CAPITULO III. MÉTODOS DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL ALUMBRADO

Calcular en forma exacta el alumbrado de una zona o área por iluminar es difícil, en virtud de que intervienen muchos factores, algunos de estos factores no tienen relación con el método de cálculo usado, ya que están relacionados con el cambio en las condiciones físicas, el tiempo de operación de las lámparas y la temperatura. Factores adicionales son por ejemplo el polvo depositado en las luminarias, en las paredes, las prácticas de mantenimiento empleadas, etc.

Se describen a continuación dos de los métodos más comunes para el cálculo de alumbrado en interiores.

1. MÉTODO DEL FLUJO TOTAL (LUMEN) PARA EL CÁLCULO DEL ALUMBRADO EN INTERIORES

Para la aplicación de este método se deben conocer o en su caso determinar los siguientes elementos:

E = Nivel de iluminación medio que se pretende realizar (Lux)

Φ = Flujo luminoso total emitido por la lámpara para obtener el nivel de iluminación deseado (en lumen).

S= Superficie total del local por iluminar en m^2.

μ = Coeficiente de utilización, depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice de local (k) del factor de reflexión del techo y de las paredes del local (dado en tablas o catálogos de fabricantes).

U = Factor de mantenimiento. Se encuentra dentro de los límites comprendidos entre el 80 y el 50%. Varía según las condiciones ambientales de la instalación y la forma en cómo se efectúa el mantenimiento.

K= Índice de local, toma en consideración el ancho y largo del local, así como la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Los valores se expresan en metros.

Para distribución con luz directa, semidirecta y mixta, el índice de local se calcula con la expresión:

$$K = \frac{a * b}{\mathrm{h}(a + b)}$$

Donde:

a = Ancho del local en metros.
b = Largo del local en metros.
h = Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo en metros.

El factor de utilización se obtiene de la tabla 2 (ver anexo A), la cual cuenta con los factores de reflexión de techos y paredes.

Cuando se calcula el alumbrado para distribuciones con luz semidirecta o indirecta, se debe tomar en cuenta la altura del local (h) con respecto al plano de trabajo. El índice de local se calcula como:

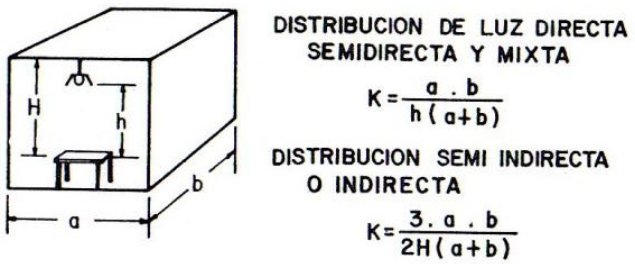


FIGURA XXX

Por el método del flujo total, la fórmula base para el cálculo del flujo teórico para iluminar un local, tomando en consideración los factores antes indicados es la siguiente:

$$\Phi = \frac{E*s}{\mu*U}$$

Una vez encontrado el flujo teórico necesario para la iluminación (Φ), podemos mejorar los cálculos teniendo en cuenta el rendimiento de las luminarias (ηL ≤1), descrito en la tabla 1 (ver anexo A), con lo cual se obtiene el flujo luminoso real (Φ_r), que han de producir las lámparas que se elegirán para las luminarias.

$$\Phi_r = \frac{\Phi}{\eta L}$$

Si se designa por ϕ_L el flujo luminoso que produce cada lámpara se puede obtener el número de lámparas como el cociente entre el flujo real y el flujo por luminaria.

$$N_O lamparas = \frac{\phi_r}{\phi_L}$$

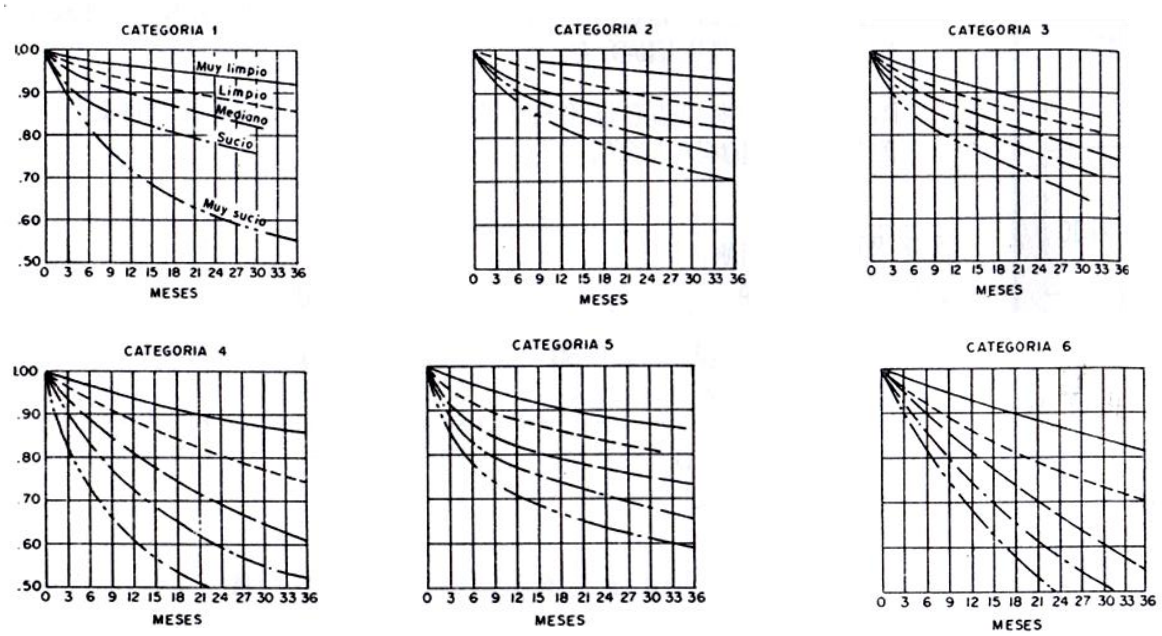


FIGURA XXXI: FACTORES DE DETERIORO POR SUCIEDAD EN LA LUMINARIA

2. MÉTODO DE LA CAVIDAD DE ZONA (CAVIDAD ZONAL)

El llamado método de la cavidad de zona (cavidad zonal) es uno de los más recientes que se conocen (entre 1970 y 1980 ya que se desconoce la fecha exacta) para el cálculo de alumbrado, fue desarrollado en los estados unidos de América y por lo mismo, es conveniente entender las unidades del sistema ingles (pies-candela, foot-candels)

Con este método se calculan niveles de iluminación medios suponiendo que cada cuarto o área consiste de tres cavidades separadas: cavidad del techo, cavidad de cuarto y cavidad de piso, en la figura siguiente se muestran estas cavidades:

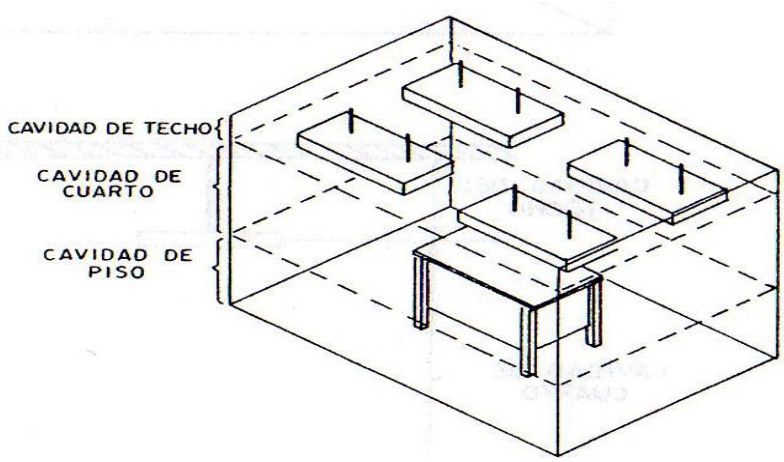


FIGURA XXXII

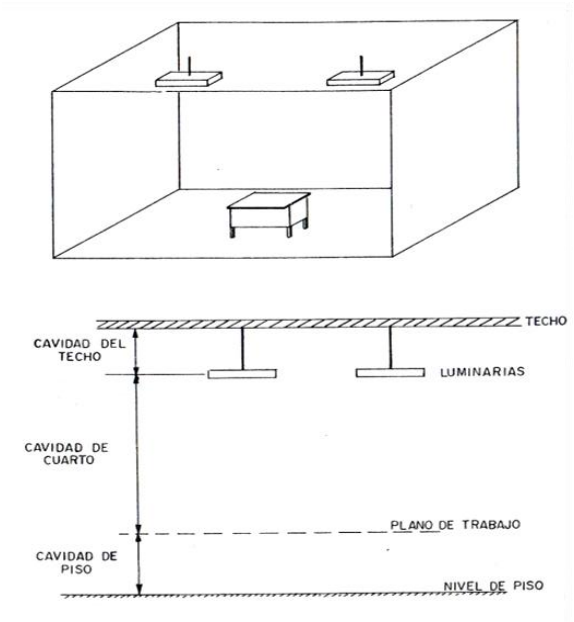


FIGURA XXXIII

La cavidad de techo se considera desde el plano de las luminarias hasta el techo, la cavidad de piso se considera del plano de trabajo hacia el piso, la cavidad de cuarto es el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo.

Los cuartos se clasifican a su forma por diez números de relaciones de cavidad. La fórmula básica para obtener la relación de cavidad en cuartos de forma rectangular es:

$$Relación\ de\ cavidad(RC) = \frac{5 * Altura(longitud + ancho)}{Longitud * Ancho}$$

Donde la altura es la altura de la cavidad en consideración, es decir techo, piso o cuarto.

Para cuartos compuestos por más de un rectángulo por ejemplo en forma de L, la relación de cavidad se obtiene de la siguiente expresión:

$$Relación\ de\ cavidad(RC) = \frac{2.5 * Área\ de\ la\ pared}{Área\ del\ piso}$$

En el cálculo de la relación de cavidad de techo, el área de la pared se calcula multiplicando la distancia entre el plano de las luminarias y la cavidad del techo.

2.1. REFLECTANCIA EFECTIVA.

En iluminación es de interés el concepto de luz reflejada total expresada en términos de la reflectancia.

La combinación de las reflectancias de techo y pared así como la de piso y pared se deben convertir en reflectancias efectivas de techo y piso.

La reflectancia efectiva de las cavidades de techo y piso toman en consideración el efecto de interacción de la luz entre las varias superficies de cuarto.

Estos valores se encuentran en las tablas del Anexo B.

2.2. COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

El coeficiente de utilización se define matemáticamente como el cociente entre el número de Lúmens existentes en el plano de trabajo y el número total de Lúmens producidos por la lámpara.

$$\text{Coeficiente de Utilización (C.U)} = \frac{Lumens\ en\ el\ plano\ de\ trabajo}{Lumens\ de\ la\ lampara}$$

El plano de trabajo se considera aproximadamente a una altura de 76 cm. sobre el nivel del suelo.

El coeficiente de utilización es un dato que proporcionan los fabricantes para el tipo de luminaria que fabrican. Ver Anexo B.

2.2.1. Ajuste del coeficiente de utilización.

Cuando la reflectancia efectiva de la cavidad de piso es 18, 19, 21 o 22%, se puede hacer uso directo de las tablas de los coeficientes de utilización, sin embargo, si la reflectancia efectiva de piso es 17% o menor, o bien 23% o superior, es necesario hacer un ajuste. Ver tabla 4 del Anexo B.

2.3. FACTOR DE MANTENIMIENTO.

El factor de mantenimiento toma en consideración la reducción en la luz emitida por las lámparas o luminarias debido al envejecimiento y acumulación de suciedad, el factor de mantenimiento apropiado para cualquier condición dada y tipo de luminaria.

Las luminarias se pueden clasificar o dividir en categorías, para cada categoría existe una curva en donde se encuentra en uno de los ejes el número de meses entre limpieza y limpieza de las luminarias, cada curva corresponde a la condición de suciedad considerada en la atmósfera.

2.4. NÚMERO DE LÁMPARAS Y LUMINARIAS REQUERIDO.

De acuerdo con el método de cavidad de zona o cavidad zonal, para un sistema de iluminación en interiores, el número de lámparas y luminarias a emplear se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$\#\ luminarias = \frac{(luxes)(áera)}{(lumens\ por\ luminario)(C.U.)(F.M.)}$$

Donde:

C.U. = Coeficiente de utilización
F.M. = Factor de mantenimiento

2.5. ARREGLO, DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS Y DISTANCIAS TÍPICAS A LA PARED

Como en el método de cálculo descrito anteriormente, para obtener una iluminación uniformemente distribuida, es necesario tener una idea de la distribución más apropiada para las luminarias que tome en consideración las dimensiones del local por iluminar y los aspectos arquitectónicos del mismo, es necesario indicar la máxima separación entre luminarias, aspecto que generalmente indican los fabricantes, relacionando esta separación con la altura de montaje que se mide normalmente a partir del plano de trabajo, por lo general, para cada tipo de luminaria, se establece la relación separación-altura de montaje.

2.6. ESPACIAMIENTO MÁXIMO ENTRE LUMINARIAS

El espaciamiento máximo entre luminarias es longitudinal y paralelo a ellas, por lo tanto cuando se tiene una fila no existe. Depende de la altura **h** de las luminarias sobre el plano de trabajo y del ángulo de abertura de emisión del haz de flujo luminoso de la luminaria.

Según este ángulo de abertura sea mayor o menor se puede establecer la siguiente clasificación de luminarias:

- Luminarias para un sistema de alumbrado directo. El espaciamiento máximo entre luminarias debe ser: $d \leq 1.2$ h.

- Luminarias para un sistema de alumbrado semi-directo. El espaciamiento máximo entre luminarias debe ser: $d \leq 1.5$ h.

- Luminarias para un sistema de alumbrado semi-indirecto. El espaciamiento máximo entre luminarias debe ser: $d \leq 1.5$ h.

- Luminarias para un sistema de alumbrado indirecto. El espaciamiento máximo entre luminarias debe ser: $d \leq 1.6$ h.

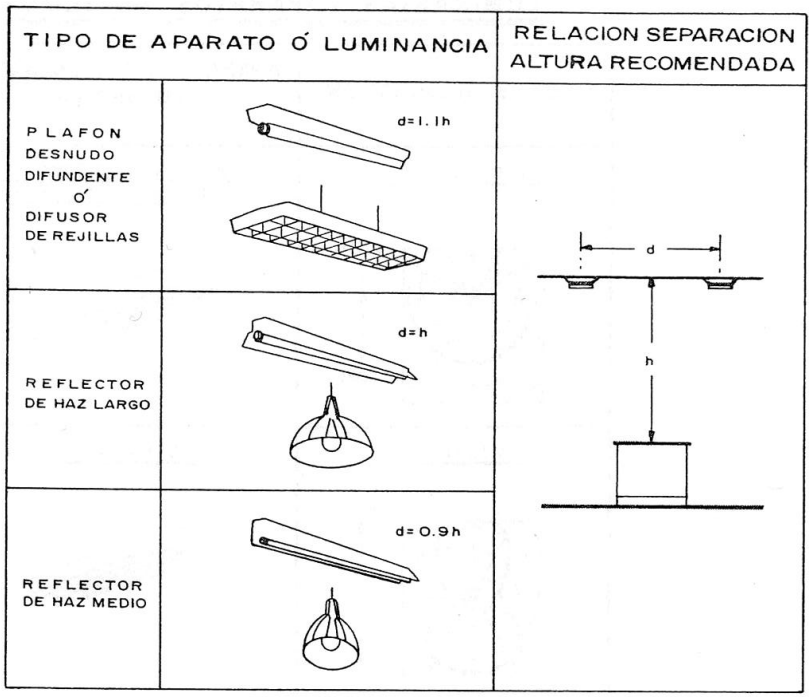


FIGURA XXXIV: ALTURA AL PLANO DE TRABAJO PARA ALGUNOS TIPOS DE LUMINARIAS

3. CONCEPTOS DE ALUMBRADO EXTERIOR

Como iluminación exterior se puede entender la iluminación de calles y avenidas, de glorietas, la iluminación de jardines, de edificios, de campos deportivos, etc. En todo lo relacionado con la iluminación de áreas exteriores interviene con un alto grado de importancia lo relativo al tipo de luminarias usadas y los criterios para su utilización, así como el tipo de lámparas y sus características de fabricación para cada aplicación específica. La descripción de las principales características de los distintos tipos de lámparas se dan en los capítulos precedentes, por lo que aquí se hará referencia principalmente a las luminarias.

Debido a que las luminarias son los aparatos destinados a distribuir el flujo que emiten las lámparas con el propósito de dirigirlo sobre los objetos para iluminar, es importante que estas luminarias cumplan con ciertos requisitos de luminotecnia, eléctricos y mecánicos.

3.1. PROYECTORES

Un proyector es una luminaria que concentra la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada en dicha zona. Las lámparas empleadas son muy variadas dependiendo del uso al que este destinado el aparato.

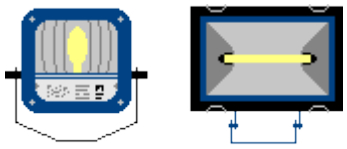


FIGURA XXXV: TIPOS DE PROYECTORES

Los proyectores se clasifican según la apertura o dispersión del haz de luz que se define como el ángulo comprendido entre las dos direcciones en que la intensidad luminosa cae un determinado porcentaje (usualmente el 10% o el 50%) del valor máximo que hay en el centro del haz donde la intensidad es máxima.

La forma de la distribución del haz de luz depende del tipo de proyector. Así, en los proyectores circulares puede ser cónico o cónico ligeramente asimétrico, obteniéndose una proyección elíptica sobre las superficies iluminadas. Mientras, en los rectangulares suele ser simétrica en los planos horizontal y vertical; aunque en este último plano también puede ser asimétrica y la proyección obtenida tiene entonces forma trapezoidal.

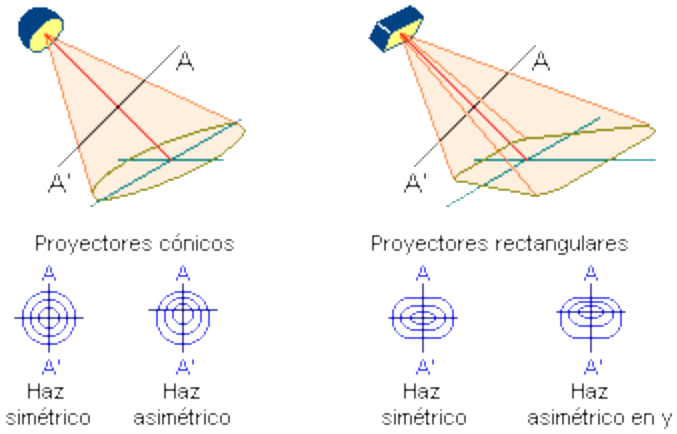


FIGURA XXXVI: REPRESENTACIÓN DE LA PROYECCIÓN DEL HAZ

3.2. CUBIERTAS PARA LUMINARIAS

Desde el punto de vista de la iluminación, se ha puesto mucha atención por parte de los fabricantes en la realización de los elementos (difusores) encargados de modificar la distribución del flujo luminoso que emite la lámpara. Esta atención se da al grupo completo que comprende también los reflectores y los refractores.

Estructuralmente las luminarias deben estar construidas de tal forma que estén protegidas contra la acción nociva de los agentes atmosféricos (polvo, agua, etc.), no solo las luminarias, también las lámparas y todos los auxiliares eléctricos (portalámparas, alimentadores, conectores, etc.) para tal fin los fabricantes disponen distintos tipos de protecciones.

Desde el punto de vista de iluminación, las luminarias consideran los siguientes elementos:

REFLECTORES.- Tienen la función de distribuir la luz emitida por la fuente luminosa. Se fabrican de aluminio brillantado y anodizado, con vidrio metalizado, o bien con lamina esmaltada.

REFRACTORES.- Se construyen en forma de copa, de globo o de media pera, se construyen de vidrio o de materiales plásticos con acabado prismatizado de manera que dirijan los rayos de luz en dirección preestablecidas.

DIFUSORES.- Tienen la función principal de disminuir la luminancia de las lámparas, están construidos de algunos tipos de vidrio o de material plástico opalino que atenúa el deslumbramiento, pero que reducen el rendimiento de la luminaria.

4. CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN EXTERNA.

Los métodos de cálculo de iluminación externa son esencialmente los mismos usados para el cálculo de iluminación en interiores a excepción del llamado método de la cavidad zonal que no es aplicable al alumbrado exterior.

Algunos conceptos generales que se emplean en los distintos métodos de cálculo de alumbrado exterior son los siguientes:

Distancia entre luminarias.- La distancia entre luminarias o centros luminosos debe ser tal que corresponda a la proyección vertical del centro óptico de cada luminaria sobre el área, uniendo de alguna forma al centro luminoso de la luminaria contigua, la distancia entre luminarias incide sobre el costo de la instalación, ya que a menor distancia, mayor número de luminarias y en consecuencia se requiere de mayor mantenimiento. Esta distancia entre luminarias depende de la altura de montaje de los centros luminosos (H), de la uniformidad deseada en la iluminación y del grado de deslumbramiento tolerado.

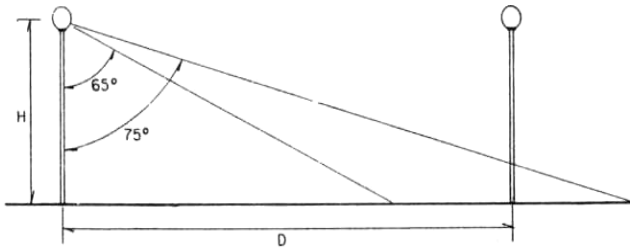


FIGURA XXXVII: DISTANCIA ENTRE LUMINARIAS

Coeficiente de utilización.- El coeficiente de utilización se define como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre el área (Φ_U = flujo útil) y el flujo que emite la lámpara (Φ_L) es decir:

$$N_U = \frac{\Phi_U}{\Phi_L}$$

Este coeficiente de utilización depende de los siguientes factores:

- El tipo de luminaria.
- La disposición de las luminarias (centros luminosos).
- El área a iluminar.

4.1. CALCULO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (C.B.U.) CON CURVAS ISOCANDELAS

Las curvas isocandelas son proporcionadas por los fabricantes de reflectores con diferentes especificaciones.

