiene:

$$K = \frac{2b + 8a}{10H}$$
$$K \frac{(2 \times 16) + (8 \times 8)}{10 \times 3} = 3,2$$

8) Determinación del factor de utilización (u).

Con los datos anteriores, en la tabla 25, se puede encontrar el factor de utilización, que está comprendido entre los siguientes valores:

$$\text{Para } K = 3 \rightarrow u = 0,40$$

$$\text{Para } K = 4 \rightarrow u = 0,44$$

Dado que en este caso $K = 3,2$, interpolando, se tiene que:

$$u = 0,41$$

9) Determinación del factor de depreciación.

De la misma tabla anterior y suponiendo limpieza cada año y suciedad normal, se tiene:

$$\delta = 1,55$$

10) Cálculo del flujo luminoso total.

$$E = 300 \text{ lx}$$

$$S = 128 \text{ m}^2$$

$$\delta = 1,55$$

$$u = 0,41$$

$$\varphi_T = \frac{E \cdot S \cdot \delta}{u} = \frac{300 \times 128 \times 1,55}{0,41} = 145170 \text{ lm}$$

11) Cálculo de la cantidad de lámparas

La lámpara luz de día, de 40 w, proporciona un flujo luminoso de 5000 lm. Por lo tanto, la cantidad de lámparas que se necesita será:

$$N = \frac{\varphi_T}{\text{lámpara}} = \frac{145170}{5000}$$
$$N = 29$$

Calculando la cantidad de luminarias, estas pueden ser una, dos o cuatro lámparas fluorescente; en este caso se toman dos lámparas por aparato y se tiene una buena uniformidad en el alumbrado.

Teniendo la siguiente cantidad de luminaria

$$S = \frac{29}{2} = 14$$

12) Distribución final de las luminarias

Analizando los espaciamientos permisibles entre luminarias, y entre estas y las paredes, se tiene que la mejor disposición es la representada en la figura 45 y cuya sección será la que se muestra en la figura 46.

13) Chequeo de espaciamento.

Los espaciamentos se cumplen y:

$$4 \text{ m} \leq 4,0 \text{ m} \quad (\text{eje } y)$$

$$Y \ 2,25 < 4,0 \text{ m} \quad (\text{eje } x)$$

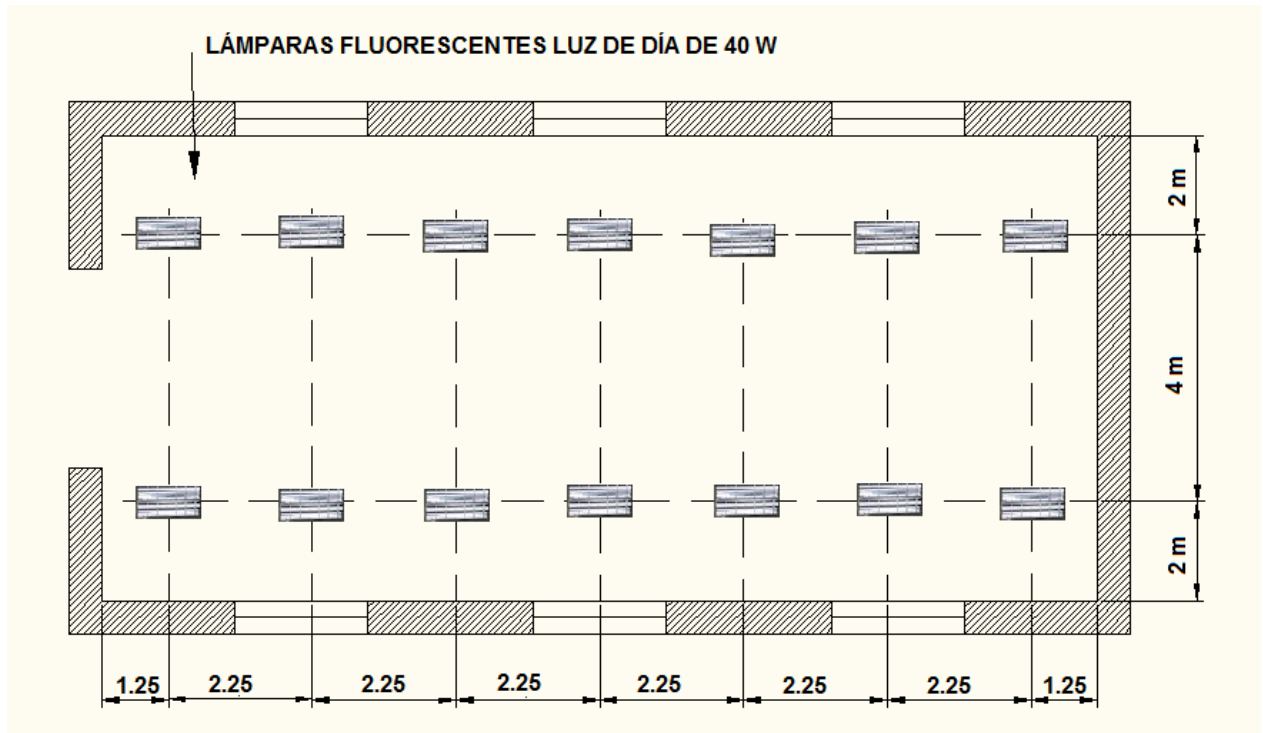


Figura 45 Proyecto de iluminación general de una sala de dibujo. Distribución definitiva de los aparatos de alumbrado para el caso de iluminación semidirecta

Así como:

$$1,25 < 2,00 \quad (\text{eje } x)$$

$$Y \ 2,00 \leq 2,00 \quad (\text{eje } y)$$

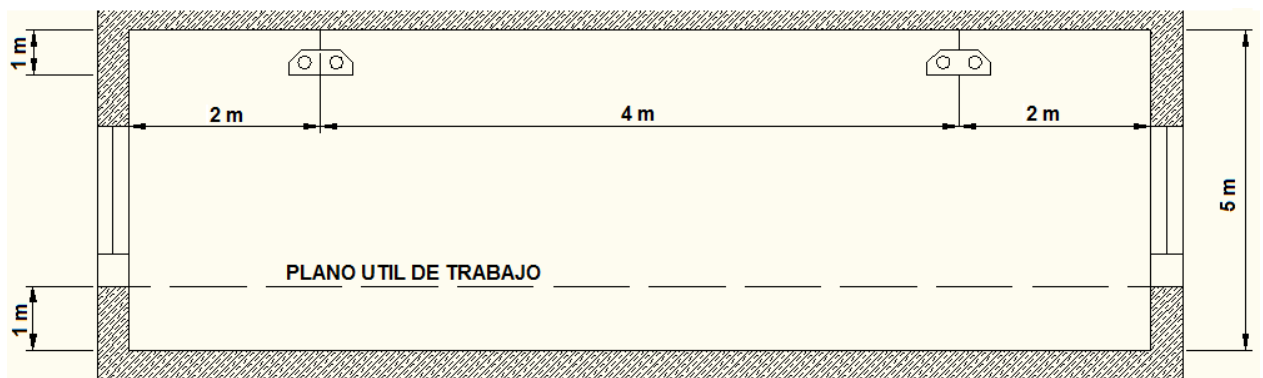


Figura 46 Sección de iluminación de los aparatos de alumbrado

14) Iluminación final en el plano de trabajo.

La iluminación resultante en el plano de trabajo será:

$$E = \frac{\varphi_T \cdot u}{S \cdot \delta}$$
$$E = \frac{145170 \cdot 0,41}{128 \cdot 1,55}$$
$$E = 299.9 \text{ lx}$$

15) Consumo de energía eléctrica

.

Potencia total instalada:

$$28 \cdot 40 = 1120 \text{ W} = 1,2 \text{ KW}$$

7.2 ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA 2

7.2.1 PROYECTO DE ILUMINACIÓN GENERAL PARA UNA NAVE INDUSTRIAL.

Datos de partida:

1) Definición de las características del local:

Dimensiones: en planta 48 por 32 m; cubierta formada por diez secciones en forma de diente de sierra; distancia entre ejes de pilares 4,8 m; altura a nivel de los pilares 6 m en la figura 47 se aprecia las dimensiones se la nave industrial.