En general, puede decirse que C.B.U. medio de todos los proyectores de una instalación debe estar comprendido entre 0.6 y 0.9. Si el número de lúmenes del haz utilizado fuese inferior al 60%, es señal de que se puede encontrar un plan de alumbrado más económico con emplazamientos diferentes o utilizando proyectores de haz más estrecho. Por otro lado, si el C.B.U. es superior a 90%, es probable que el haz seleccionado sea demasiado estrecho y la iluminación resultante es muy concentrada.

La determinación precisa del valor C.B.U. sólo es posible después de haber seleccionado los puntos a los que ha de dirigirse la luz.

Para realizas los cálculos en la zona iluminada, se superpone una cuadrícula fotométrica del proyector seleccionado, y se sigue el procedimiento que a continuación se describe.

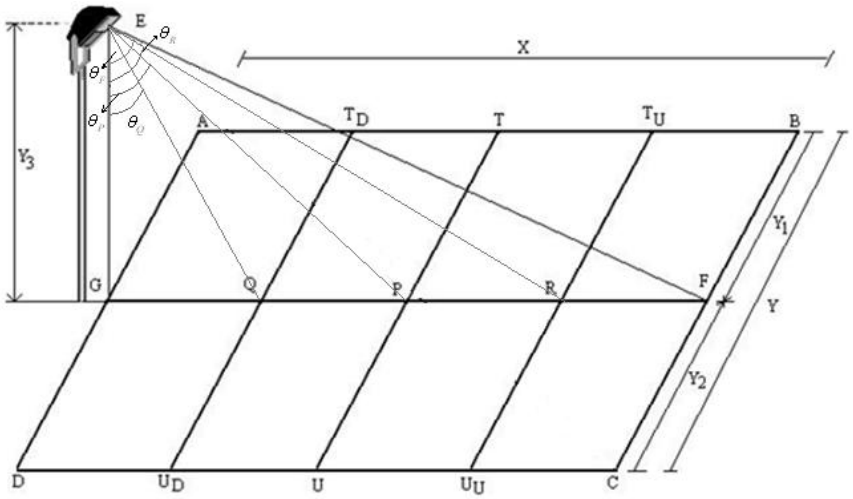


FIGURA XXXVIII: REPRESENTACIÓN DE LOS PUNTOS PARA OBTENER EL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

Para la obtención de los ángulos mostrados en la figura anterior se siguen los siguientes pasos:

PRIMER PASO.

El ángulo θ para el punto F, es decir el formado por G E F, será:

$$\theta_F = \tan^{-1}\frac{l}{h_m}$$

Donde:

l= longitud de la superficie

h_m= Altura de montaje

SEGUNDO PASO

Los ángulos θ para los puntos Q, P y R se consideran como sigue:

- PUNTO Q $\theta_Q = \frac{\theta_F}{4}$ (ángulo G E Q)
- PUNTO P $\theta_P = \frac{\theta_F}{2}$ (ángulo G E P)
- PUNTO R $\theta_R = \frac{3\theta_F}{4}$ (ángulo G E R)

TERCER PASO

Se consideran a las líneas T-U (ordenadas) y F-G (abscisas), como los ejes neutros de la cuadricula fotométrica del proyector seleccionado.

CUARTO PASO

Las ordenadas (en grados) de la cuadrícula fotométrica para los diferentes puntos del área a iluminar serán:

$$\theta_{\text{ordenada}} = \theta_{\text{del punto en cuestión}} - \theta_P$$

Sí la ordenada (en grados) es negativa, esto indica que la dirección en que se trazará en la cuadrícula fotométrica, será del eje neutro horizontal hacia abajo. Si la ordenada es positiva se trazará en forma inversa.

QUINTO PASO.

Las abscisas (en grados) de la cuadrícula fotométrica para los diferentes puntos del área a iluminar serán:

$$\alpha_{Abscisa} = \tan^{-1} \frac{[l(\text{del punto en cuestión})][\cos\theta(\textit{del punto en cuestión})]}{h_m}$$

Donde:

l= largo de la superficie

h_m= Altura de montaje

Si la abscisa (en grados) es negativa, esto indica que la dirección en que se trazará en la cuadrícula fotométrica, será del eje neutro vertical hacia el lado izquierdo. Si la abscisa es positiva se trazará en forma inversa.

Finalmente, con el dato calculado anteriormente, se puede determinar la relación entre los lúmenes comprendidos en el área a iluminar y los lúmenes totales del haz (estos últimos, es un dato proporcionado por el fabricante), obtenido así el C.B.U. del proyector seleccionado.

Cualquiera de los métodos empleados para el cálculo de la iluminación exterior tratan de definir las características geométricas y de iluminación de la instalación como son:

- La altura de la luminaria y centro luminoso.
- La distancia entre luminarias ó centros luminosos
- El nivel de iluminación medio sobre el área
- El coeficiente de utilización con relación a la luminaria seleccionada.
- El flujo luminoso que cada luminaria debe emitir que es un dato de fabricante.
- El grado de uniformidad en la iluminación.

4.2. ILUMINACIÓN EXTERNA DE EDIFICIOS Y OTRAS ÁREAS.

La iluminación externa de edificios, anuncios, etc. requiere no sólo tomar en consideración los aspectos técnicos de la iluminación. Por lo que respecta al estudio de la instalación, se deben tomar en consideración los siguientes elementos:

Dirección de la visual.- Se debe tomar una decisión en cuanto a qué dirección y cual distancia con el propósito de establecer la posición de los proyectores. Los aspectos arquitectónicos se deben cubrir con una dosificación adecuada de sombras y contrastes.

Colocación de los proyectores.- Dependiendo del efecto que se desee obtener con relación a la estructura de un edificio o construcciones circundantes, se deben localizar los proyectores de manera que no produzca el efecto de deslumbramiento que afecte el tráfico de vehículos y de peatones.

Forma del área a iluminar.- Cualquier área con cualquier tipo de forma se puede reducir a un grupo de figuras o formas relativamente simples sobre las cuales se establecen los

criterios básicos de iluminación mencionados anteriormente, se debe tomar en consideración la forma de la fachada, las salientes, así como las áreas de interés para la incidencia de la luz. Se deben tener en consideración también, los coeficientes de reflexión del material y color de las fachadas

Selección del tipo de lámparas a utilizar.- Como en el caso de la iluminación interior o exterior, existen distintas posibilidades de sistemas de iluminación en función de las lámparas y luminarias usadas, un resumen comparativo de las características más importantes a considerar se da en la tabla siguiente:

TABLA 9.- RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE LAMPARA A UTILIZAR EN ALUMBRADO EXTERIOR

TIPO LAMPARA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Vapor de Mercurio	Larga vida. (24,000 Hrs.), elevado rendimiento luminoso (Lumens por Watts). Bajo costo de operación. Temperatura de color: 3000 – 6000K.	Alto costo inicial. Con bulbo claro los colores se modifican radicalmente, por ser una fuente de gran tamaño, tiene un limitado control del haz luminoso. (Especialmente con lámparas con revestimiento de fósforo). No enciende inmediatamente después de una interrupción de energía.
Aditivos Metálicos	Vida útil moderada (20,000 Hrs.). Muy elevado rendimiento luminoso (Lumens por Watt) Permite ver los colores de forma natural. Bajo costo de operación. Temperatura de color: 2500 – 5000K. Índice de rendimiento de color: 65 Ra Emite una luz blanca fría que ayuda a reproducir adecuadamente los colores.	Alto costo inicial. No enciende inmediatamente después de una interrupción de energía. Consume una mayor cantidad de potencia (175-1000 W). Vida útil más corta
Vapor de Sodio de Alta Presión	Larga vida útil (24,000 Hrs.) La de mayor rendimiento luminoso. Bajo costo de operación. Su luz de color amarillo pálido, permite lograr efectos especiales en fachadas. Temperatura de color: 1900 – 2200K. Índice de rendimiento de color: 25 Ra	Alto costo inicial, regular control del haz luminoso, su luz monocromática ámbar modifica los colores y por lo tanto su reproducción de colores es muy pobre.

Selección de la Luminaria o Reflector.- Desde el punto de vista de aplicación, se han considerado tradicionalmente dos tipos de reflectores, el llamado de uso rudo y aquel

denominado de servicio general, el primero se fabrica en fundición de aluminio y es muy resistente al mal trato y a las condiciones ambientales.

El llamado tipo de servicio general se fabrica con menos resistencia normalmente a base de lámina de aluminio, pero con resistencia suficiente para soportar las condiciones atmosféricas del medio exterior. Existen dentro de estos dos tipos algunas luminarias que combinan las características de las dos, desde luego que estas variantes de diseño dependen del fabricante.

5. MÉTODO DE FLUJO LUMINOSO PARA ALUMBRADO EXTERIOR

La iluminación de fachadas y áreas externas dependen de varios factores algunos de los cuales ya han sido tratados en el cálculo de alumbrado para interiores, entre los importantes se pueden mencionar los siguientes:

- El coeficiente de reflexión de la fachada
- La posición del área por iluminar con relación al ambiente circundante
- Las dimensiones del área
- Las características de la lámpara y luminaria como es el coeficiente de utilización

$$N = \frac{E_m * S}{\phi * CBU * f_m}$$

Donde:

N = Número de proyectores necesarios.

E_m = Iluminancia media recomendada para cada aplicación.

S = Superficie a iluminar en m^2.

Φ = Flujo luminoso de un proyector.

CBU = Coeficiente de utilización del haz (*Coefficient of Beam Utilization*) que se define como la relación entre los lúmenes que llegan a la superficie iluminada y los lúmenes del haz. Su valor que oscila entre 0.6 y 0.9.

f_m = Factor de mantenimiento cuyo valor está entre 0.65 para equipo abierto y 0.85 para equipo cerrado. Sirve para cuantificar la disminución del flujo luminoso por el envejecimiento de las lámparas y por la suciedad acumulada en estas y el proyector.

6. MÉTODO DE PUNTO POR PUNTO

El método de punto por punto es utilizado para determinar la iluminación en instalaciones de alumbrado general localizado o individual donde la luz no se distribuye uniformemente. Su uso es más utilizado en el cálculo de la iluminación producida con proyectores.

En el caso de una fuente puntual, la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y directamente proporcional a la intensidad de iluminación, al coseno del ángulo Θ formado entre el rayo de luz y la normal a la superficie.

$$\boldsymbol{E_{horizontal}} = \frac{\mathrm{I}\cos\theta}{\mathrm{r}^2}$$

$$\boldsymbol{E_{vertical}} = \frac{\mathrm{I}\,\mathrm{sen}\theta}{\mathrm{r}^2}$$

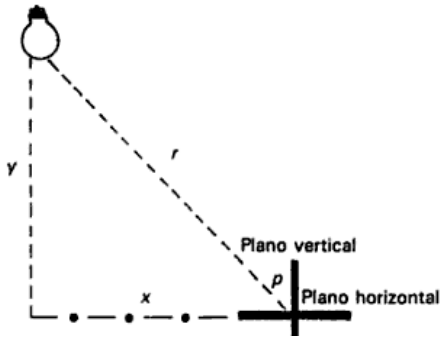
Como:

$$\cos\theta = \frac{\mathrm{y}}{\mathrm{r}^2}$$

$$\mathrm{sen}\,\theta = \frac{\mathrm{x}}{\mathrm{r}^2}$$

$$\boldsymbol{E_{horizontal}} = \frac{\mathrm{I\,x\,Y}}{\mathrm{r}^3} = \frac{\frac{\mathrm{I}\cos\theta}{\mathrm{y}^2}}{\cos^2\theta} = \frac{\mathrm{I}\cos^3\theta}{\mathrm{y}^2}$$

$$\boldsymbol{E_{vertical}} = \frac{\mathrm{I\,x\,X}}{\mathrm{r}^2} = \frac{\mathrm{I}\cos^2\theta\,\mathrm{sen}\theta}{\mathrm{y}^2}$$



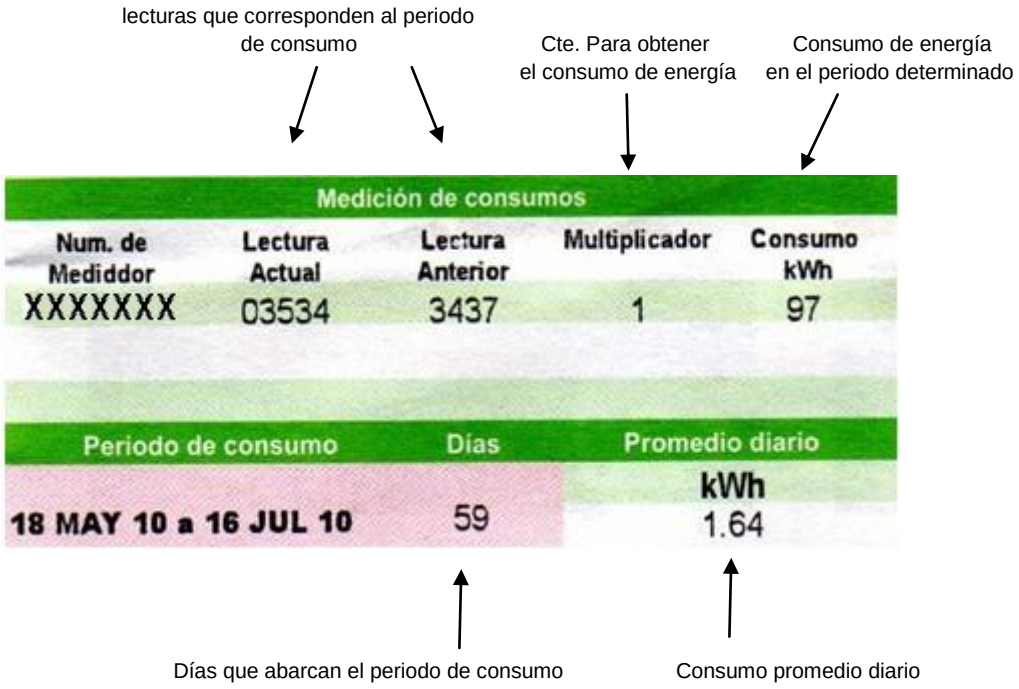
En donde:
E= iluminación en lux
I= distancia luminosa en bujías (lumen/estereorradián)

r= distancia entre la lámpara y el punto P en m.
y= altura de la luminaria sobre el plano de trabajo en m.
x= distancia horizontal, de la vertical a la lámpara y al punto P en m.
ɵ= ángulo formado entre el rayo luminoso y la normal a la superficie.

7. OBTENCIÓN DE LOS kWh

El consumo de la energía eléctrica requiere de unidades que sirven como referencia para saber la cantidad que consume cada usuario, de acuerdo a un tiempo determinado y la tarifa en la que se encuentre.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de la manera en como se registran los kWh consumidos en una instalación doméstica y el promedio estimado de consumo diario de acuerdo al periodo establecido.



Cabe señalar que este ejemplo no se aplica en todos los casos ya que existen diferentes tipos de tarifas de consumo de acuerdo al tipo y cantidad de kW consumido, algunas de ellas son:

Tarifas específicas	
Servicios públicos	5 5-A 6 Cuotas mensuales autorizadas
Agrícolas	9 9M 9-CU 9-N Cuotas mensuales autorizadas
Temporal	7 Cuotas mensuales autorizadas
Acuícola	EA
Tarifas generales	

En baja tensión	2 3 Cuotas mensuales autorizadas
En media tensión	O-M H-M H-MC Cuotas mensuales autorizadas
Con cargos fijos	OMF HMF HMCF Cuotas mensuales autorizadas
En alta tensión	HS HS-L HT HT-L Cuotas mensuales autorizadas
Con cargos fijos	HSF HS-LF HTF HT-LF Cuotas mensuales autorizadas
Servicio de respaldo	HM-R HM-RF HM-RM HS-R HS-RF HS-RM HT-R HT-RF HT-RM Cuotas mensuales autorizadas
Servicio interrmpible	I-15 I-30 Cuotas mensuales autorizadas

Todas ellas se sujetan a reglamentos y disposiciones de la Secretaria de Energía, la Comisión Reguladora de Energía y la Comisión Federal de Electricidad.

L U M I N O T E C N I A:
Cálculo según el método de los lúmenes

Profesores: Castilla Cabanes, Nuria (ncastilla@csa.upv.es)
Blanca Giménez, Vicente (vblanca@csa.upv.es)
Martínez Antón, Alicia (almaran@csa.upv.es)
Pastor Villa, Rosa María (ropasvil@csa.upv.es)

Departamento: Construcciones Arquitectónicas

Centro: E.T.S. Arquitectura

1. RESUMEN

En este artículo vamos a exponer el método de los lúmenes para establecer el número de luminarias necesario en un determinado local que precise una iluminación uniforme. Se debe conocer antes cuáles son las dimensiones del local, así como el tipo de lámpara y luminaria que se utiliza, de manera que no sólo se pueda calcular su número sino también evaluar si ofrecen el nivel de iluminancia adecuado o no.

2. OBJETIVOS

Una vez leas con detenimiento este documento, serás capaz de calcular el flujo luminoso total necesario en un determinado espacio o local que precise una iluminación uniforme; determinar el número de luminarias que necesitas para alcanzar el nivel de iluminancia o iluminación adecuado; establecer su emplazamiento y evaluar si el número de luminarias, que has determinado antes, es el correcto o no. Todo ello mediante la utilización del método de cálculo de iluminación conocido como el **método de los lúmenes.**

3. INTRODUCCIÓN

Una buena iluminación puede llegar a conseguir que los lugares en los que vivimos y trabajamos se conviertan en algo más que un simple lugar de trabajo u ocio. Gracias a un buen diseño lumínico se pueden crear ambientes más que agradables, casi mágicos, sin por ello nunca olvidar que las instalaciones lumínicas sean energéticamente sostenibles.

Los parámetros que definen la calidad de una iluminación dependen de la finalidad de la misma (iglesias, teatros, sala de conciertos, aulas, museos, etc.) pero en todo caso han de responder a ciertas exigencias comunes[1] […] *como las siguientes:*

1. *Nivel de iluminación*: iluminancias que se necesitan (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie)
2. *Distribución de luminancias en el campo visual.*
3. Limitación del *deslumbramiento.*
4. *Modelado:* limitación del contraste de luces y sombras creado por el sistema de iluminación.
5. *Color:* color de la luz y la reproducción cromática
6. *Estética:* selección del tipo de iluminación, de las lámparas y de las luminarias.

Si se siguen todos estos parámetros se conseguirá un buen diseño lumínico, sin olvidar nunca que la elección adecuada de cantidad y calidad de la iluminación va en función del espacio que se va a iluminar y de la actividad que él se realizará.

Comprobar en un determinado espacio si el nivel de iluminación es adecuado o no, se convierte en una tarea fundamental del arquitecto si quiere conseguir espacios grandiosos lumínicamente hablando.

4. DESARROLLO

Después de leer este documento, enseguida comprenderás la transcendencia de conseguir el nivel de iluminación apropiado para un determinado espacio. Es un procedimiento fácil que seguro tendrás que realizar cuando llegues a la vida laboral ya que tendrás que saber si los niveles de iluminación que tienes en los lugares que proyectes son los adecuados.

Una vez vista la importancia de ser capaz de conseguir el nivel de iluminación correcto gracias al número preciso de lámparas y luminarias, es recomendable que recuerdes cuales son los elementos básicos que forman parte de un sistema de iluminación:

1. La fuente de luz o tipo de lámpara utilizada: incandescente, fluorescente, descarga en gas...
2. La luminaria. Controla el flujo luminoso emitido por la fuente y, en su caso, evita o minimiza el deslumbramiento.
3. Los sistemas de control y regulación de la luminaria.

Es importante que también refresques tus nociones sobre las magnitudes fundamentales en luminotecnia como son el flujo, la intensidad luminosa, la iluminancia y la luminancia, así como sus diferencias fundamentales. Una vez reconocidos estos elementos, ya puedes comenzar el cálculo con el fin de evaluar si el nivel de iluminación en un espacio es el adecuado o no.

Recuerda que para realizar el proceso de cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, puedes utilizar dos métodos:

1. **Método de los Lúmenes, también denominado, Sistema General o Método del Factor de utilización**,
   El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de ± 5 % y nos da una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación.

2. **Método del punto por punto (o de iluminancias puntuales):**
   Este método se utiliza si lo que deseas es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

En este caso, el método al que vas a aplicar es el **Método de los Lúmenes.** Teniendo siempre en cuenta que **se utilizará para obtener una iluminación general y uniforme de un determinado espacio.** Gracias a él también, establecida una zona o local, podrás saber qué cantidad de luminarias necesitas y cómo han de estar situadas en ese espacio.

Cálculo del flujo luminoso total necesario.

La fórmula que vas a emplear es la siguiente[2]:

---

[1] Blanca Jiménez, Vicente, Aguilar Rico, Mariano. Iluminación y color. Ed. UPV, Valencia, 1995.

[2] Blanca Jiménez, Vicente, Aguilar Rico, Mariano. *Iluminación y color*. Ed. UPV, Valencia, 1995. Pág. 332.

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Ecuación 1. Definición del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita.

Donde:

E_m = nivel de iluminación medio (en LUX)

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en LÚMENES)

S = superficie a iluminar (en m^2).

Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización (C_U) y de mantenimiento (C_m), que se definen a continuación:

C_u = Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

C_m = Coeficiente de mantenimiento. Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

Cálculo del número de luminarias.

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

Ecuación 2. Definición del número de luminarias (El valor de NL se redondea por exceso)

Donde:

NL = número de luminarias

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo)

n = número de lámparas que tiene la luminaria

No olvides que la finalidad de este método es calcular el valor medio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Encontrarás que es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

Para ello, el esquema que vas a seguir es el siguiente:

1º. CALCULAR EL FLUJO LUMINOSO TOTAL NECESARIO (Φ_T). *Ecuación 1.*

1.1. Fijar los datos de entrada:

a. Dimensiones del local. (a, b y H)

b. Altura del plano de trabajo. (h')

c. Nivel de iluminancia media. (E_m)

d. Elección del tipo de lámpara.

e. Elección del tipo de luminaria (catálogos comerciales) y su altura de suspensión.

1.2. **Determinar el coeficiente de utilización** (C_u). Según datos del fabricante de la luminaria a partir de coeficientes de reflexión y el índice k del local.

1.3. Determinar el coeficiente de mantenimiento (C_m). Según el tipo de local.

2º. ESTABLECER EL NÚMERO DE LUMINARIAS. *Ecuación 2.*

3º. PRECISAR EL EMPLAZAMIENTO DE LAS LUMINARIAS.

4º. COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS. (Nivel de iluminación medio superior al de tablas)

Después de tener claro el esquema, te proponemos un ejemplo que tienes que ir haciendo paso a paso.
En él se desarrollan con más claridad los puntos anteriores.

Ejemplo de cálculo:

Tienes que iluminar un aula de dimensiones 4 m. de ancho por 6 m. de alto por 2,6 m. de alto con luminarias tipo downlight con dos lámparas fluorescentes. (Los datos del tipo de luminaria y de lámpara los encontrarás adjuntados en el ejemplo).

Los acabados de dicha aula son paredes de yeso blanco, suelo de terrazo gris oscuro y falso techo de placas de cartón-yeso acústicas perforadas.

Determina el número de luminarias que necesitas y cómo has de colocarlas para obtener un nivel adecuado de iluminación uniforme.

Cuando termines con este ejemplo vas a ser capaz de:

1º. Calcular el flujo luminoso total necesario en un determinado espacio.
2º. Determinar el número de luminarias que precisas para alcanzar el nivel de iluminación adecuado.
3º. Establecer el emplazamiento de las luminarias, es decir, la distancia a la que debes instalar las luminarias para iluminarlo uniformemente.
4º. Evaluar si el número de luminarias que has determinado antes es el correcta o no, gracias los puntos anteriores.

Ahora que ya sabes lo que vas a ser capaz al final de este ejemplo.

1. Empieza calculando el flujo luminoso total que necesitas en el aula:

Lógicamente, si quieres averiguar en el flujo luminoso que necesitas que aporten las lámparas que vas a colocar, es importante que antes, analices el tipo de aula que tienes. Su forma y sus acabados influyen notoriamente en cómo reflexiona la luz en ese determinado espacio.

Para calcular el flujo luminoso, sigue los siguientes pasos:

1.1. Datos de entrada (del local, lámparas y luminarias):

Examina el local y los elementos que tienes. No olvides apuntar los datos que vayas averiguando:

1.1.1. Analiza las dimensiones del local o zona a iluminar:
a = ancho (en m) = 4m
b = largo (en m) = 6 m
H = alto (en m) = 2,6 m

Apunta estos datos porque los utilizarás más tarde.

1.1.2. **Fija la altura del plano de trabajo (h'):**

Ahora fíjate en el tipo de actividad que se va a realizar en el aula. En el aula normalmente se dará clase y los alumnos estarán sentados en mesas. Es en esas donde tienes que verificar si se cumplen los niveles adecuados de iluminación.

Es por tanto importante que fijes la altura del plano de trabajo que siempre dependerá del tipo de actividad que se realice en esa zona determinada.

Generalmente, se considera la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo, normalmente de 0,85 m. En casos como pasillos, vestíbulos, halls, etc. se considera que la altura del plano de trabajo es 0.

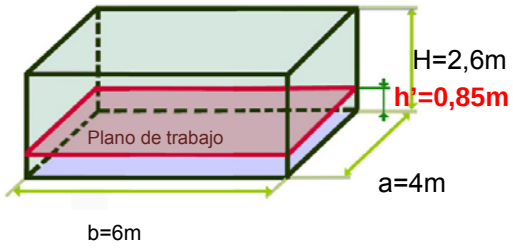


Figura 1. Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo

En tu caso, como tienes un aula donde se va a dar clase, considera: h'= 0,85 m.

1.1.3. Determina el nivel de iluminancia media (Em) que ha de tener el aula.

Este valor depende del tipo de actividad que se va realizar en el local.

Los valores del nivel de iluminancia media los puedes encontrar tabulados en la *Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior*. Esta norma define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Sus recomendaciones, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, y permiten crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones.

6.2 Edificios educativos

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lux	UGR_L –	R_a –	Observaciones
6.2.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
6.2.3	Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable

Figura 2. Requisitos de iluminación para (áreas) interiores, tareas y actividades[3].

[3] Tabla 5.6 Edificios educativos de la Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior, pág. 28.

1.1.4. Identifica el tipo de lámpara que vas a utilizar.

En este caso, la lámpara del ejemplo es una fluorescente. Se ha elegido porque tiene una aceptable reproducción de color y es más eficiente, energéticamente hablando, que las incandescentes.

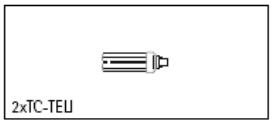


Figura 3. Datos e imagen de la lámpara[4]

Recuerda: En este ejemplo, el tipo de lámpara se te proporciona como dato. Si no es así, tendrías tú que escoger el tipo de **lámpara** (incandescente halógena, fluorescente, halogenuros metálicos,...) más adecuada al tipo de actividad a realizar.

1.1.5. Identifica el tipo de luminaria que vas a utilizar.

No olvides que también tendrías que elegir la luminaria más apropiada a cada caso concreto. Para ello habrías de consultar los catálogos online de los distintos fabricantes de luminarias técnicas.

Toda la información que necesitas la puedes buscar allí. No tienes más remedio que recurrir a ellos ya que cada luminaria, según como esté fabricada, modifica el flujo de la lámpara que lleva dentro. En tu caso, si te fijas en el enunciado del ejemplo, la luminaria se ha establecido de antemano, es un downlight.[5]

Figura 4. Imagen de la luminaria

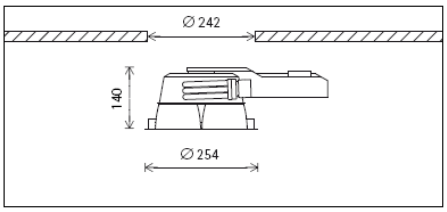


Figura 5. Dimensiones de la luminaria

22264.000 Reflector plateado
2 x TCTELI 32W GX24q3 2400 lm RE

Tipo de lámpara

Presta atención a los datos extraídos de la información del fabricante de la luminaria. Para saber el flujo que tiene la lámpara, recuerda que el flujo siempre viene expresado en lúmenes (lm), por tanto, busca un valor que acabe en lm.

Fíjate en que la luminaria tiene 2 lámparas cada una de ellas con un flujo de 2.400 lúmenes. En total, el flujo de las lámparas de cada luminaria es de: 2 x 2.400 = 4.800 lúmenes

1.1.6. Determina la altura de suspensión a la que vas a colocar las luminarias.

Generalmente, como es tu caso, la **altura de suspensión de las luminarias para locales de altura normal** será aquella que resulte de colocar las luminarias lo más alto posible:

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles

Tabla 1. Altura de las luminarias en locales de altura normal[6]

Sin embargo, puedes tener otras situaciones, como pueden ser locales de altura elevada, en ese caso, si quieres determinar esa altura de suspensión puedes utilizar la siguiente tabla:

	Mínimo:	Óptimo:
Locales con iluminación **directa, semidirecta y difusa**	$h = \frac{2}{3} \cdot (H - h')$	$h = \frac{4}{5} \cdot (H - h')$
Locales con iluminación **indirecta**	$d' \approx \frac{1}{5} \cdot (H - h')$	$h \approx \frac{3}{4} \cdot (H - h')$

Tabla 2. Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada[7].

[4] http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloaddat_dltut_1.php?aktion=_startseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

[5] http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloaddat_dltut_1.php?aktion=_startseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

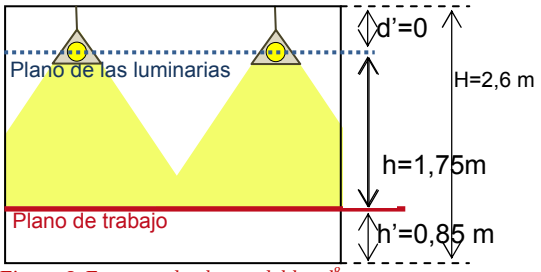
Puedes bajarte el pdf si quieres seguir el ejemplo con más precisión: Luminaria: Downlights CL Luminarias empotrables en el techo→es_1_erco_22264_000.pdf → Downlight CL para lámparas fluorescentes compactas

[6] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

[7] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

En tu caso, tu local es de altura normal por lo tanto intentarás colocar tus luminarias lo más altas posibles tal y como lo indica en la *Tabla 1*. Es más, si observas la *Figura 4*, verás en la imagen que tu luminaria va empotrada en el techo.

Hazte ahora un esquema con las distintas alturas a las que tienes los elementos en el aula. Sería un esquema como el que tienes a continuación en la *Figura 6.*



d' = altura entre el plano de las luminarias y el techo.

h = altura entre el plano de trabajo y el plano de trabajo de las luminarias

h' = altura del plano de trabajo al suelo

H = altura del local

Figura 6. Esquema de alturas del local[8]

1.2. Calcula el coeficiente de utilización (Cu)

El coeficiente de utilización, *nos indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo. […] los fabricantes de luminarias proporcionan para cada modelo unas tablas […], que son las denominadas tablas del factor de utilización. Este coeficiente será tanto más grande cuanto mayores sean los coeficientes de reflexión, mayores la altura y longitud y menor la altura del plano de trabajo. También, lógicamente, influirá si el alumbrado es directo o no, pues una distribución concentrada dirigirá la luz unitariamente hacia abajo, originando que una menor proporción de luz incida en las paredes y techos, obteniendo así una considerable mejora en el rendimiento de las instalaciones*[9].

El coeficiente de utilización, por tanto, se encuentra tabulado y es un dato que te lo debe facilitar el fabricante (las casas comerciales más importantes habitualmente nos proporcionarán tablas, a través de su página web).

En esas tablas encontrarás, para cada tipo de luminaria, los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se puedes obtener los factores por lectura directa en la tabla será necesario que interpoles. Como para deducir el coeficiente de utilización has de averiguar antes el índice del local y los coeficientes de reflexión de las superficies del aula, tendrás que calcularlos antes:

a. Calcula el índice del local (k)

El índice del local (k) se averigua a partir de la geometría de este.
Utiliza los datos que están en el ejemplo sobre las dimensiones del local y que apuntaste en el apartado 1.1.1.

a = ancho; b = largo; h = altura

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación **directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa**	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)}$
Iluminación **indirecta y semiindirecta**	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h+h') \cdot (a+b)}$

Tabla 3. Cálculo del índice del local[10]

En tu caso, si observas la *Figura 4*, por el tipo de luminaria que tienes, puedes advertir que lo que te dará es una iluminación directa (hacia abajo). Elige, pues, la fórmula que hace referencia a una iluminación directa (la que está marcada en rojo) y sustituye en ella los valores de tu local:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)} = \frac{4 \cdot 6}{1{,}75 \cdot (4+6)} = 1{,}37$$

[8] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

[9] http://www.monografias.com/trabajos24/sistemas-iluminacion/sistemas-iluminacion.shtml

[10] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

b. Calcula de los coeficientes de reflexión.

Recuerda que la reflexión de la luz depende el tipo de material o superficie en el que incide, por tanto, no es lo mismo que los acabados de tu local sean de un material u otro en cuanto a la luz se refiere. Los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado.

Si no dispones de ellos, puedes utilizar la siguiente tabla:

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRON CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRON OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla 4. Ejemplos de coeficientes de reflexión

Si te falta algún coeficiente, en su defecto puedes tomar:
0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

En tu caso, si sustituyes los materiales que tenías en el ejemplo en la *Tabla 4*, los coeficientes de reflexión son:

Techo (acústico blanco)=0,5-0.65
Paredes (blanco)= 0.7-0.85
Suelo (gris oscuro)=0.1-0.20

En este momento, ya has establecido el índice del local (k=1,37) y los coeficientes de reflexión de las superficies del aula, por tanto, ya puedes averiguar el **coeficiente de utilización (C_u).**
Busca la tabla que te tiene que proporcionar el fabricante en la que estén esos valores:

Tabla de corrección						
Techo		0.70	0.70	0.70	0.50	0
Pared		0.70	0.50	0.20	0.20	0
Suelo		0.50	0.20	0.20	0.10	0
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

Tabla 5. Cálculo del coeficiente de utilización[11]

La lectura directa no es posible, así que has de interpolar: (100+116+91+77)/4=384/4=96.

Como este valor es un porcentaje, en realidad, estamos hablando de: C_u= 0,96

1.3. **Determina el coeficiente de mantenimiento (C_m) o conservación** de la instalación**:**

Este coeficiente hace referencia a la influencia que tiene en el flujo que emiten las lámparas el grado de limpieza de la luminaria. Dependerá, por consiguiente, del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Para determinarlo, suponiendo una limpieza periódica anual, puedes tomar los siguientes valores:

[11] http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloaddat_dltut_1.php?aktion=_startseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

Ambiente	Coeficiente de mantenimiento (C_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Tabla 6. Cálculo del coeficiente de mantenimiento[12]

En el aula se supone un ambiente limpio por lo que toma: C_m =0,8

Con todos los datos que has averiguado, ya puedes calcular el **flujo luminoso total necesario:**

Para ello, aplica la fórmula vista anteriormente:

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Ecuación 1. Definición del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita.

Sustituye los valores obtenidos:

$$\Phi_T = \frac{300 \cdot 4 \cdot 6}{0{,}97 \cdot 0{,}8} = \frac{7200}{0{,}776} = 9278{,}35 \text{ lúmenes}$$

El flujo luminoso total que necesitas en el aula es de 9.278,35 lúmenes.

2. Determina el número de luminarias que precisas para alcanzar el nivel de iluminación adecuado.

El número de luminarias, lo has de calcular según la *Ecuación 2*, que has visto anteriormente:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

(Valor que se redondea por exceso)

Ecuación 2. Cálculo del número de luminarias.

Recuerda que en el caso, tienes 2 lámparas por cada luminaria. Vuelve a la *Figura 4* para comprobarlo.
De esta forma, si sustituyes en la ecuación anterior:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{9278{,}35}{2 \cdot 2400} = 1{,}93 \approx 2$$

Es decir, en el aula tienes que colocar 2 luminarias que tienen 2 lámparas cada una en su interior.

3. Establece el emplazamiento de las luminarias.

Una vez has calculado el número mínimo de luminarias que necesitas tiene que proceder a distribuirlas sobre la planta del aula, es decir, tendrás que averiguar la distancia a la que debes instalarlas para iluminarla uniformemente.

En los locales de planta rectangular, como es tu caso, si quieres una iluminación uniforme las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas[13]:

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{b} \cdot a}$$

Ecuación 3.
Número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} \cdot \left(\frac{b}{a}\right)$$

Ecuación 4.
Número de columnas de luminarias a lo largo (b) del local

a = ancho del local (en m)
b = largo del local (en m)

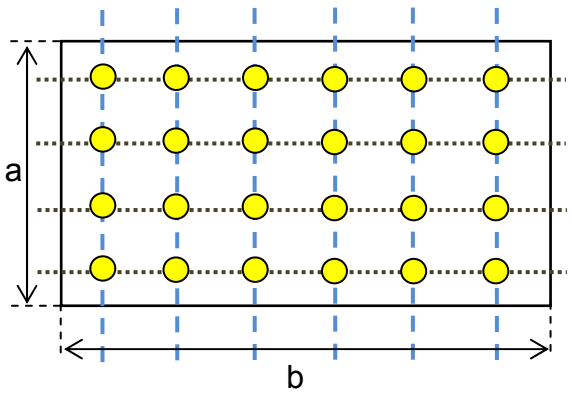


Figura 7. Distribución uniforme de luminarias

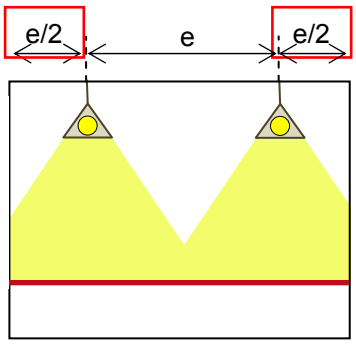
[12] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

[13] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{1{,}93 \cdot 4}{6}} = 1{,}13 \approx 1 \longrightarrow \text{número de filas de luminarias que tienes a lo ancho del local}$$

$$N_{largo} = 1{,}13 \cdot \left(\frac{6}{4}\right) = 1{,}70 \approx 2 \longrightarrow \text{número de columnas de luminarias que tienes a lo largo del local}$$

Es importante que no olvides que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia a la que coloques el resto).



distancia pared-luminaria: **e/2**

Figura 8. Separación de las luminarias a las paredes

Por lo tanto, el esquema de colocación de las luminarias que tienes en el aula, es el siguiente:

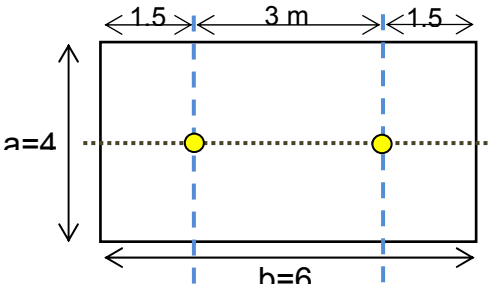


Figura 9. Distribución de luminarias en el aula

Un dato importante que no has de olvidar es que *la distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de la apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo*[14].

Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias se pueden resumir como sigue[15]:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	e ≤ 1.2 h
extensiva	6 - 10 m	e ≤ 1.5 h
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤4 m	e ≤1.6 h

Tabla 7. Relación entre la altura del local y la distancia máxima entre luminarias[16]

En tu caso: h=1,75 m y e=3 m.

e ≤1.6 h → Si sutituyes: 3m ≈ 2,8m → Por lo que lo consideramos aceptable.

Si después de calcular la posición de las luminarias te encuentras que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa que has obtenido no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas que has elegido al principio es excesiva.

En esos casos, conviene que rehagas los cálculos y pruebes a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

[14] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

[15] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

[16] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html

4. Evalúa si el número de luminarias que has determinado antes es el correcto o no, gracias los puntos anteriores.

Por último, en este punto tienes que comprobar la validez de los resultados. Vuelve a la *Figura 2*. Recuerda que en ella se fijaba el nivel de iluminancia media que tenía que tener el aula.

Comprobar los resultados significa comparar la iluminancia media que has obtenido en la instalación diseñada *Figura 9* con la recomendada en la *Figura 2* y establecer si es igual o superior.

Sustituye los valores en la *Ecuación 5* y compáralos.

$$\boxed{E_m = \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} \geq E_{tablas}}$$

Ecuación 5. Comprobación del nivel de iluminancia media

$$E_m = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2400 \cdot 0{,}97 \cdot 0{,}8}{4 \cdot 6} = 310{,}40 \geq 300 \Rightarrow Cumple$$

Al cumplir el nivel de iluminancia media significa que el número de luminarias que has instalado es correcto.

5. CIERRE

En este objeto de aprendizaje has utilizado el método de los lúmenes para calcular el número de luminarias necesario en un determinado zona o local que precise una iluminación uniforme, y también has aprendido a cómo distribuirlas. De esta manera, puedes evaluar, al final, si la luminaria y la lámpara que contiene proporcionan el nivel de iluminancia adecuado o no.

Para comprobar si has aprendido a calcular el número de luminarias, te proponemos el siguiente ejercicio:

Con el mismo enunciado, mantén la luminaria[17]. Cambia la altura del aula del local a 3,5 m. y el ancho a 10 m. Calcula el número de luminarias y determina si es aceptable o no.

Solución al ejercicio planteado:

Φ_T = 21.844,66 lm; NL= 5; $N_{ancho} = 3$; $N_{largo} = 2$; $E_m = 329{,}6 \geq 300 \Rightarrow Cumple$

6. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

[A] Blanca Jiménez, Vicente, Aguilar Rico, Mariano. *Iluminación y color*. Ed. UPV, Valencia, 1995.

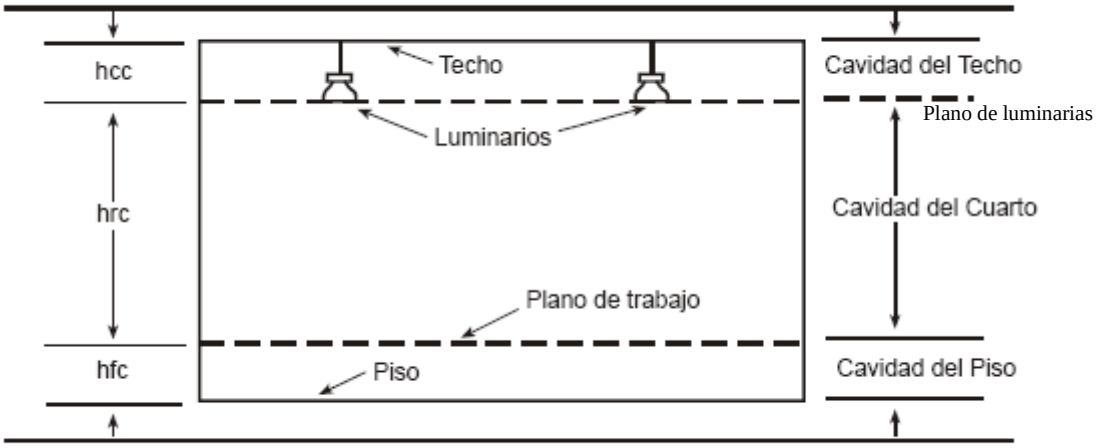
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

[1] http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html
[2] De las Casas Ayala, José María; González González, Rafael; Puente García, Raquel: "*Curso de Iluminación integrada en la arquitectura*". Ed. Servicio de publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1991
[3] Re. Vittorio:"*Iluminación externa*" Ed. Marcambo Boixaren. Barcelona, 1979.
[4] *Manual de Alumbrado* de firmas comerciales como PHILIPS, WHESTIGHOUSE, INDALUX.
[5] Puppo, Ernesto; Puppo, Giorgio Alberto, *Acondicionamiento natural y arquitectura. Ecología en arquitectura*, Ed. Marcambo Boixaren, Barcelona, 1971.
[6] Instituto para la diversificación y ahorro de energía. "*Cuadernos de Gestión energética municipal*" Ed. IDAE. Madrid, 1989.
[7] Asociación Nacional de fabricantes de luminarias. "Código de alumbrado interior" Ed. Anfalum. Madrid, 1981.
[8] Taboada, J.A.: "*Manual OSRAM*". Ed. OSRAM. Madrid, 1975.