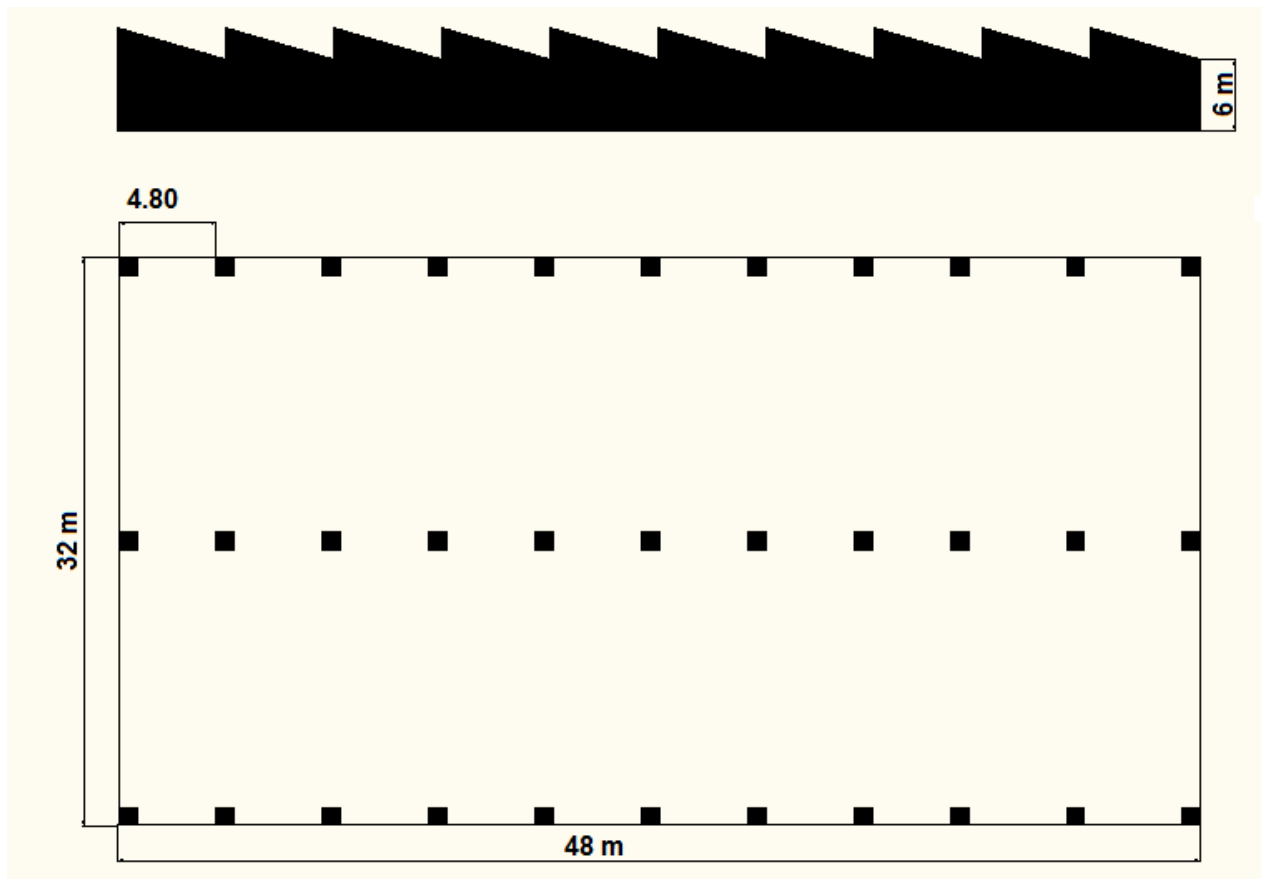


Figura 47 Dimensiones de la nave industrial

2) Color de las paredes

Gris claro.

3) Sistema de iluminación: directa con luminarias suspendidas a 5,40 m del suelo.

Se aplica la metodología de cálculo explicada en la practica 1 obteniéndose los siguientes resultados:

Nivel de iluminación: 300 lx

Superficie del local:

$$S = a \cdot b = 48 \cdot 32 = 1536 \text{ m}^2$$

4) Índice del local

Se considera $h = 4,60$ m teniendo en cuenta que el plano de trabajo se encuentra a 0,80 m del suelo obteniéndose:

$$K = \frac{(2 \times 48) + (8 \times 32)}{46} = 7,6$$

5) Coeficiente de reflexión

Techo y paredes 30 %.