[17] http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloaddat_dltut_1.php?aktion=_startseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

Método Cavidad zonal

Consiste en encontrar un coeficiente de utilización (Cu) en el área o local en estudio el cual esta conformado por 3 cavidades las cuales son: Cavidad de techo, cavidad del local y cavidad del suelo.



Siendo:

hcc = Altura de cavidad de techo
hcr = Altura de cavidad del local o cuarto
hfc = Altura de cavidad de suelo

Procedimiento:

Se determinan los rangos de cavidad mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Rango de Cavidad de Techo (CCR)} = \frac{5\,hcc\,(L+W)}{L \times W}$$

$$\text{Rango de Cavidad de Cuarto (RCR)} = \frac{5\,hcr\,(L+W)}{L \times W}$$

$$\text{Rango de Cavidad de Piso (FCR)} = \frac{5\,hfc\,(L+W)}{L \times W}$$

L = Largo del cuarto
W = Ancho del cuarto

Se determinan los coeficientes de reflexión de techos, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado

	Color	**Factor de reflexión (ρ)**
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Se determinan las reflectancias de cavidad efectiva:

Pw = % Reflectancia efectiva de pared que es la misma % de reflectancia o coeficiente de reflexión de pared (permanece constante)

Pcc = % Reflectancia de cavidad del techo efectiva.

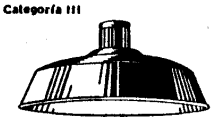
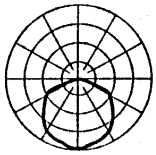
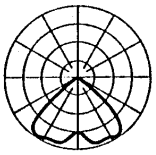
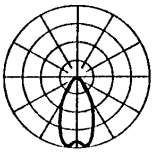
Pfc = % Reflectancia de cavidad del suelo efectiva

La cuales se determinan por medio de la siguiente tabla, interceptando el % de reflectancia de techo y suelo con los valores de CCR Y FCR previamente calculados. En caso de que el valor de un valor intermedio de la tabla se realiza una interpolación para determinar el valor.

Porcentaje de reflectancia efectiva en la cavidad de piso o techo para diferentes conbinaciones de reflectancia																					
% Reflectancia de techo o piso	90				80				70			50				30			10		
% Reflectancia de pared	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	10	50	30	10
RSR																					
0.2	89	88	86	85	78	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	09
0.4	88	86	84	81	77	76	74	72	67	65	63	48	47	45	30	29	28	26	11	10	09
0.6	87	84	80	77	76	75	71	68	65	63	59	47	45	43	30	28	26	25	11	10	08
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	44	40	30	28	25	23	11	10	08
1.0	86	80	75	69	74	72	67	62	62	58	53	46	43	38	30	27	24	22	12	10	08
1.2	85	78	72	66	73	70	64	58	61	57	50	45	41	36	30	27	23	21	12	10	07
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	55	47	45	40	35	30	26	22	19	12	10	07
1.6	84	75	67	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	29	25	22	18	12	09	07
1.8	83	73	64	56	70	66	58	50	58	51	42	43	38	31	29	25	21	17	13	09	06
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	49	40	43	37	30	29	24	20	16	13	09	06
2.2	82	70	59	50	68	63	54	45	55	48	38	42	36	29	29	24	19	15	13	09	06
2.4	82	69	58	48	67	61	52	43	54	46	37	42	35	27	29	24	19	14	13	09	06
2.6	81	67	56	46	66	60	50	41	54	45	35	41	34	26	29	23	18	14	13	09	06
2.8	81	66	54	44	65	59	48	39	53	43	33	41	33	25	29	23	17	13	13	09	05
3.0	80	64	52	42	65	58	47	37	52	42	32	40	32	24	29	22	17	12	13	09	05
3.2	79	63	50	40	65	57	45	35	51	40	31	39	31	23	29	22	16	12	13	09	05
3.4	79	62	48	38	64	56	44	34	50	39	29	39	30	22	29	22	16	11	13	09	05
3.6	78	61	47	36	63	54	43	32	49	38	28	39	29	21	29	21	15	10	13	09	04
3.8	78	60	45	35	62	53	41	31	49	37	27	38	29	21	28	21	15	10	14	09	04
4.0	77	58	44	33	61	53	40	30	48	36	26	38	28	20	28	21	14	09	14	09	04
4.2	77	57	43	32	60	52	39	29	47	35	25	37	28	20	28	20	14	09	14	09	04
4.4	76	56	42	31	60	51	38	28	46	34	24	37	27	19	28	20	14	09	14	08	04
4.6	76	55	40	30	59	50	37	27	45	33	24	36	26	18	28	20	13	08	14	08	04
4.8	75	54	39	28	58	49	36	26	45	32	23	36	26	18	28	20	13	08	14	08	04
5.0	75	53	38	28	58	48	35	25	44	31	22	35	25	17	28	19	13	08	14	08	04

Se determina el Coeficiente de Utilización (Cu) con los valores de Pcc, Pw y Pfc. Dependiendo de la luminaria y lámpara que se escogió (estos valores se determinan por medio de tablas que nos suministran los fabricantes, utilizando el valor de RCR (rango de cavidad del cuarto o local previamente calculado). Como por ejemplo la que se muestra a continuación. En los casos en que el valor se encuentre entre dos valores de la tabla se realiza una interpolación

COEFICIENTES DE UTILIZACION

LUMINARIA	DISTRIBUCION	Separación no superior a	Cavidad del techo	Reflectancias 80 %			50 %			10 %			0 %
			Paredes	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0 %
			RCL	COEFICIENTES DE UTILIZACION									
Categoría III  Reflector de cúpula ventilado	 0 – 79	1,3 x Altura de montaje	1	8,50	8,20	7,90	7,90	7,70	7,50	7,30	7,20	7,10	6,90
			2	7,40	6,90	6,50	7,00	6,60	6,20	6,50	6,20	5,90	5,80
			3	6,50	6,00	5,40	6,20	5,70	5,30	5,70	5,40	5,10	4,90
			4	5,80	5,10	4,60	5,50	4,90	4,50	5,10	4,70	4,40	4,20
			5	5,00	4,40	3,80	4,70	4,20	3,70	4,50	4,00	3,60	3,50
			6	4,40	3,80	3,30	4,30	3,60	3,20	4,00	3,50	3,20	3,00
			7	4,00	3,30	2,80	3,80	3,30	2,80	3,60	3,20	2,70	2,60
			8	3,60	2,90	2,40	3,40	2,80	2,40	3,20	2,70	2,30	2,20
			9	3,30	2,50	2,00	3,10	2,50	2,00	2,90	2,40	2,00	1,80
			10	2,90	2,20	1,80	2,80	2,20	1,80	2,60	2,10	1,80	1,70
Categoría I Lámpara reflectora de filamento R-52 Haz ancho, 500 y 750 W	 0 – 100	1,5 x Altura de montaje	1	10,80	10,50	10,20	10,10	9,90	9,70	9,40	9,30	9,10	8,90
			2	9,80	9,30	8,90	9,30	8,90	8,60	8,80	8,50	8,20	8,00
			3	8,90	8,30	7,80	8,50	8,00	7,60	8,00	7,60	7,30	7,10
			4	8,10	7,40	6,80	7,70	7,20	6,70	7,30	6,90	6,50	6,40
			5	7,30	6,60	6,00	7,00	6,40	5,90	5,60	6,20	5,80	5,60
			6	6,70	5,90	5,30	6,40	5,80	5,20	6,10	5,60	5,20	5,00
			7	6,00	5,20	4,70	5,80	5,10	4,60	5,50	5,00	4,60	4,50
			8	5,40	4,60	4,00	5,20	4,50	4,00	4,90	4,40	4,00	3,80
			9	4,80	4,00	3,50	4,60	3,90	3,50	4,40	3,80	3,40	3,30
			10	4,30	3,60	3,00	4,20	3,50	3,00	4,00	3,40	3,00	2,80
Categoría I Lámpara reflectora de filamento R-57. Haz estrecho — 500 y 750 W	 0 – 100	1,6 Altura de montaje	1	11,00	10,80	10,50	10,40	10,20	10,00	9,70	9,60	9,50	9,30
			2	10,20	9,80	9,40	9,70	9,40	9,10	9,10	8,90	8,80	8,60
			3	9,50	9,00	8,50	9,10	8,70	8,30	8,60	8,30	8,10	7,90
			4	8,80	8,20	7,80	8,50	8,00	7,60	8,10	7,70	7,50	7,30
			5	8,20	7,60	7,10	7,90	7,40	7,00	7,60	7,20	6,90	6,70
			6	7,70	7,00	6,60	7,40	6,90	6,50	7,20	6,80	6,40	6,30
			7	7,10	6,50	6,10	6,90	6,40	6,00	6,70	6,30	6,00	5,80
			8	6,60	6,00	5,60	6,50	5,90	5,50	6,30	5,80	5,50	5,40
			9	6,20	5,50	5,10	6,00	5,50	5,10	5,90	5,40	5,00	4,90
			10	5,80	5,10	4,70	5,60	5,10	4,70	5,50	5,00	4,60	4,50

COEFICIENTES DE UTILIZACION

Se determina el factor de corrección para reflectancias efectivas de la cavidad del suelo distintas al 20 % (hay que verificar si la tabla del fabricante esta trabajando con el mismo Pfc (% Reflectancia de cavidad del suelo efectiva) que se determino, por medio de la siguiente tabla:

Factores de multiplicación para reflectancia de cavidad de piso diferente al 20 por ciento

% de reflectancia efectiva en la cavidad de techo, pcc	80				70				50			30			10		
% de reflectancia en paredes, pW	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Para 30 % de reflectancia efectiva en la cavidad de piso (20 % = 1.00)																	
RCR																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
Para 10 % de reflectancia efectiva en la cavidad de piso (20 % = 1.00)																	
RCR																	
1	0.923	0.929	0.935	0.940	0.933	0.939	0.943	0.948	0.956	0.960	0.963	0.973	0.976	0.979	0.989	0.991	0.993
2	0.931	0.942	0.950	0.958	0.940	0.949	0.957	0.963	0.962	0.968	0.974	0.976	0.980	0.985	0.988	0.991	0.995
3	0.939	0.951	0.961	0.969	0.945	0.957	0.966	0.973	0.967	0.975	0.981	0.978	0.983	0.988	0.988	0.992	0.996
4	0.944	0.958	0.969	0.978	0.950	0.963	0.973	0.980	0.972	0.980	0.986	0.980	0.986	0.991	0.987	0.992	0.996
5	0.949	0.964	0.976	0.983	0.954	0.968	0.978	0.985	0.975	0.983	0.989	0.981	0.988	0.993	0.987	0.992	0.997
6	0.953	0.969	0.980	0.986	0.958	0.972	0.982	0.989	0.977	0.985	0.992	0.982	0.989	0.995	0.987	0.993	0.997
7	0.957	0.973	0.983	0.991	0.961	0.975	0.985	0.991	0.979	0.987	0.994	0.983	0.990	0.996	0.987	0.993	0.998
8	0.960	0.976	0.986	0.993	0.963	0.977	0.987	0.993	0.981	0.988	0.995	0.984	0.991	0.997	0.987	0.994	0.998
9	0.963	0.978	0.987	0.994	0.965	0.979	0.989	0.994	0.983	0.990	0.996	0.985	0.992	0.998	0.988	0.994	0.999
10	0.965	0.980	0.965	0.980	0.967	0.981	0.990	0.995	0.984	0.991	0.997	0.986	0.993	0.998	0.988	0.994	0.999

Por ultimo se corrige el coeficiente de utilización multiplicándolo por el factor multiplicador.
En los casos en que sea necesario se interpolara.

Se determina el **Factor de Mantenimiento (fm).** Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Ambiente	**Factor de mantenimiento (f_m)**
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Ambiente de trabajo	F_m
Acerías, fundiciones	0'65
Industrias de soldadura, mecanizado	0'70
Oficinas industriales, salas	0'75
Patios de operaciones, locales públicos	0'80
Despachos, oficinas comerciales, informáticas	0'85

Cálculos a Realizar:

Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$$

Donde:

- Φ_T es el flujo luminoso total
- E es la iluminancia media deseada
- S es la superficie del plano de trabajo
- η es el factor de utilización
- f_m es el factor de mantenimiento

Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$ (Redondeado por exceso)

Donde:

- N es el número de luminarias
- Φ_T es el flujo luminoso total
- Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara
- n es el número de lámparas por luminaria

Se determina el **Emplazamiento de las luminarias**

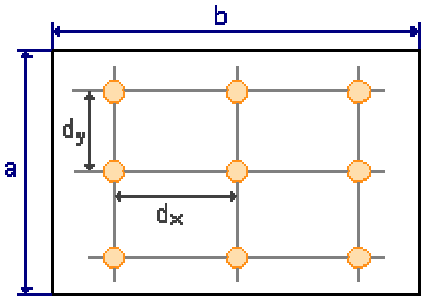
Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias procederemos a distribuirlas sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se

reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

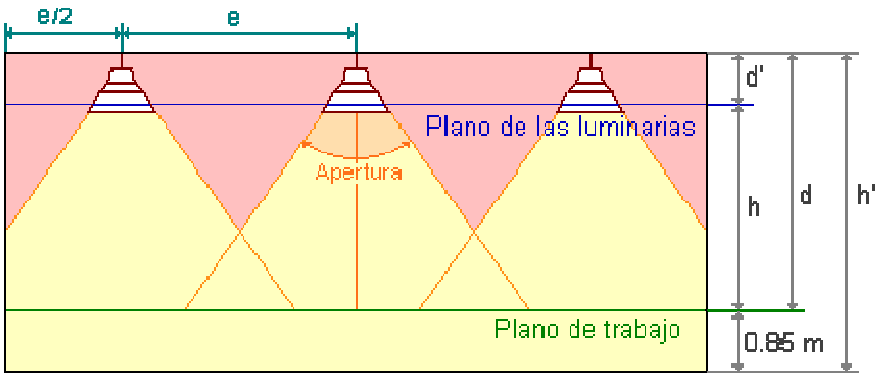
$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total}}{largo} \times ancho}$$

$$N_{largo} = N_{ancho} \times \left(\frac{largo}{ancho} \right)$$

donde N es el número de luminarias



La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de **apertura del haz de luz** y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados.



De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir como sigue:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	e ≤ 1.2 h
extensiva	6 - 10 m	e ≤ 1.5 h
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤4 m	e ≤ 1.6 h
distancia pared-luminaria: e/2		

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados determinando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{tablas}$$

4. Diseño de Iluminación.

Uno de los aspectos más importantes del diseño de un sistema eléctrico, es el diseño del sistema de iluminación. No solo proporciona un nivel de iluminación adecuado, también debe producir confort visual y el calor apropiado al ambiente de la instalación.

Para el diseño de la iluminación tenemos que tener en cuenta que la eficacia luminosa (lm/w) o energía eléctrica consumida, que es convertida en luz, y que la intensidad luminosa o luz emitida en una sola dirección debe ser de buena calidad esto quiere decir que la reproducción de los colores para su apreciación sea de un buen nivel, además de la duración de vida media y costo de la lámpara, y que no debe haber reflejos que afecten la visibilidad de los usuarios, procurando tener el mayor ahorro posible de energía.

4.1 Método de Cavidad Zonal.

Se recomienda el uso del método de cavidad zonal, para los cálculos de iluminación interior uniformemente distribuidos sobre superficies horizontales.

Este método asume que cada local está constituido por tres diferentes zonas o cavidades; cada una de ellas será tratada en conjunto, ya que tiene un efecto en cada una de las otras cavidades para producir iluminación uniforme. Este método calcula niveles horizontales de iluminación promedio a través de un espacio.

Cavidad de Techo: Es el área medida desde el plano de las luminarias al techo. Para luminarias colgantes existirá una cavidad de techo; para luminarias colocadas directamente en el techo o empotradas en el mismo, no existirá cavidad de techo.

Cavidad de Local: Es el espacio entre el plano de trabajo donde se desarrolla la tarea y la parte inferior de la luminaria; el plano de trabajo se encuentra localizado normalmente arriaba del nivel del piso. En algunos casos, donde el plano de trabajo es considerado a nivel del piso, el espacio desde la luminaria al piso se considera como cavidad de local. En el lenguaje de iluminación la distancia desde el plano de trabajo a la parte inferior de la luminaria es llamada altura de montaje de la luminaria.

Cavidad de Piso: Se considera desde el piso a la parte superior del plano de trabajo o bien el nivel donde se realiza la tarea específica. Para áreas de oficina esta distancia es aproximadamente, de 76 centímetros. Para bancos de trabajo de tares difíciles en industrias deberán considerarse 92 centímetros aproximadamente. Sin el trabajo se realizara directamente en el piso, no existe cavidad de piso.

La teoría básica en este método de cálculo de iluminación es que la luz producida por una lámpara es reflejada por todas las superficies del área. Las reflexiones múltiples de la luz desde la luminaria y desde las superficies del local actúan para producir la luz en el plano de trabajo. Debido a este hecho es muy importante determinar:

a) Las dimensiones del local
b) La reflectancia del local de techo, paredes y piso.
c) Características de la lámpara (factor de depreciación y coeficiente de utilización).
d) Efectos ambientales (polvo, suciedad y temperatura).

e) Mantenimiento planeado del sistema de iluminación.

4.1.1 Los pasos a seguir para aplicar el método de cavidad zonal son los siguientes:

1. Determinar el tipo de trabajo que se realizará en el local. Esto servirá para determinar la calidad y cantidad de luz que se necesitará. Esta consulta se puede realizar en los listados que proporciona la NOM-001-SEDE-2005, donde proporciona algunos niveles de luz sugeridos para tipos diferentes de industrias y actividades específicas.

2. Determinar que fuente luminosa deberá usar.

3. Determinar que condiciones ambientales prevalecerán en el área. Esto ayudará a determinar los efectos del polvo, suciedad y las condiciones ambientales que se deberán tomar en cuenta.

4. Determinar las características físicas y operacionales del área y cómo se usará. Esto incluye dimensiones del local, valores de reflectancia, localización del plano de trabajo y características operacionales tales como: horas diarias y anuales de uso del sistema.

5. Seleccionar la luminaria que se usará:

   a) Altura de montaje

   b) Tipo de lámpara seleccionada

   c) Características de depreciación de la luminaria
   d) Restricciones físicas del montaje

      d.1) Colgante
      d.2) Empotrada
      d.3) Abierto
      d.4) Cerrada

6. Determinar los factores de depreciación de luz para el área. Los factores de pérdida de luz se pueden dividir en dos categorías:
   a) No recuperables (temperatura, voltaje, materiales utilizados en la fabricación de la lámpara).
   b) Recuperables (polvo, vida útil, etc.).

7. Cálculo de las relaciones de cavidad:

   Cavidad del Local
   Cavidad del techo
   Cavidad del piso

8. Determinar las reflectancias correspondientes a la cavidad del techo y piso. Este procedimiento contempla el efecto de ínter

reflexión de la luz, considerando las diferentes superficies del local. Si todas las superficies son altamente reflectivas o si las luminarias se encuentran localizadas directamente en el techo, no será necesario efectuar este cálculo. En este caso se puede usar el valor actual de las reflectancias del as superficies, para determinar el coeficiente de utilización.

9. El coeficiente de utilización; es determinar el coeficiente que se encuentra dentro de los datos técnicos proporcionados por fabricante de las lámparas.

10. Cálculo de número de luminarias requeridas con los datos anteriores y la localización se determinará por las limitaciones físicas del local.

4.2 Utilización del método de cavidad zonal

De acuerdo a esto, tenemos para nuestro proyecto lo siguiente:

1. Según lo especificado en la NOM-001-SEDE-2005, artículo 220-3 b) Como tenemos un comedor se tiene la relación para restaurantes de una carga de alumbrado general de 20 (W/m^2).

2. Dado que para distancias entre el piso y el techo de 3 a 6 m. la fuente luminosa adecuada son las lámparas fluorescentes compactas, así como lámparas dicroicas halógenas, ya que proporcionan los niveles de iluminación adecuada y con un índice de reproducción de color adecuado a las necesidades de nuestro proyecto, pues dentro del comedor la reproducción de colores debe de ser la adecuada para que los comensales aprecien los alimentos en colores reales, y dar calidad a la estancia de los mismos.

3. Ya que el comedor estará ubicado dentro de un complejo industrial, pero con todas las condiciones adecuadas para ser un comedor que proporcione a los usuarios gran confort, comodidad, y sensación de bienestar, se pondrá especial cuidado en las condiciones Ambientales que puedan surgir alrededor como el polvo y la suciedad. Para que no puedan llegar a afectar a las actividades del mismo.

4. Dimensiones del Local.

Parte del Comedor	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
Baños y Cocina	20.5	12.7	260.4
Mesas	20.65	7.05	145.6
Complemento de mesas	7	3.7	26
Comedor ejecutivo	8.9	5.4	48
		Total	**480**

Se tiene contemplado un índice de reflectancia del techo 80%, paredes 30%, piso 10% para tener una visibilidad adecuada sin tener iluminación excesiva o molesta dentro del inmueble.

Plano de trabajo = altura del comedor - 0.75 m que es la altura estándar para un escritorio, que en este caso se utilizaría como referencia la mesa.

Plano de trabajo = **2.5** m - 0.75 m = 1.75 m.

Las características operacionales serían:

Haciendo la consideración de un horario del comedor de 7 am. a 7 pm. Y con 6 días laborales, ya que el sábado se trabajaría medio día.

Horas	Total
Diarias	12
Semanales	66
Anuales	2970

4.3 Selección de luminaria a utilizar

a) Se tiene contemplado como se mostró en el plano de trabajo una altura de 2.5 m de altura a la cual irán colocadas las luminarias, ya sean las colgantes o las empotradas en plafón.
b) Sistema de alimentación normal con Luminarias garnea con reflector de aluminio, suspendido con cables de acero, con lámpara de 42 W fluorescente compacta, para operarse a 127 V. C.A., 1 F, 2 H.

Luminaria Fluorescente de 2 X 32 Watts tipo empotrar en plafón liso, con balastro electrónico para operar a 127 V. C.A. 1 F, 2 H. dimensiones 30 X 122 cm. Watts. Sellado especial para área limpia.

Luminaria Fluorescente de 2 X 17 W. Tipo empotrar en plafón liso. con balastro electrónico para operar a 127 V. C.A. 1 F, 2 H, dimensiones 30 X 60 cm. Sellado especial para área limpia.