6) Tipo de lámparas

Vapor de mercurio corregido.

7) Tipo de luminaria

Reflector de haz medio.

8) Factor de utilización.

Se tiene $u = 0,64$, obtenido de la tabla 16 teniendo en cuenta la luminaria prevista, el índice del local y el coeficiente de reflexión de paredes y techo.

9) Factor de mantenimiento o depreciación.

$$\delta = 1,55$$

10) Flujo luminoso total

$$\varphi = \frac{300 \times 1536 \times 1,55}{0,64} = 1116000 \text{ lm}$$

11) Cantidad de lámparas.

Asumiendo que se van a utilizar lámparas de vapor de mercurio color corregido, de 250 W y 11500 lm.

$$N = \frac{\varphi_T}{\varphi_{lámpara}} = \frac{1116000}{11500} = 97 \text{ lámparas}$$

Cantidad de luminarias = 97

Puesto que las luminarias o lámparas tienen que estar regularmente distribuidas en el local, que tiene 10 secciones transversales, será necesario redondear a 100 el número de las lámparas, de forma que se tenga igual cantidad de ellas en cada sección, o sea, diez lámparas distribuidas en los 32 m de ancho y, por consiguiente, cinco en cada área enmarcada por cuatro columnas.

12) Distribución final de las luminarias.

La distancia entre los centros de luminarias debería ser:

$$d = 0,9 h = 0,9 \times 4,60 \approx 4 \text{ m}$$

Disponer las luminarias a lo largo del eje central de cada sección, no sería satisfactorio, por cuanto la separación entre ellas sería:

Diez luminarias en el sentido de 48 m

Diez luminarias en el sentido de 32 m

$$\frac{48}{10} = 4,8 \text{ m (eje de las } x)$$

$$\frac{32}{10} = 3,2 \text{ m (eje de las } y)$$

Por tanto la separación entre luminarias sería de 4,80 m en la dirección eje mayor de la nave, y de 3,20 m a lo largo del eje menor, excesivo en un sentido y demasiado pequeña en el otro. Se puede

analizar la variante de disposición al tresbolillo, que logra una mayor uniformidad en los espaciamentos. En la figura 47 se indica como quedan colocadas las 100 lámparas, con una distancia entre luminarias de 3,60 m.