Luminaria Fluorescente de 2 X 26 W. Tipo empotrar, con balastro electrónico integrado para operar a 127 V. C.A. 1 F, 2 H, Bafle color blanco y cristal.
Luminaria empotrada para lámpara MR-16 de 50 Watts. circular de color blanco para operar a 12 V. Con transformador para 127 V. C.A. 1 F, 2 H.

Lámpara Dicroica Halógena GE MR16 50W/12V EXN. Tapa de vidrio. Alta intensidad de luz. Inclinación de la luz: 40°. Vida útil: 2000 hrs. Luz blanca cálida, con reflector que puede variar la dirección y apertura del haz de 7º hasta 60º empotradas en plafón liso.

c) Características de depreciación de la luminaria

Uno de los factores más importantes que deben tenerse en cuenta durante la elección de luminarias y el diseño de la iluminación es la depreciación de las luminarias por polvo (DLP).

La depreciación de las luminarias por polvo se refiere a la disminución de luminosidad que una luminaria presenta debido a la contaminación del ambiente en el que se encuentra instalada. Los valores para calcular la disminución en la producción de luz de una luminaria por este concepto los proporcionan los propios fabricantes. No obstante, la mayoría de éstos utilizan criterios muy optimistas. Parten del supuesto de que existirán programas regulares de mantenimiento, lo cual no siempre ocurre, ya que en muchas plantas industriales se presta poca atención a la limpieza de las luminarias, ó a la reposición periódica de las mismas.
La DLP es uno de los principales factores de pérdida de la luz, otro de estos componentes es la depreciación de los lúmenes de lámpara (DLL), debido al uso de las mismas lámparas.

TABLA 1 Nivel de contaminación de cinco ambientes distintos.

Característica	Muy limpio	Limpio	Medianamente limpio	Sucio	Muy sucio
Polvo que se genera	Ninguna	Muy poca	Observable, pero no abundante	Se acumula rápidamente	Se acumula constantemente
Polvo en el ambiente	Ninguna (o ninguna entra al área)	Alguna (casi no entra nada)	Parte entra al área	Una gran cantidad entra al área	Invade toda el área
Limpieza o filtración del polvo	Excelente	Mejor que el promedio	Menor que el promedio	Sólo utilizando ventiladores	Ninguna
Adhesión	Ninguna	Ligera	Suficiente para ser visible después de algunos meses	Elevada: probablemente debido a aceites, humedad o electricidad estática	Alta
Ejemplos	Oficinas ejecutivas alejadas de la zona de producción; laboratorios; oficinas limpias.	Oficinas en edificios viejos o cerca de las áreas de producción; locales de ensamble ligero; áreas de inspección.	Oficinas de talleres; locales de procesamiento de papel; áreas de maquinado ligero.	Areas de tratamiento térmico; áreas de impresión a alta velocidad, procesamiento de caucho.	Areas similares a las sucias, pero las luminarias están expuestas directamente a la contaminación.

Fuente: Illuminating Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook".* Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. Figura 9.11. pp 397. New York. 1995.

TABLA 2.2 CATEGORÍA DE MANTENIMIENTO DE LAS LUMINARIAS.

CATEGORIA DE MANTENIMIENTO	SECCIÓN SUPERIOR	SECCIÓN INFERIOR
I	1. Nada.	1. Nada.
II	1. Nada. 2. Transparente con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas. 3. Translúcida con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas. 4. Opaca con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas.	2. Nada. 3. Rejillas o reflectores.
III	1. Transparente con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas. 2. Translúcida con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas. 3. Opaca con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas.	1. Nada. 2. Rejillas o reflectores.
IV	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcido sin aberturas. 3. Opaco sin aberturas.	1. Nada. 2. Rejillas.
V	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcido sin aberturas. 3. Opaco sin aberturas.	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcido sin aberturas.
VI	1. Nada. 2. Transparente sin aberturas. 3. Translúcido sin aberturas. 4. Opaco sin aberturas.	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcido sin aberturas. 3. Opaco sin aberturas.

Fuente: Illuminating Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook".* Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. pp 396. New York. 1995.

Tabla 2.3 Constantes para el cálculo de la Depreciación de Luminarias por Polvo (DLP) Para seis Categorías de Mantenimiento y cinco grados de suciedad del ambiente.

Categoría de Mantenimiento de la luminaria	B	A				
		Muy limpio	Limpio	Medianamente limpio	Sucio	Muy sucio
I	0.69	0.038	0.071	0.111	0.162	0.301
II	0.62	0.033	0.068	0.102	0.147	0.188
III	0.70	0.079	0.106	0.143	0.184	0.236
IV	0.72	0.070	0.131	0.216	0.314	0.452
V	0.53	0.078	0.128	0.190	0.249	0.321
VI	0.88	0.076	0.145	0.218	0.284	0.396

Fuente: Illuminatig Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook".* Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. Figura 9.13. pp 398. New York. 1995. (Traducción).

De acuerdo a estos datos podemos proponer tener como factores de depreciación por polvo de:

Nivel de Contaminación	Categoría de Mantenimiento	Constante para el cálculo de DLP
Limpio	II	0.068

Para el cálculo del DLL se tomará como criterio de diseño 0.4

Entonces tenemos que para **lámparas fluorescentes** el flujo luminoso en Lumen es:

2950 lumen X 0.4 = 1180 Lumen como factor DLL.

Y una vida útil de 20 000 horas.

Lámparas fluorescentes compactas.

1825 Lumen X 0.4 = 730 Lumen.

Y con una vida útil superior a las 8000 horas.

Para lámparas halógenas.

690 lumen X 0.4 = 276 Lumen como factor DLL.

Y una vida útil de 3000 horas.

Como se ha mostrado las luminarias van a estar colocadas de dos tipos diferentes:

- Colgantes
- Empotradas.

Y utilizamos los cálculos para la cavidad del Local.

Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA).
Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m^2.

DPEA = 22 W/m^2 en alumbrado interior para restaurantes según la NOM-007-SEDE-2004, en el inciso 6.- Especificaciones, Tabla 1.

$$KW_{\text{carga conectada}} = (\text{Área x DPEA}) = 480\ m^2 \times \frac{22W}{m^2} = 10560\ W$$

$$W_{L_{\text{ínea}}} = 32$$

$$W_{\text{luminaria}} = 64$$

Esta cifra de Watts se adecuará de acuerdo a la zona y al nivel de iluminación de cada parte del comedor, según se requiera y como se utilicen los distintos tipos de lámparas y luminarias. Por lo tanto tenemos un número aproximado de luminarias para el comedor.

$$\text{N. de iluminarías} = \frac{10560}{64} = 165 \text{ luminarias}$$

$m^2_{Lum} = \frac{480}{165} = 2.9$

Volumen total del comedor = (1.75) (480)= 840 m^3

Volumen total/luminarias = $\frac{840}{165}$ = 5

Como criterio de espaciamiento entre los centros de luminarias utilizamos

S = 1.5 como información fotométrica x el espacio de trabajo de 1.75 m

S = 1.5 x 1.75 = 2.66 m. que sería la máxima distancia de separación entre luminarias y dividiendo esta distancia entre dos obtenemos también la distancia mínima, por lo tanto:

Distancia mínima = $\frac{2.66}{2}$ = 1.33 m.

Ubicación de las luminarias. Nuestro comedor además de la iluminación convencional y requerida normalmente llevará una iluminación de emergencia de acuerdo a lo expuesto en el artículo 700 de la NOM-001-SEDE-2005, que en este caso se considerará la mitad del total de la iluminación.

Comedor.

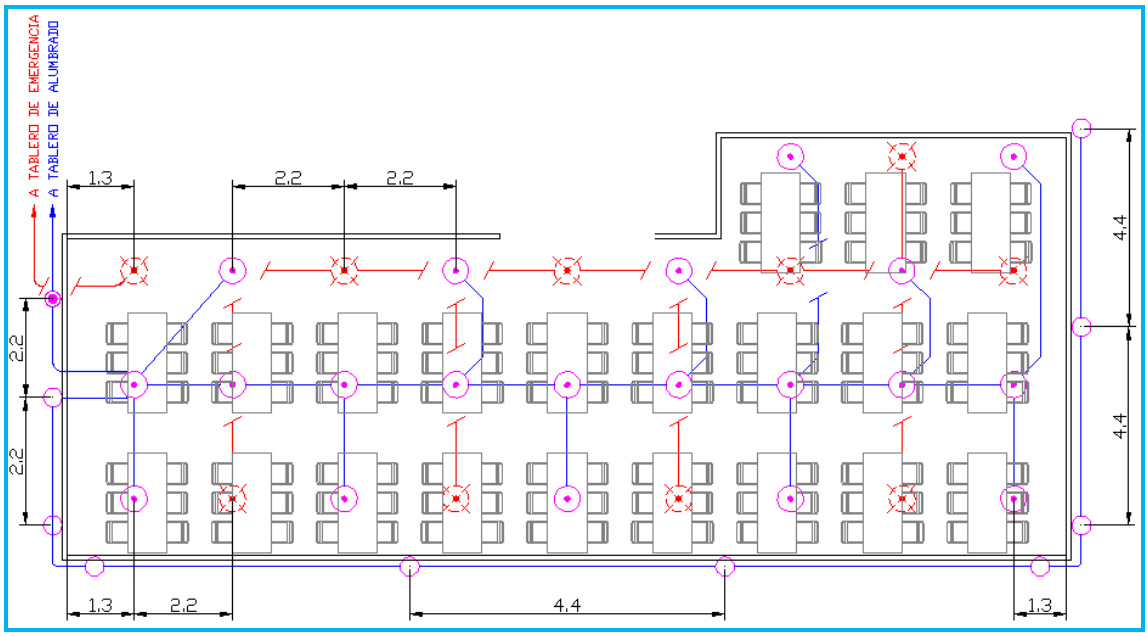
4.4 Distribución de Luminarias

De acuerdo a los datos obtenidos nuestra distribución de las luminarias será de la siguiente manera con sus acotaciones correspondientes en metros, en este caso tenemos la distribución de las luminarias para la parte del comedor donde se encuentran las mesas para los empleados, posteriormente se mostrará la distribución para el comedor ejecutivo y la cocina.

El rendimiento óptimo para la iluminación se logrará utilizando luminarias que distribuyan adecuadamente la luz proporcionadas en este caso por lámparas fluorescentes compactas las cuales proporcionan una excelente luz, ahorran energía y lucen magnificas y con una vida útil de más de 8000 horas[1]. Y sabiendo que el coeficiente de utilización o luz que realmente utilizamos debe tener las mejores condiciones dentro del diseño.

Nuestra Área total de nuestro comedor, sin considerar baños, comedor ejecutivo y cocina sería de = 145.6 m^2 y la distribución de luminarias será como se muestra en la figura siguiente.

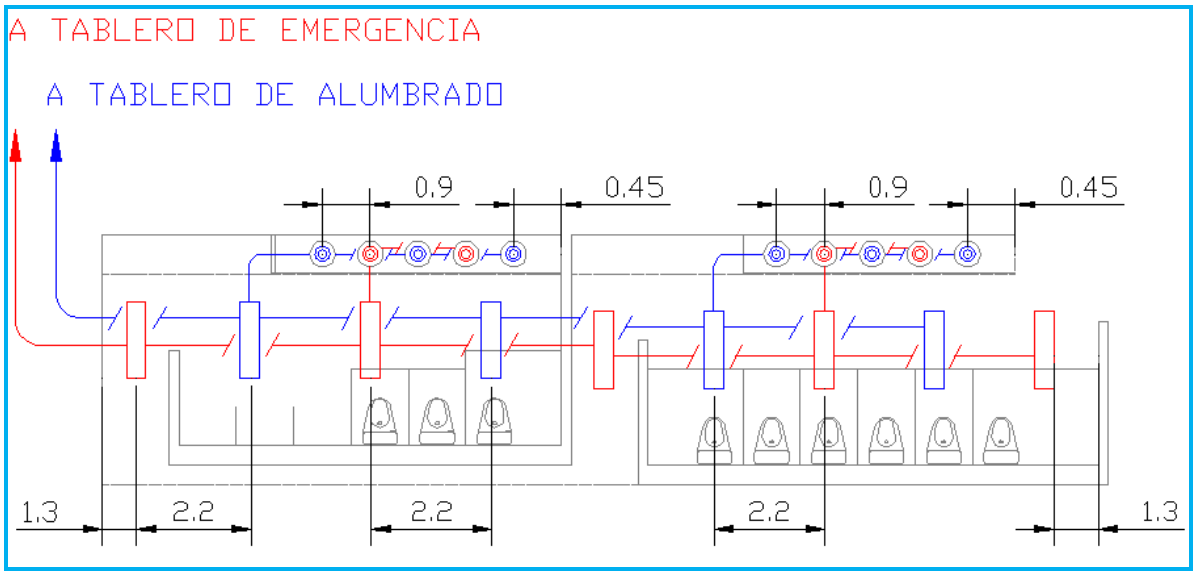
[1] Catálogo General OSRAM 2007.



En la figura puede verse la distribución de las luminarias para tener una óptima relación de lumen / Watt, para la parte de las mesas, para cumplir con nuestros requerimientos de diseño, se colocarán a lo largo a 2.2 m. de distancia entre ellas y a lo ancho a 2.8 m. de distancia con lo cual superamos la distancia mínima de 1.3 m. que dieron nuestros cálculos, esta distancia de 1.3 m. se tendrá entre las luminarias en las esquinas y el borde del comedor.

Baños. Para la parte de los baños tenemos un área de: 60 m^2. Debido a que esta área es rectangular y que nuestro lado más pequeño mide 4 m. la distribución de luminarias quedaría de la siguiente manera. Teniendo en cuenta que por petición de nuestro cliente en esta zona tendremos luminarias de un tamaño aproximado de 30 X 122 cm fluorescentes, y de acuerdo a nuestro análisis en esta parte lo más conveniente sería colocar 10 luminarias como se muestra en la figura siguiente y que dentro de esta distribución la mitad del total de lámparas para el baño se utilizarán como lámparas de emergencia como en el comedor, en un circuito independiente del circuito que proporcionará energía a las lámparas del baño generales.

Como se puede ver en la figura se respeta la distancia mínima que debe haber entre las luminarias que según nuestros cálculos es de 1.30 m. para este caso la distancia a considerar entre las luminarias es de 1.5 m, y serán colocadas al centro de la superficie del baño, ya que este mide 4 m. de ancho, el centro de las luminarias estará a los 2 m.

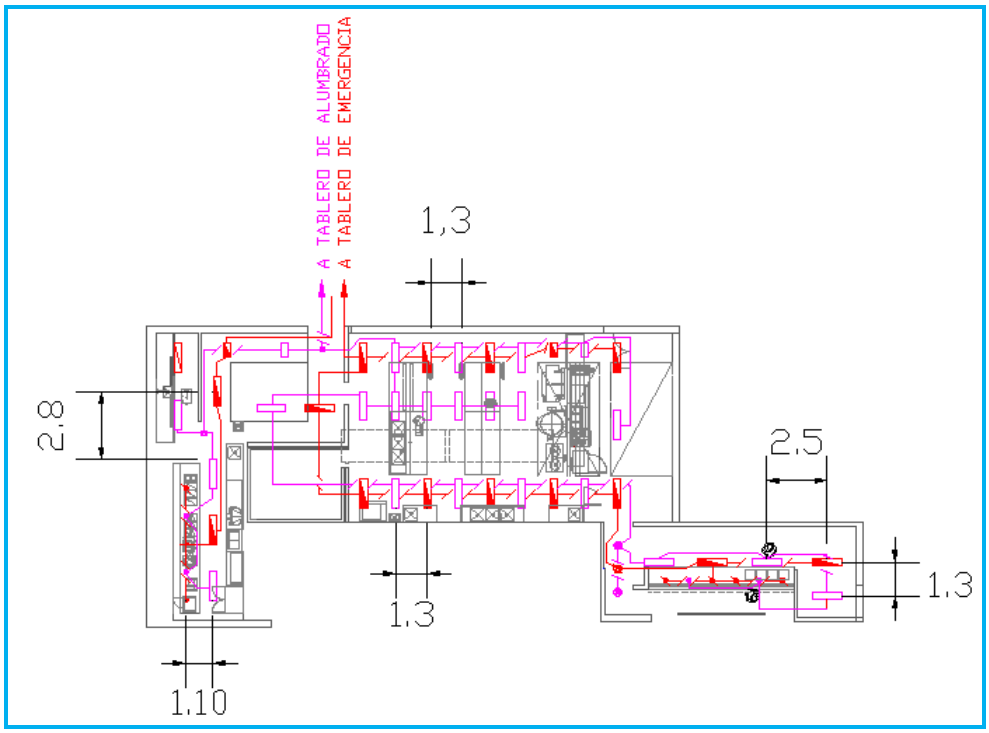


Cocina. Para la iluminación de la cocina del comedor se hace la siguiente distribución de luminarias siguiendo en la mayoría de los casos los datos obtenidos para la separación entre luminarias, se hace la mención que en la mayoría de los casos ya que en algunas partes de la cocina debido al área que se maneja (por ser un área más pequeña) la distancia entre luminarias llegó a hacer menor que la estipulada en los datos obtenidos y haciendo esto para no perder calidad en la iluminación del lugar.

Las lámparas halógenas que con su luz brillante y una luminosidad más alta, este tipo de lámparas proporciona una luminosidad hasta 100 % más alta que las lámparas incandescentes convencionales y crean efectos fascinantes en los objetos iluminados, además del interesante juego de colores que se genera dentro de las luminarias, adicionalmente la duración de las lámparas de halógeno es hasta cuatro veces más que una lámpara incandescente[2].

En la siguiente figura se muestra la iluminación de la cocina.

[2] Catálogo General OSRAM 2007.



Comedor Ejecutivo. Se hace una distribución de luminarias más reducida en cuanto a la separación de una luminaria con otra, además de las luminarias tipo empotradas en plafón para lámparas fluorescentes lineales, se instalan luminarias PAR 16 para lámparas MR-16 (reflector multifaz) de 50w que son lámparas halógenas, así como dimmers con los cuales se tendrá un control sobre la iluminación para poder variar el flujo luminoso proporcionado por las lámparas halógenas y las fluorescentes, así poder crear diferentes ambientes dentro del comedor ejecutivo, así mismo dentro de esta área tenemos una parte para el sanitario que llevará de estos dos tipos de luminarias y lámparas, para que nos proporcionen un nivel de iluminación correcto. En esta parte del comedor toda la iluminación esta conectada al tablero de emergencia.

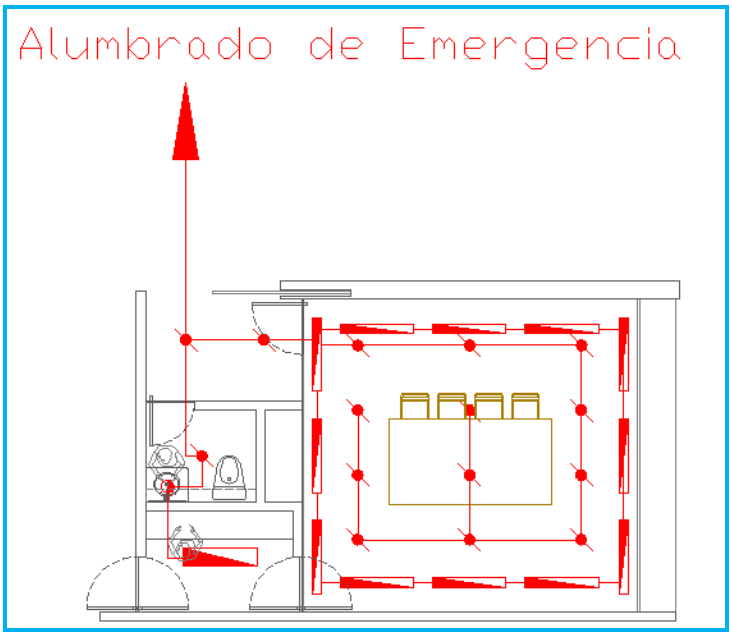
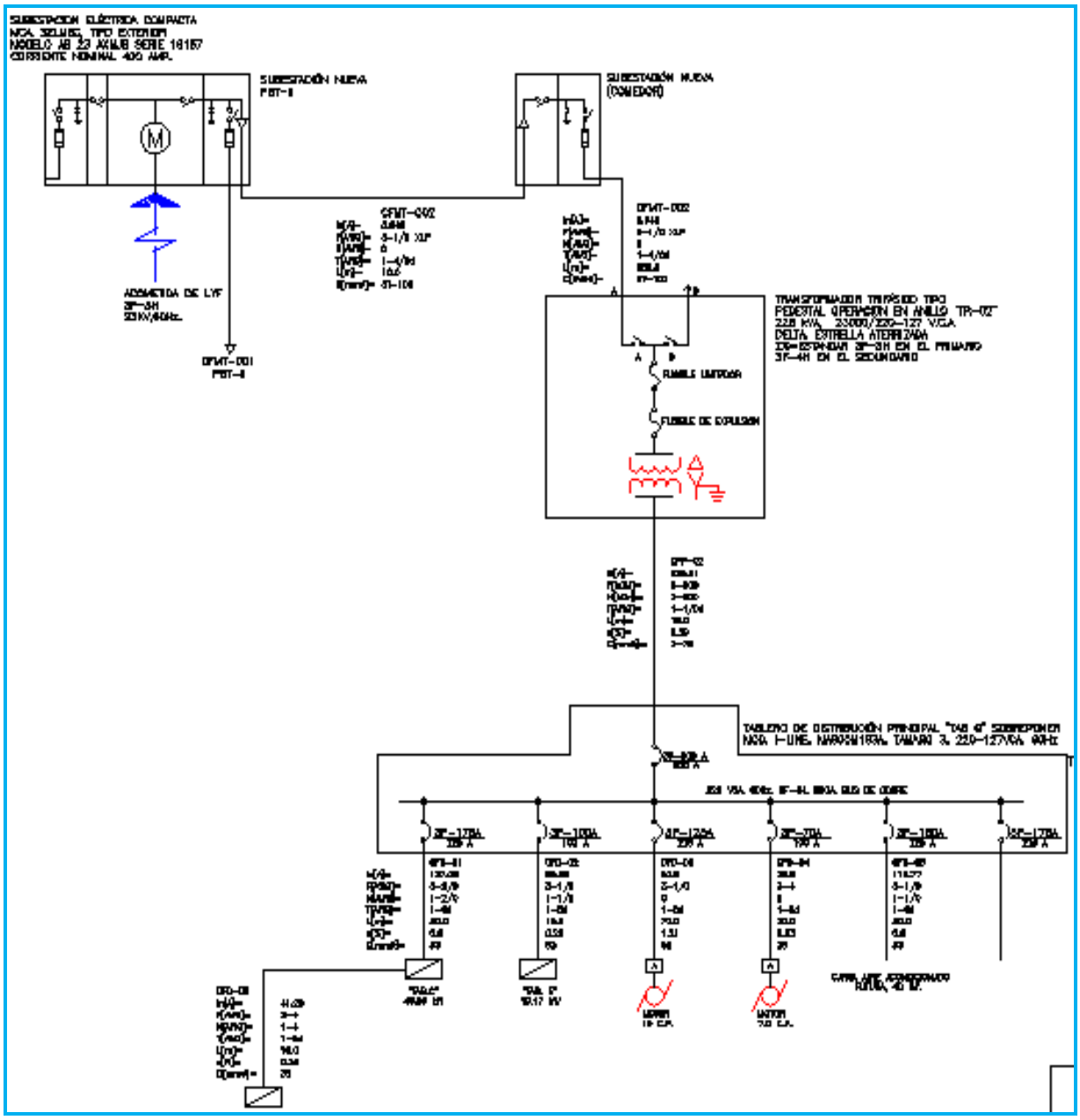


Diagrama Unifilar Esquemático cuando se tiene como a la compañía suministradora.



Ing. Roberto O. Salas

LUMINOTECNIA

*METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES

*TEORIA

*EJERCICIOS

Instalaciones2

METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNNE

ILUMINACION ARTIFICIAL DE INTERIORES
METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES

El método denominado de las **Cavidades Zonales** es recomendado por el Iluminating Engineering Society – I.E.S. – USA desde 1.964.

En el Laboratorio de Luminotecnia del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán se procedió a realizar un análisis minucioso de diversos métodos que se utilizan en distintos países y definitivamente recomendado el **Método de las Cavidades Zonales**, por las ventajas que presenta y mientras se dispongan de tablas de coeficientes de utilización para cada luminaria.

Este método es muy sencillo porque los coeficientes de utilización se dan en tablas y dan una flexibilidad que permite resolver problemas que en otros métodos no tienen solución.

También es el recomendado por la Asociación Argentina de Luminotecnia – A.A.D.L.

Este **método** considera:

a - Altura del plano de trabajo y de suspensión de la luminaria, variable.

b – Distintas reflectancias de paredes sobre y bajo el plano de trabajo y por encima del plano de las luminarias.

c – Obstrucciones en el espacio sobre el plano de luminarias, por ejemplo vigas.

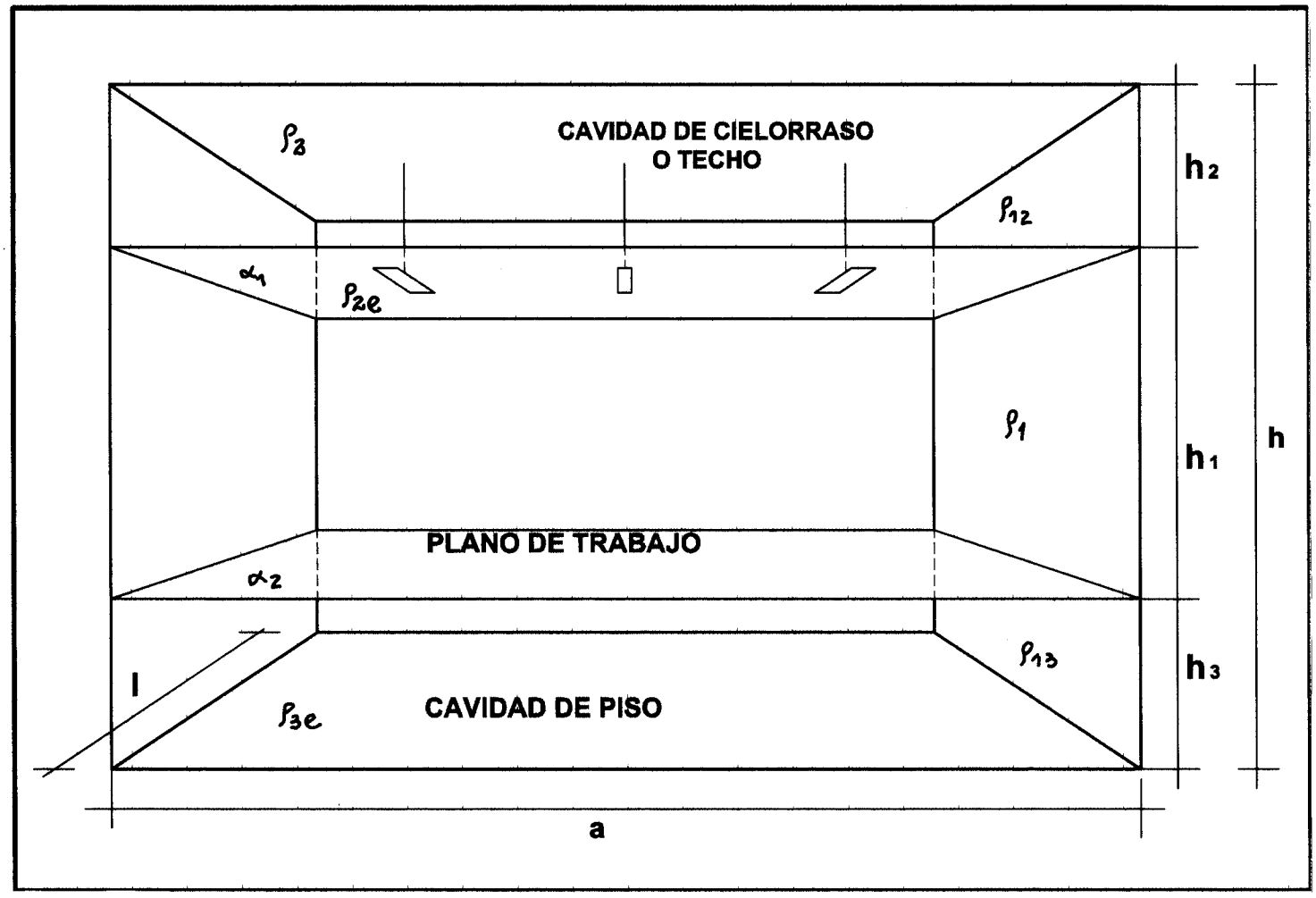
d – Planta del local formada por mas de un rectángulo.

Para resolver los problemas se divide al local en tres cavidades (Fig. 1) que se denominan:

a) CAVIDAD DEL LOCAL: es el espacio comprendido entre el plano que contiene a las luminarias llamado α_1 y el plano de trabajo designado con α_2 y las paredes que los contiene y cuya altura es h_1.

b) CAVIDAD DEL CIELORRASO: es el espacio comprendido entre el techo o cielorraso y el plano imaginario que contiene a las luminarias y las paredes entre ambos y cuya altura es h_2.

c) CAVIDAD DE PISO: es el espacio contenido entre el piso y el plano de trabajo (α_2) y las paredes que las limitan.


CAVIDAD DE CIELORRASO
O TECHO
ρ_3
ρ_{12}
α_1
ρ_{2e}
ρ_1
PLANO DE TRABAJO
α_2
ρ_{13}
l
ρ_{3e}
CAVIDAD DE PISO
h_2
h_1
h_3
h
a

ω

DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES DE CAVIDADES

Cada una de las **cavidades** que caracterizada por un índice calculable según las siguientes expresiones:

* **INDICE DE CAVIDAD LOCAL:**

$$k_1 = \frac{5\, h_1\, (a + l)}{a \times l}$$

* **INDICE DE CAVIDAD DEL CIELORRASO:**

$$k_2 = \frac{5\, h_2\, (a + l)}{a \times l}$$

* **INDICE DE CAVIDAD DE PISO:**

$$k_3 = \frac{5 h_3\, (a + l)}{a \times l} = k_1 \frac{h_3}{h_1}$$

REFLACTANCIAS

Se consideran las tres cavidades para reemplazar la distribución del flujo luminoso emitido por las luminarias y sus interreflexiones por arriba de las mismas y por debajo del plano de trabajo, por las reflexiones en los planos aparentes de luminarias α_1 plano de trabajo α_2 que se les asignan **Reflectancias Efectivas** que tienen en cuenta las reflectancias reales de las paredes que limitan las cavidades de piso y cielorraso; cuyas dimensiones se caracterizan por los índices k_3 y k_2 respectivamente.

En la Fig. 1 se consideran:

- **ρ_1:** Reflectancia real de las paredes laterales de la cavidad del cielorraso.
- **ρ_{1-2}:** Reflectancia real de las paredes laterales de la cavidad del cielorraso.
- **ρ_2:** Reflectancia real del cielorraso o techo.
- **ρ_3:** Reflectancia real del piso.
- **ρ_{1-3}:** Reflectancia real de las paredes de la cavidad del piso.
- **ρ_{1E}:** Reflectancia efectiva del plano que contiene las luminarias.
- **ρ_{3E}:** Reflectancia efectiva del plano de trabajo.

Si se utilizan las instalaciones de luminarias embutidas o aplicadas al cielorraso o techo será $h_2 = 0$ y k_2 la **reflectancia efectiva** del plano de luminarias será igual a la reflectancia real:

$$\rho_{1E} = \rho_2$$

de igual manera sí $h_3 = 0$

$$k_3 = 0 \text{ será } \rho_{3E} = \rho_3$$

DETERMINACIÓN DE LA ILUMINACIÓN MEDIA INICIAL SOBRE EL PLANO DE TRABAJO

El **flujo luminoso** útil que incide sobre el plano de trabajo representa una fracción del flujo emitido por **N ØL** donde **N** es el número de luminarias y **ØL** es el flujo luminoso del total de las lámparas en cada luminaria. Si se establece la relación de **ØL** y **μ ØL** tendremos el cociente de utilización de la instalación de alumbrado que se designa con:

$$\mu = \frac{Ø\,\mu}{N\,Ø_{lamp}}$$

Donde: - **Ø μ:** es el flujo útil sobre el plano de trabajo.
- **N:** es el número de luminarias.
- **ØlamP:** es el flujo total de las lámparas en cada luminaria.

El **coeficiente de utilización** se obtiene en tablas propias para cada luminaria en base a la reflectancia efectiva del cielorraso, paredes, piso y el índice del local.

El **flujo total** de la lámpara en cada luminaria, una parte de la misma es absorbida por la superficie interna y por las cubiertas de las mismas. Son perdidas por absorción en los materiales reflejantes y transmisores. Podemos definir entonces el rendimiento de luminarias como:

$$\varepsilon = \frac{Ø_{art}}{Ø_{lamp}} \qquad \boxed{1}$$

Donde: - **ε:** es el rendimiento de la luminaria.
- **Ø art:** flujo luminoso que emite la luminaria.
- **ØlamP:** flujo luminoso que emite la lámpara desnuda.

Además el flujo luminoso emitido por las luminarias, parte llega al plano de trabajo en forma directa según el ángulo **ω**, pero además sufre una serie de interreflexiones antes de llegar al plano de trabajo (Fig. 3), en todo este proceso parte de este flujo es absorbido por las distintas superficies que conforman el local. En consecuencia asignamos al mismo un rendimiento luminoso del local que dependerá de las dimensiones y de la reflectancia de dichas superficies.

$$\eta = \frac{Ø\,\mu}{N\,Ø\,art} \qquad \boxed{2}$$

Si se multiplica ε y η tendremos:

$$\varepsilon \times \eta = \frac{Ø\,art}{Ø\,Lamp} \times \frac{Ø\,\mu}{N\,Ø\,art} = \frac{Ø\,\mu}{N\,Ø\,Lamp} = \mu \qquad \boxed{3}$$

O sea, el **factor de utilización – μ -** es el producto del rendimiento de las luminarias ε y el luminoso del local η de $\boxed{3}$ podemos decir:

$$Ø\,\mu = \mu \times N\,Ø_{Lamp}$$

Se divide por la superficie del plano de trabajo tendremos:

$$\frac{Ø\,\mu}{a \times l} = \frac{\mu \times N\,Ø_{Lamp}}{a \times l}$$

$\frac{Ø\,\mu}{a \times l} = E_i$ que representa la iluminación media inicial.

$$\boxed{E_i = \frac{\mu \times N \times Ø_{Lamp}}{a \times l}}$$

Como **E** se suministra en tablas de acuerdo a la actividad o función del local, tendremos:

$$\boxed{N = \frac{E_i \times a \times l}{\mu \times Ø_{lamp}}}$$

Para el **flujo de lámpara** se considera la información suministrada por el fabricante que se obtiene en tablas y representa el flujo emitido por las lámparas a las cien (100) horas de encendidas, entonces E_i es la **iluminación media inicial**, entonces:

$$E_i = \frac{\mu \times N \times Ø_{Lamp}}{a \times l}$$

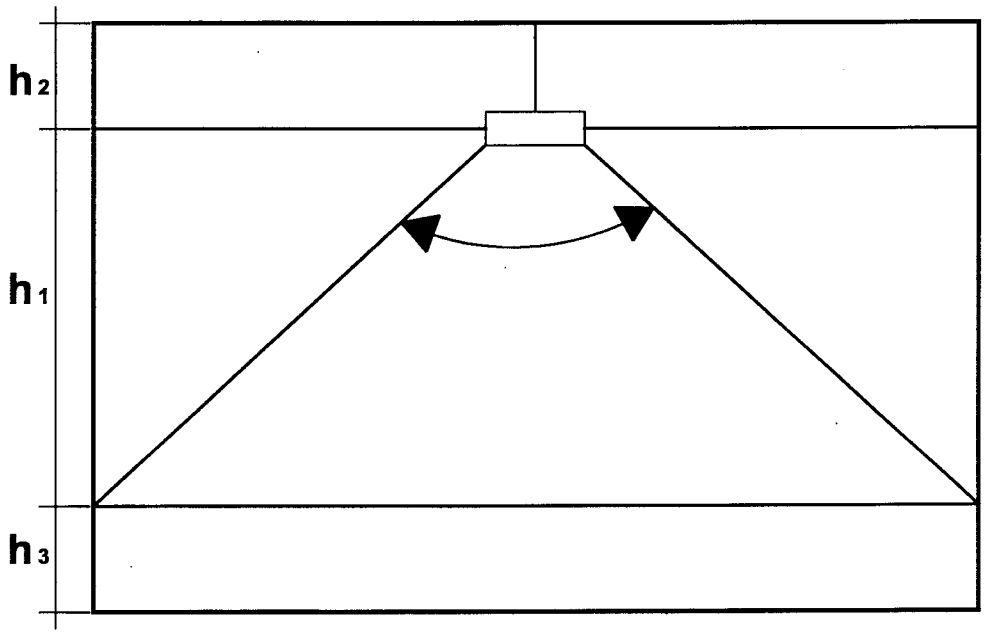


Fig. 2

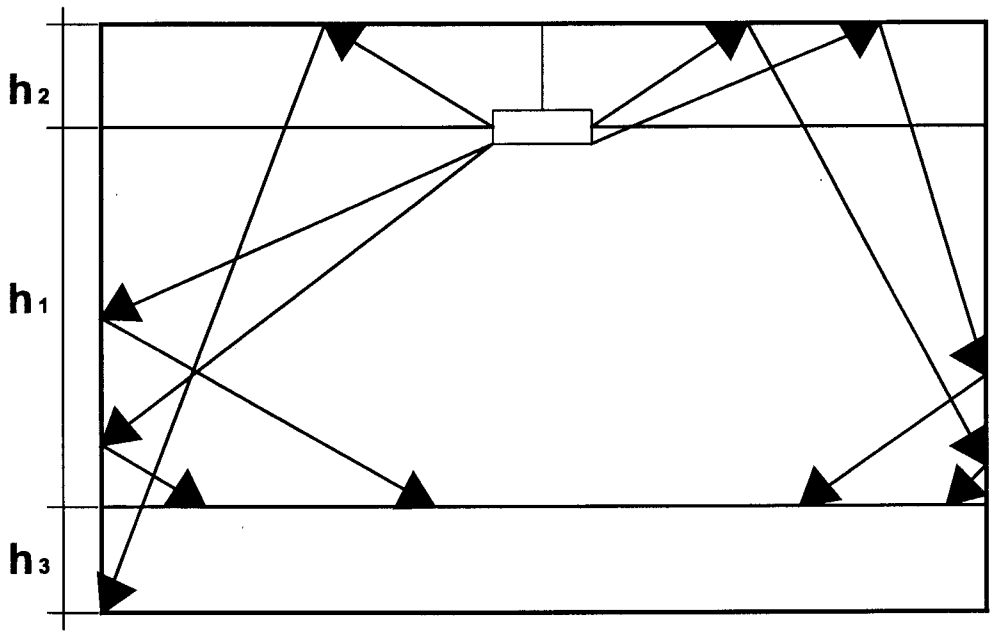


Fig. 3

El **flujo luminoso** emitido por las **lámparas** durante su vida útil se reduce y la suciedad acumulada en las mismas y en las paredes origina reducción del flujo útil, como el aumento de temperatura de las paredes de la lámpara y la disminución de la tensión de línea, entonces se introduce en la expresión un factor llamado de **depreciación** - δ, obteniéndose la **iluminación media mantenida**:

$$E = \frac{\mu \times \delta \times N \, \emptyset_{Lamp}}{a \times l}$$

Siendo:

$$\delta = \delta s \times \delta \emptyset \times \delta v \times \delta t$$

Donde: - δ**s**: factor de depreciación por la suciedad de lámparas y artefactos.

- δ**Ø**: factor de depreciación por disminución del flujo luminoso de las lampara a lo largo de su vida útil.

- δ**v**: factor de depreciación debido a la diferencia de tensión la línea de alumbrado.

- δ**t**: factor de depreciación debido al aumento de temperatura de la pared del tubo.

Las **reflectancias efectivas de las cavidades** se centran en gráficos.

Las gráficas 1 y 2 para **reflectancias efectivas de las cavidades de cielorraso** en las cuales entrando con el índice de cavidad en la abscisa y la curva que corresponde a la relación de la reflectancia de pared y reflectancia de cielorraso se obtiene como ordenada la reflectancia efectiva **ρ2E.**

Para la reflectancia efectiva **ρ3E** del piso se entrara a la Gráfica N° 3 y se procederá de igual forma que para la obtención de **ρ2E.**

GRÁFICO 1

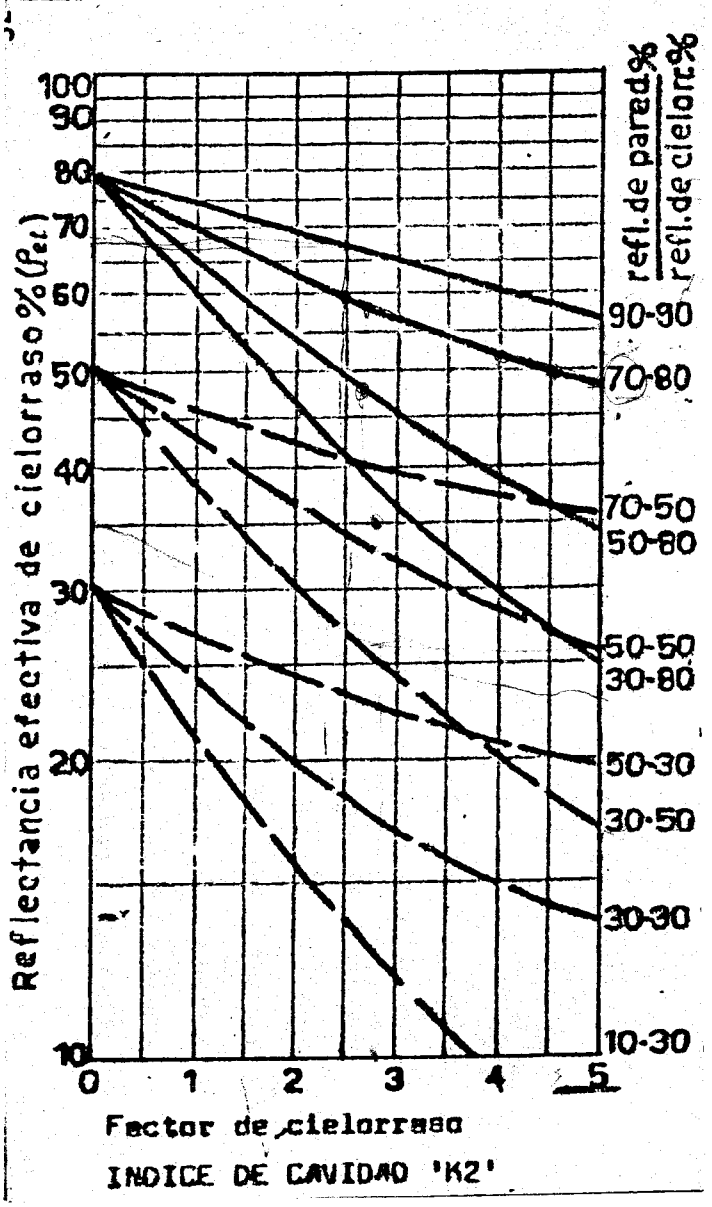

Reflectancia efectiva de cielorraso % (ρ_{ec})
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
refl. de pared %
refl. de cielorr. %
90-90
70-80
70-50
50-80
50-50
30-80
50-30
30-50
30-30
10-30
Factor de cielorraso
INDICE DE CAVIDAD 'K2'