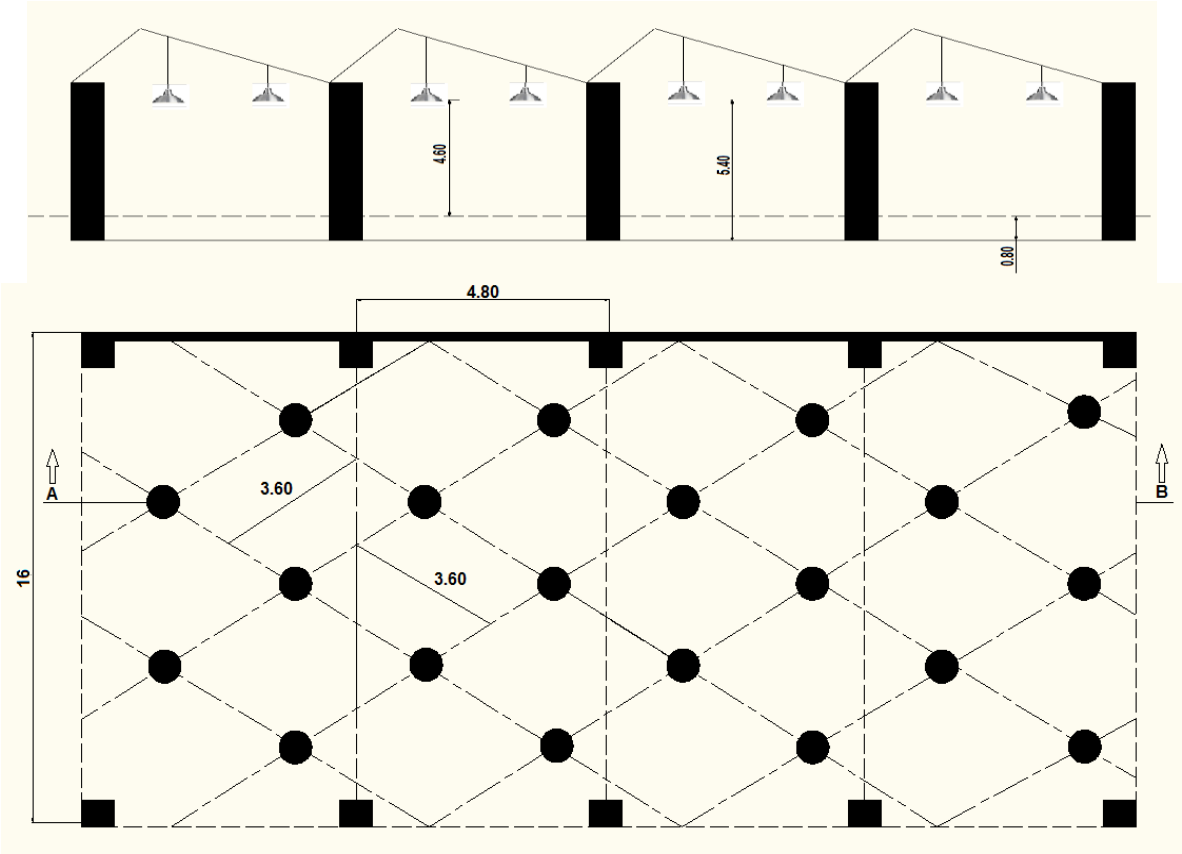


Figura 48 Distribución de las 100 lámparas en la nave industrial

8. CONCLUSIONES

- ❖ Con la ejecución del proyecto se llegó a determinar y proponer una metodología para realizar cálculos luminotécnicos para instalaciones interiores.
- ❖ Se presentan tablas y figuras para facilitar el cálculo luminotécnico de instalaciones de interiores, en base a las normas establecidas por la comisión internacional de iluminación (CIE).

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda que los proyectistas que utilicen esta metodología, revisen más catálogos de luminarias de los diferentes fabricantes que hay en el mercado, para tener más opciones a la hora de escoger la luminaria que se va aplicar al proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

1. **Cabascango Quilumba, Alexandra Magaly ; Lima Costa, Edith Evelyn;** Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, Ecuador, Enero 2005.
2. **COROMINAS Albert,** “**Planificación y rentabilidad de proyectos industriales**”, Editorial Marcombo S.A., Barcelona – España 1988, Págs. 31 – 46.
3. **PHILLIPS,** “**Manual de alumbrado**”, tercera edición, Editorial Paraninfo S.A., Madrid – España 1981, Págs. 3.1 y 24.
4. **RAMIREZ José,** “**Luminotecnia**” – **Enciclopedia CEAC de Electricidad**, cuarta edición, Ediciones CEAC S.A., Barcelona – España 1979, Págs. 186 – 189, 417 – 431.
5. **WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION,** “**Manual del alumbrado**”, tercera edición, Editorial Dossat S.A., Madrid – España 1981, Págs.55 – 74, 167 – 173 y 245 – 247.

TESIS:

6. **OROZCO Luis, LEÓN Fabricio,** “**Estudio de factibilidad para la optimización del sistema de iluminación de la planta de pinturas CONDOR**”, Tesis ESPE 1998, Págs. 7 – 12.

SITIOS WEB:

7. <http://bce.fin.ec>, Valores de la tasa activa del mercado financiero en el Ecuador
8. <http://dial.de>, Programa DIALux
9. <http://edison.upc.es>, Luminotecnia
10. <http://editorial.cda.ulpgc.es>, Tipos y proyectos de alumbrado
11. <http://energuia.com>, Ahorro de energía
12. <http://exp-grafica.uma.es/>, Eficiencia en el alumbrado interior
13. <http://leviton.com>, Catálogo de sensores de presencia
14. <http://www.lighting.philips.com>, Catálogo de lámparas y luminarias
15. <http://www.megatron.co.uk/>, Sensores de iluminación
16. <http://mtas.es>, Iluminación de centros de trabajo y alumbrados de emergencia
17. <http://osram.com>, Catálogo de lámparas y luminarias
18. <http://www.schneider-electric.com>, Catálogo de PLC Zelio