GRÁFICO 2

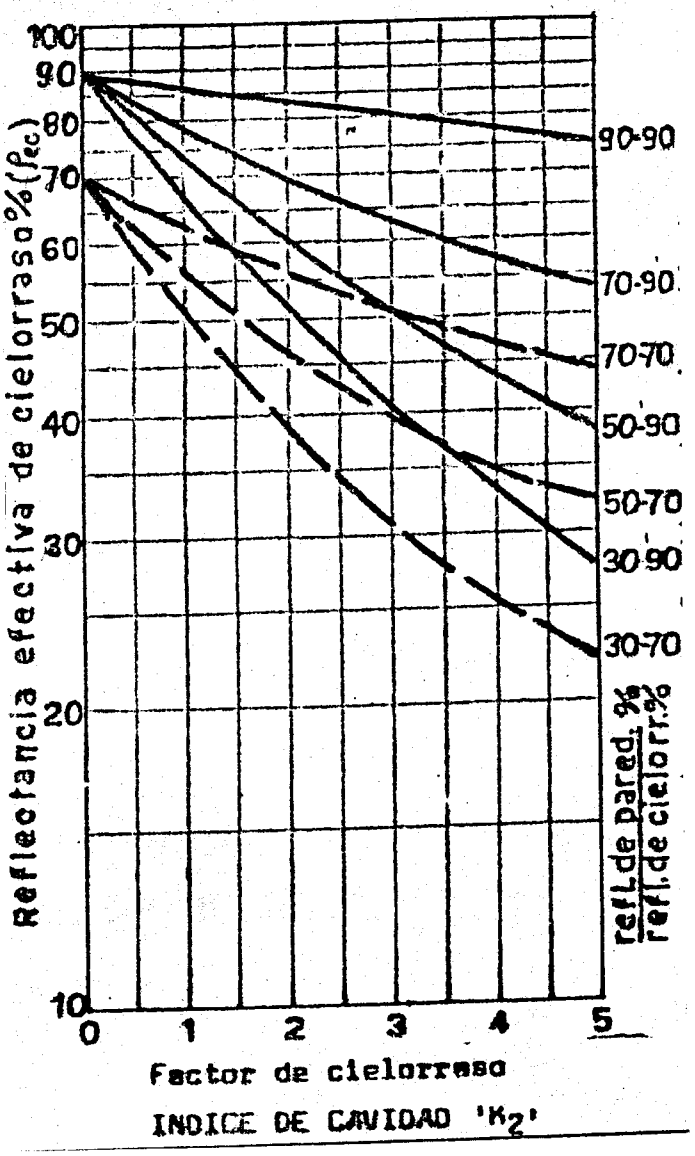
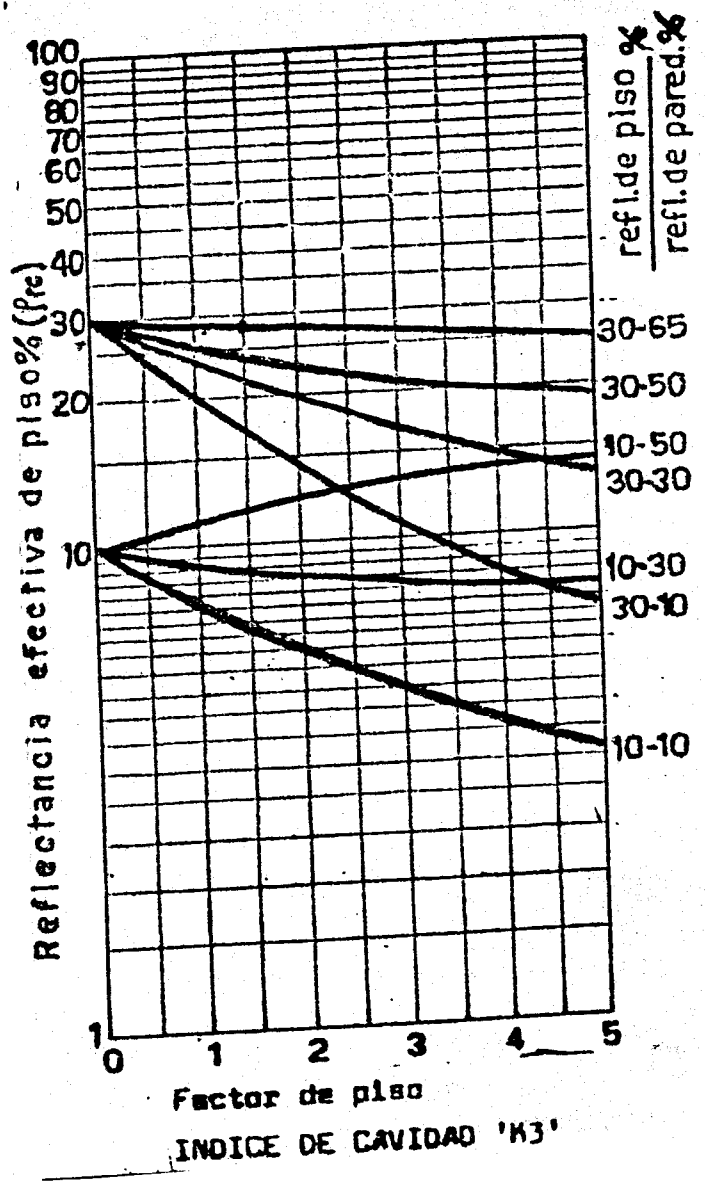

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Reflectancia efectiva de cielorraso% (ρ_{ec})
0
1
2
3
4
5
Factor de cielorraso
INDICE DE CAVIDAD 'K2'
90-90
70-90
70-70
50-90
50-70
30-90
30-70
refl. de pared, %
refl. de cielorr. %

GRÁFICO 3


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
1
Reflectancia efectiva de piso% (ρrc)
refl.de piso %
refl.de pared.%
30-65
30-50
10-50
30-30
10-30
30-10
10-10
0
1
2
3
4
5
Factor de piso
INDICE DE CAVIDAD 'K3'

La elección de las **reflectancias de paredes** se hará tomando el valor que tendrá cuando es necesario limpiarlas o repintarlas. Las reflectancias además tendrán en cuenta la constitución de las paredes del local, tal como recubrimientos, estanterías, vidriados, pizarrones y otros elementos sobre la pared o sea que el valor que se toma para obtener el **coeficiente de utilización** de la instalación de alumbrado será un promedio ponderado de las distintas reflectancias de los componentes sobre la pared.

El Laboratorio de Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán proporciona para cada luminaria tablas de coeficientes de utilización y están calculados para las relaciones de espaciamiento entre las luminarias y altura de cavidad del local de 0,4; 0,7 y 1 según recomendaciones de la Iluminating Enginereering Society – I.E.S. – USA.

La I.E.S. aconseja para la iluminación con tubos fluorescentes la relación espaciamiento/altura de montaje igual a 0,4. para las luminarias con lámparas incandescentes o a vapor de mercurio la relación espaciamiento/altura de montaje igual a 0,7.

Las tablas de coeficientes de utilización se calculan considerando una reflectancia efectiva de piso **ρ3E = 20 %.**

Cuando la reflectancia efectiva de la cavidad de piso no es igual al 20 % se utilizan gráficas para corregir el coeficiente de utilización (Tabla N°1: dividiendo o multiplicando a este según sea del 10% ó del 30%). Los coeficientes de depreciación se obtienen de la Tabla N° 7.

Tabla II — FACTORES PARA REFLECTANCIAS EFECTIVAS DE CAVIDAD DE PISO QUE NO SEAN 20 %

Para reflectancia efectiva de cavidad de piso igual a 30 %, multiplicar por el factor apropiado dado en la tabla.

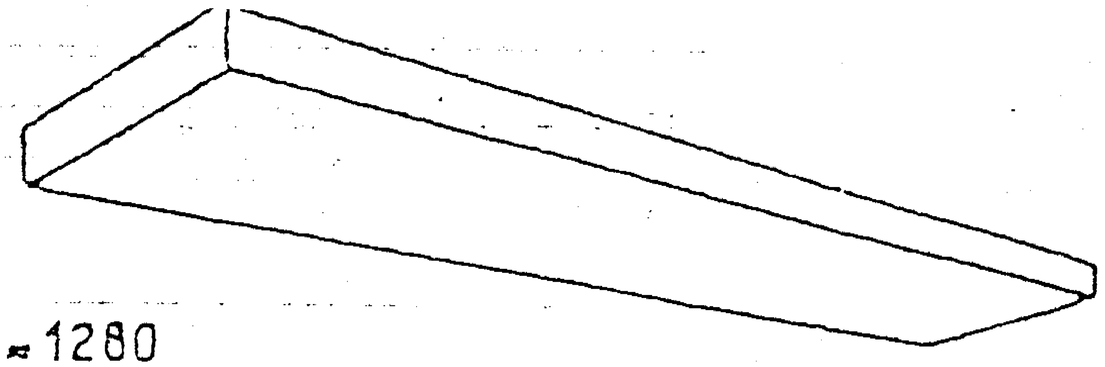
Para reflectancia efectiva de cavidad de piso igual a 10 %, dividir por el factor apropiado dado en la tabla.

Reflectancia efectiva de cavidad de cielorraso en %, ρ_{cc}	80			70			50			10		
Reflectancia de pared en %, ρ_w	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Indice de local												
1	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01
2	1.07	1.06	1.05	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01
3	1.05	1.04	1.03	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01
4	1.05	1.03	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
5	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
6	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
7	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
8	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
9	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
10	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00

Tabla 7

FACTOR DE UTILIZACION Y FACTOR DE DEPRECIACION										
SISTEMA DE ALUMBRADO	INDICE DEL LOCAL	Ku FACTOR DE UTILIZACION %						FACTOR DE DEPRECIACION Kd % Para un ambiente		
		Color del Cielorraso								
		Muy Claro 75%		Claro 50%		Oscuro 30%				
		Color de las paredes								
		Claro 50%	Oscuro 10%	Claro 50%	Oscuro 10%	Claro 30%	Oscuro 10%	Limpio	Poco Limpio	Sucio
DIRECTO	J	32	25	32	25	27	25	80	75	65
	I	40	34	33	33	35	33			
	H	43	37	42	37	39	37			
	G	46	41	45	41	43	41			
	F	48	43	46	43	45	43			
	E	52	48	47	47	49	47			
	D	56	52	48	50	43	51			
	C	57	53	53	52	54	52			
	B	60	56	59	55	57	55			
	A	61	57	60	57	58	56			
SEMI-DIRECTO	J	29	22	27	21	22	20	80	75	65
	I	35	29	33	27	28	26			
	H	39	33	36	31	31	29			
	G	43	36	39	34	34	32			
	F	46	38	42	36	37	34			
	E	50	43	46	40	40	37			
	D	54	46	49	43	43	41			
	C	56	48	51	45	45	42			
	B	60	52	54	48	47	45			
	A	62	55	56	50	49	47			
DIFUSO	J	24	17	22	16	16	14	80	75	65
	I	30	23	27	20	21	19			
	H	34	26	30	24	24	22			
	G	37	30	33	27	27	25			
	F	41	32	36	29	29	27			
	E	45	37	40	33	32	30			
	D	49	40	43	36	35	33			
	C	52	43	45	38	37	35			
	B	55	47	48	42	40	38			
	A	57	50	50	44	41	40			
SEMI-INDIRECTO	J	17	12	13	09	07	06	75	65	50
	I	22	16	16	12	09	08			
	H	25	19	18	14	11	09			
	G	29	21	21	16	12	11			
	F	31	24	23	18	13	12			
	E	35	28	26	20	15	14			
	D	39	31	28	23	17	16			
	C	41	34	30	25	18	17			
	B	45	39	32	28	20	19			
	A	47	41	34	30	22	20			
INDIRECTO	J	13	09	08	06	04	03	70	60	50
	I	16	12	11	08	05	05			
	H	19	14	12	09	06	05			
	G	22	16	15	11	07	06			
	F	24	18	16	12	08	07			
	E	27	21	18	14	09	08			
	D	30	24	20	16	10	10			
	C	32	26	21	18	11	10			
	B	35	30	23	20	12	12			
	A	36	32	25	21	14	12			

Para la obtención del **coeficiente de utilización** se utilizan tablas similares a la N° . Se dijo en esta publicación que cada tipo de luminaria tiene su tabla propia en las cuales se entra con la reflectancia efectiva de cavidad de cielorraso ρ_{2E}, la reflectancia de pared ρ, el índice de cavidad del local k_1 e interpolando el valor obtenido si es necesario. También interviene la relación distanciamiento de luminarias y la altura de suspensión. Si la reflectancia de piso no es del 20% se corrige con la Tabla N° 1.



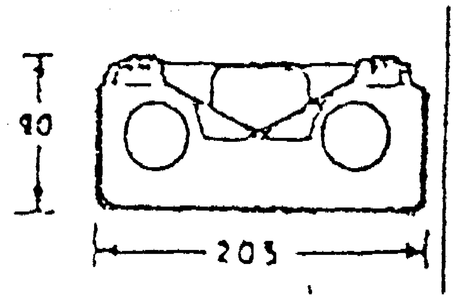
1 = 1280

INFORMACION FOTOMETRICA

METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES

2 x 40 w

ARTEFACTO TIPO "A"



COEFICIENTES DE UTILIZACION

Reflectancia de cavidad en cielorraso en %	80				70				50			30			10		
Reflectancia de Pared en %	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Indice del local																	
1	.62	.59	.56	.53	.59	.56	.54	.51	.51	.49	.47	.46	.44	.43	.41	.40	.39
2	.56	.51	.46	.43	.53	.48	.44	.41	.44	.41	.38	.40	.37	.35	.36	.34	.29
3	.51	.44	.39	.35	.48	.42	.38	.34	.38	.35	.31	.35	.32	.29	.31	.29	.27
4	.46	.39	.34	.29	.44	.37	.32	.28	.34	.30	.27	.31	.27	.25	.28	.25	.23
5	.42	.34	.29	.25	.40	.33	.28	.24	.30	.25	.22	.27	.23	.21	.24	.22	.19
6	.39	.30	.25	.21	.37	.29	.24	.20	.27	.22	.19	.24	.20	.18	.22	.19	.16
7	.36	.27	.22	.18	.34	.26	.21	.18	.24	.19	.16	.22	.18	.15	.20	.17	.14
8	.33	.24	.19	.16	.31	.23	.19	.15	.21	.17	.14	.20	.16	.13	.18	.15	.12
9	.30	.22	.17	.13	.29	.21	.16	.12	.19	.15	.12	.18	.14	.11	.16	.13	.10
10	.28	.20	.15	.12	.27	.19	.11	.10	.17	.13	.11	.16	.12	.10	.15	.11	.09

ESPACIAMIENTO/ALTURA DE MONTAJE = .4

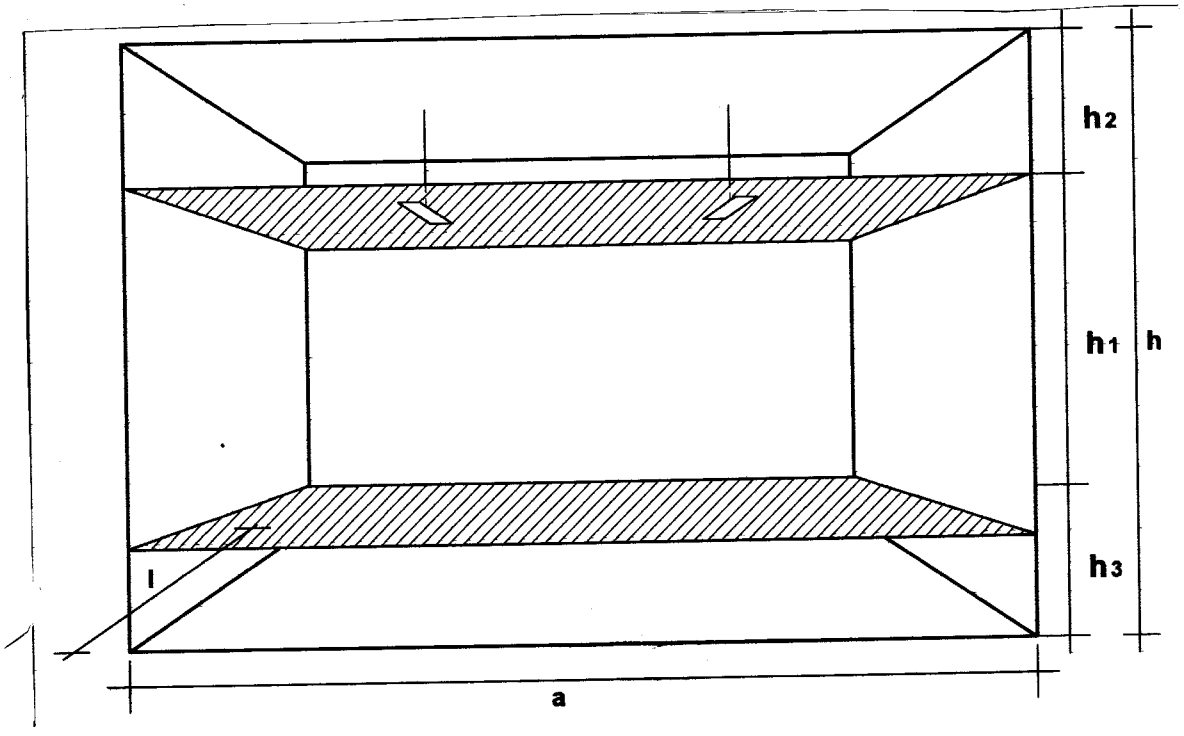
REFLECTANCIA DE CAVIDAD DE PISO = 20%

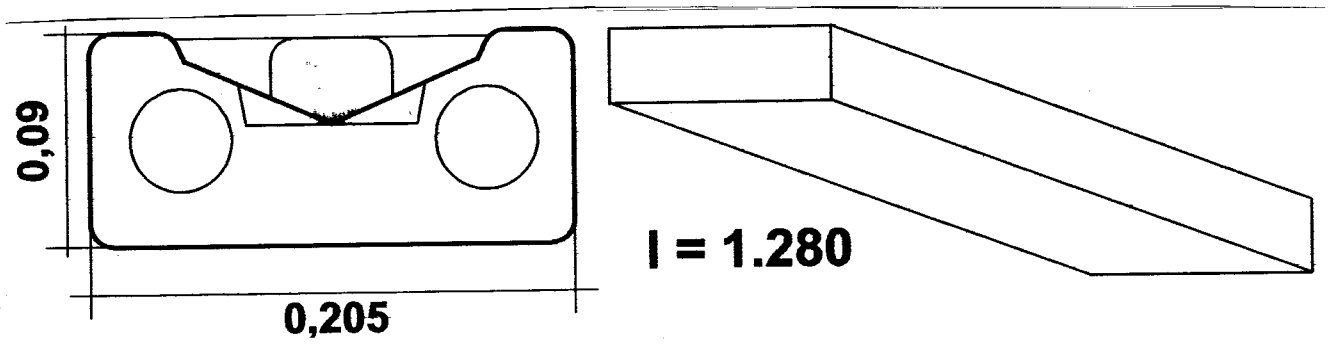
EJEMPLO N° 1

Calcular el número de luminarias necesario para una oficina de computación de datos, cuya iluminación **E = 750 lux** según Normas IRAM y AADL. Utilizando luminarias del tipo **E de 2 x 40W** de tubos fluorescentes cuyo flujo luminoso es **2940 lúmenes** cada tubo. Siendo:

l = 10,00 m	**h_1 = 3,00 m**	**ρ_1 = 50%**
a = 8,00 m	**h_2 = 0,50 m**	**ρ_2 = 80%**
h = 4,30 m	**h_3 = 0,80 m**	**ρ_{3E} = 20%**

Luminaria **E 2 x 40 W** Ø Flujo luminoso = **2 x 2940 W.**





A - DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE CAVIDADES

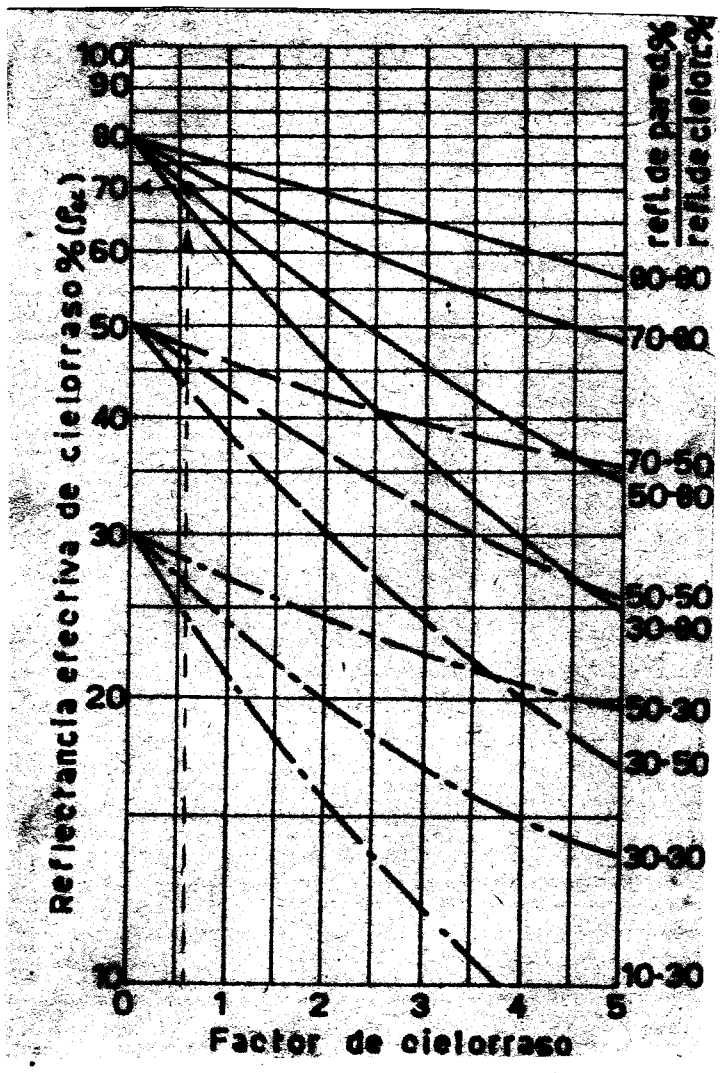
$$k_1 = \frac{5\,h_1\,(a + l)}{a \times l} = \frac{5 \times 3\,(8 + 10)}{8 \times 10} = \boxed{3{,}40}$$

$$k_2 = \frac{5\,h_2\,(a + l)}{a \times l} = \frac{5 \times 0{,}5\,(8 + 10)}{8 \times 10} = \boxed{0{,}56}$$

k_3 no es necesario calcular ya que se considera $\rho_{3E} = 20\ \%$

B – REFLECTANCIA EFECTIVA DE CAVIDAD DE CIELORRASO

Se entra en la gráfica N° 1

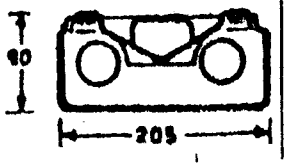


C – DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION

Se utiliza la tabla para luminaria **E de 2 x 40w** para **ρ_{2E} = 70%**, **ρ_1 = 50 %**, **ρ_{3E} = 20 %** y **k_1 = 3,40**.

2 x 40 w

ARTEFACTO TIPO "A"



Reflectancia de cavidad en cielorraso en %	80				70				
Relectancia de Pared en %	70	50	30	10	70	50	30	10	50
Índice del local									
1	.62	.59	.56	.53	.59	.56	.54	.51	.5
2	.56	.51	.46	.43	.53	[illegible]	.44	.41	.4
3	.51	.44	.39	.35	.48	.42	.38	.34	.3
4	.46	.39	.34	.29	.44	.37	.32	.28	.3

ESPACIAMIENTO/ALTURA DE MONTAJE = .4

REFLECTANCIA DE CAVIDAD DE PISO = 20%

Para **k_1 = 3 ⇒ μ = 0,42**

Para **k_1 = 4 ⇒ μ = 0,37**

$$1\left\{\begin{matrix} 0{,}4 \left\{\begin{matrix} 3 \text{ ——— } 0{,}42 \\ 3{,}4 \\ 4 \text{ ——— } 0{,}37 \end{matrix}\right. \end{matrix}\right\} 0{,}05$$

80 ——— 0,05

0,4 ——— $\frac{0{,}05 \times 0{,}4}{1}$ = 0,02

0,42 – 0,02 = 0,40

Para **k_1 = 3,4 ⇒ μ = 0,40**

D – OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE DEPRECIACION

De la Tabla N° 7 se obtiene para el local limpio:

FACTOR DE UTILIZACION Y FACTOR DE DEPRECIACION

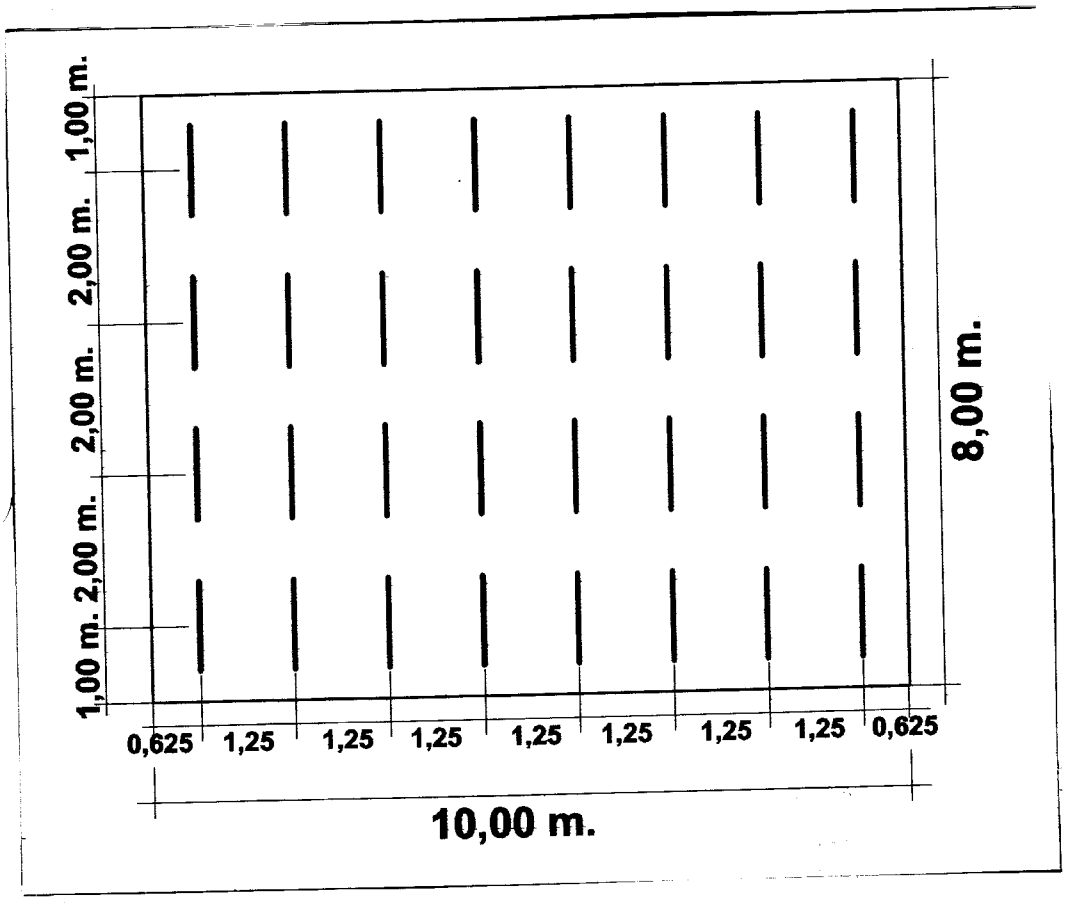
SISTEMA DE ALUMBRADO	INDICE DEL LOCAL	Ku FACTOR DE UTILIZACION % – Color del Cielorraso: Muy Claro 75% – Color de las paredes: Claro 50%	Muy Claro 75% – Color de las paredes: Oscuro 10%	Claro 50% – Color de las paredes: Claro 50%	Claro 50% – Color de las paredes: Oscuro 10%	Oscuro 30% – Color de las paredes: Claro 30%	Oscuro 30% – Color de las paredes: Oscuro 10%	FACTOR DE DEPRECIACION Kd % Para un ambiente: Limpio	Poco Limpio	Sucio
DIRECTO	J	32	25	32	25	27	25			
	I	40	34	39	33	35	33			
	H	43	37	42	37	39	37			
	G	46	41	45	41	43	41			
	F	48	43	46	43	45	43	80	75	65
	E	52	48	47	47	49	47			
	D	56	52	48	50	43	51			
	C	57	53	53	52	54	52			
	B	60	56	59	55	57	55			
	A	61	57	60	57	58	56			
SEMI-DIRECTO	J	29	22	27	21	22	20			
	I	35	29	33	27	28	26			
	H	39	33	36	31	31	29			
	G	43	36	39	34	34	32			
	F	46	38	42	36	37	34	80	75	65
	E	50	43	46	40	40	37			
	D	54	46	49	43	43	41			
	C	56	48	51	45	45	42			
	B	60	52	54	48	47	45			
	A	62	55	56	50	49	47			
DIFUSO	J	24	17	22	16	16	14			
	I	30	23	27	20	21	19			
	H	34	26	30	24	24	22			
	G	37	30	33	27	27	25			
	F	41	32	36	29	29	27	80	75	65
	E	45	37	40	33	32	30			
	D	49	40	43	36	35	33			
	C	52	43	45	38	37	35			
	B	55	47	48	42	40	38			
	A	57	50	50	44	41	40			
SEMI-INDIRECTO	J	17	12	13	09	07	06			
	I	22	16	16	12	09	08			
	H	25	19	18	14	11	09			
	G	29	21	21	16	12	11			
	F	31	24	23	18	13	12	75	65	50
	E	35	28	26	20	15	14			
	D	39	31	28	23	17	16			
	C	41	34	30	25	18	17			
	B	45	39	32	28	20	19			
	A	47	41	34	30	22	20			
INDIRECTO	J	13	09	08	06	04	03			
	I	16	12	11	08	05	05			
	H	19	14	12	09	06	05			
	G	22	16	15	11	07	06			
	F	24	18	16	12	08	07	70	60	50
	E	27	21	18	14	09	08			
	D	30	24	20	16	10	10			
	C	32	26	21	18	11	10			
	B	35	30	23	20	12	12			
	A	36	32	25	21	14	12			

E – CALCULO DEL NUMERO DE LUMINARIAS

$$N = \frac{E \times a \times l}{\mu \times \varnothing_{lamp} \times \delta} = \frac{750 \times 8 \times 10}{0{,}40 \times 2 \times 2940 \times 0{,}8} = \frac{60.000}{18.816} = \boxed{33{,}88 = 32}$$

F – DISTRIBUCION DE LUMINARIAS

Se adoptan 32 luminarias que se dispondrán en cuatro filas:



EJEMPLO N° 2

Ejercicio similar al N° 1 pero con la variación de $h_2 = 0$ o sea las luminarias estarán aplicadas al cielorraso y cuyos datos serán:

$h_1 = 3{,}50$ m	$\rho_1 = 50$ %
$h_2 = 0{,}00$ m	$\rho_2 = 80$ %
$h_3 = 0{,}80$ m	$\rho_{3E} = 20$ %

E = 750 Lux Ø Lum Lamp = 2 x 2940W Luminarias E 2 x 40 W.

A - DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE CAVIDADES

$$k_1 = \frac{5\, h_1\, (a + l)}{a \times l} = \frac{5 \times 3{,}50\, (10 + 8)}{10 \times 8} = \boxed{3{,}96}$$

$$k_2 = \frac{5\, h_2\, (a + l)}{a \times l} = \boxed{0}$$

k_3 no es necesario calcular ya que se considera $\rho_{3E} = 20$ %

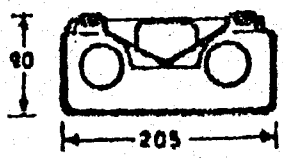
B – REFLECTANCIA EFECTIVA DE CAVIDAD DE CIELORRASO

$\rho_2 = \rho_{2E} = 80$ % porque las luminarias están aplicadas al cielorraso.

C – DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION

Con los valores de ρ_{2E}, ρ_1, k_1 se entra a la tabla correspondiente para $\rho_{3E} = 20$ % y relación espacio entre luminarias y altura.

ARTEFACTO TIPO "A"



2 x 40 w

Reflectancia de cavidad en cielorraso en %	80				70			
Relectancia de Pared en %	70	50	30	10	70	50	30	10
Indice del local								
1	.62	.59	.56	.53	.59	.56	.54	.51
2	.56	.51	.46	.43	.53	.48	.44	.41
3	.51	.44	.39	.35	.48	.42	.38	.34
4	.46	.39	.34	.29	.44	.37	.32	.28
5	.42	.34	.29	.25	.40	.33	.28	.24

Para **k_1 = 3 ⇒ μ = 0,44**

Para **k_1 = 4 ⇒ μ = 0,39**

Para **k_1 = 3,93 se interpola linealmente**

$$1\left\{\begin{matrix} 0{,}4 \left\{\begin{matrix} 3 \text{ ——— } 0{,}44 \\ 3{,}94 \\ 4 \text{ ——— } 0{,}39 \end{matrix}\right\} \end{matrix}\right. 0{,}05$$

1 ——— 0,05

0,94 ——— $\frac{0{,}05 \times 0{,}94}{1} = 0{,}047$

0,44 – 0,047 = 0,394

Para **k_1 = 3,93 ⇒ μ = 0,39**

D – OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE DEPRECIACION

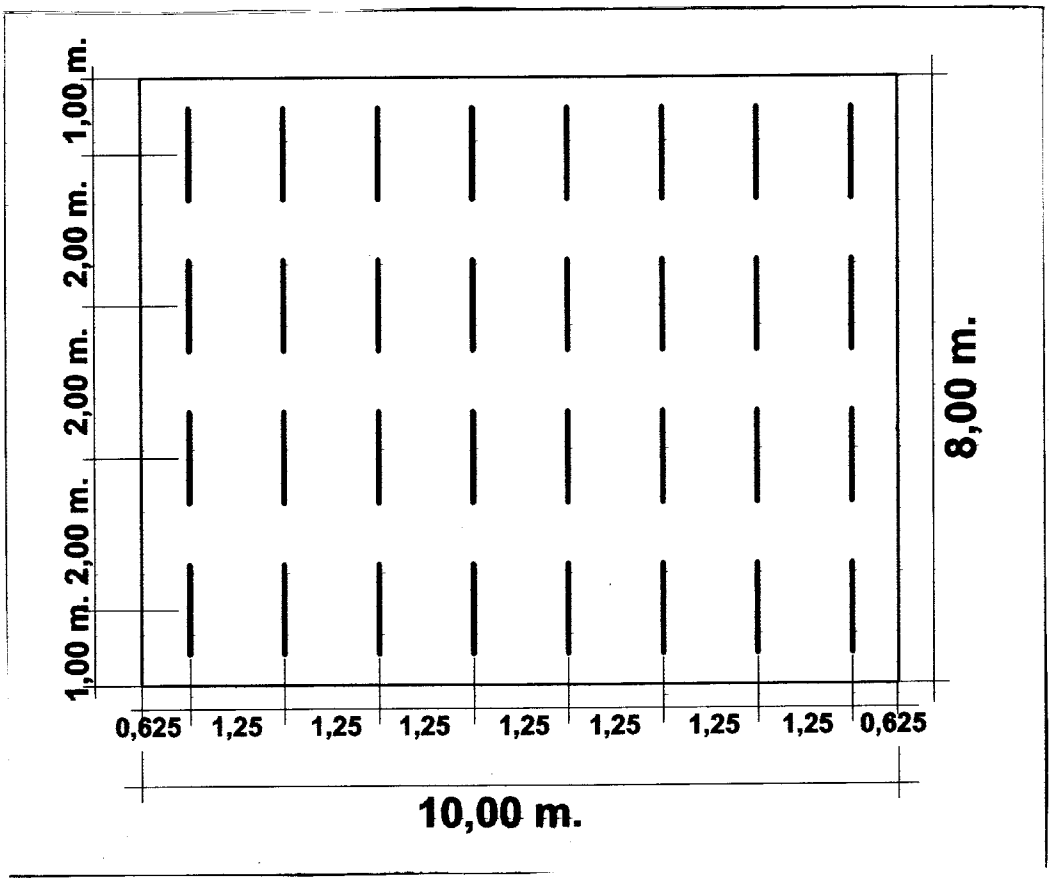
En el ejemplo anterior consideramos δ **= 80 %**

E – CALCULO DEL NUMERO DE LUMINARIAS

$$N = \frac{E \times a \times l}{\mu \times \varnothing_{lamp} \times \delta} = \frac{750 \times 8 \times 10}{0{,}39 \times 2 \times 2940 \times 0{,}8} = \boxed{32{,}70}$$

Adoptamos 32 luminarias dispuestas en cuatro filas de 8 luminarias cada una.

F – DISTRIBUCION DE LUMINARIAS



G – CALCULO DE LA ILUMINACIÓN REAL

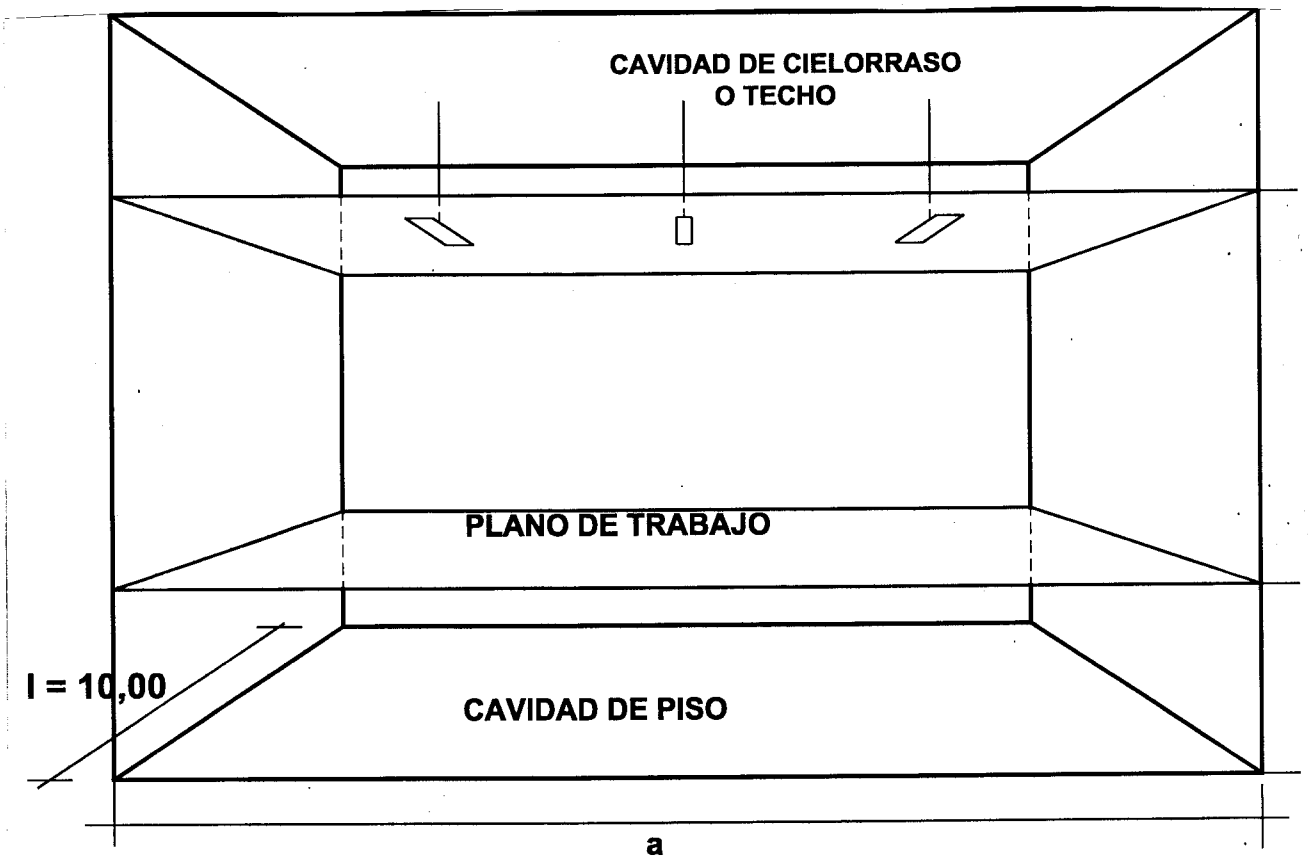
$$E_i = \frac{N \times \mu \times \delta}{a \times l} = \frac{32 \times 2 \times 2940 \times 0{,}39 \times 0{,}80}{8 \times 10} = \boxed{733{,}80 \text{ Lux}}$$

Con 32 Luminarias se obtiene una iluminación del 3,16 % menos del requerido.

EJEMPLO N° 3

Para el Ejemplo N° 1 calcular la iluminación para una reflectancia de piso del 30 %.

h_1 = 3,00 m	ρ_1 = 50 %
h_2 = 0,50 m	ρ_{2E} = 70 %
h_3 = 0,80 m	ρ_{3E} = 30 %



A - DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE CAVIDADES

$$k_1 = \frac{5\ h_1\ (a + l)}{a \times l} = \boxed{3,37}$$

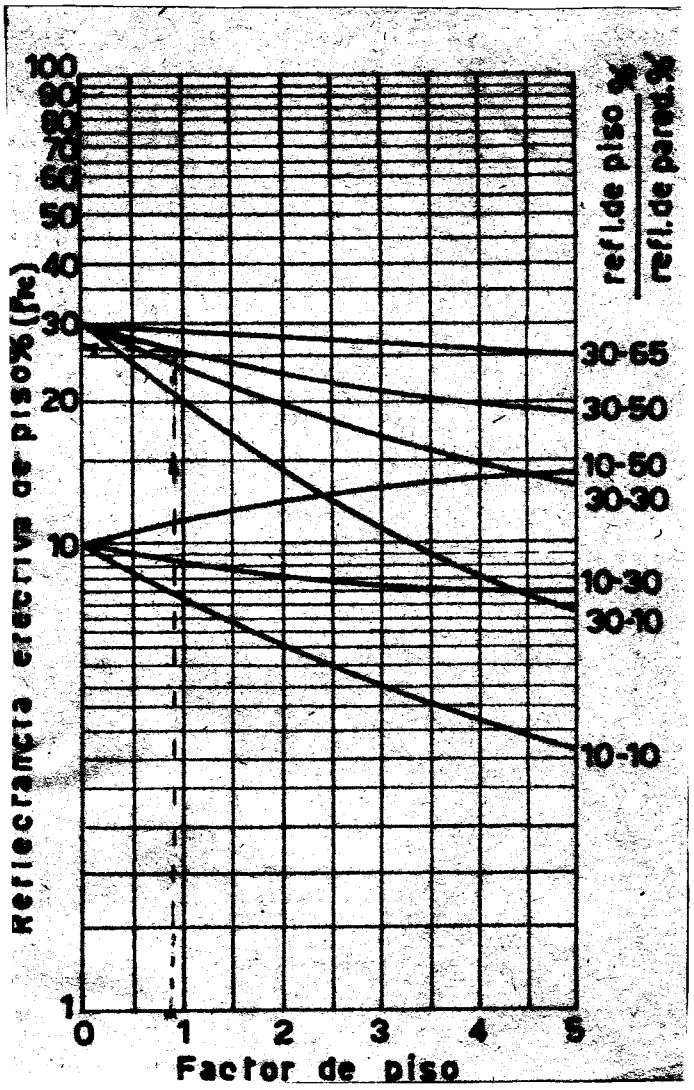
$$k_2 = \frac{5\ h_2\ (a + l)}{a \times l} = \boxed{0,56}$$

Los valores de k_1 y k_2 fueron calculados en el Ejercicio N° 1.

$$k_3 = \frac{5\ h_3\ (a + l)}{a \times l} = \frac{5 \times 0,80\ (8 + 10)}{8 \times 10} = \boxed{0,90}$$

B – OBTENCIÓN DE LA REFLECTANCIA EFECTIVA DE PISO

Con k_3, ρ_3, ρ_1 se entra en la Gráfica N° 3 y se obtiene ρ_{3E}.



C – DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCION PARA EL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

Con **ρ2E**, **ρ1** y **k1** se entra en la tabla N° **1** y se obtiene el factor que corregirá al coeficiente de utilización.

Reflectancia efectiva de cavidad de cielorraso en % ρ_{ce}	80			70			50			10		
Reflectancia de pared en % ρ_p	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Indice de local												
1	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01
2	1.07	1.06	1.05	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01
3	1.05	1.04	1.03	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01
4	1.05	1.03	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
5	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
6	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
7	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
8	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
9	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
10	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00

Para **ρ2E**, **ρ1** y **k1 = 3** ⇒ **factor de corrección = 1,05**

Para **ρ2E**, **ρ1** y **k1 = 4** ⇒ **factor de corrección = 1,04**

80 ———— 0,01

0,4 ———— $\frac{0,01 \times 0,37}{1} = 0,0037$

Factor = 1,05 – 0,0037 = 1,046

D – OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION

El coeficiente de utilización para el Ejercicio N° 1 es **μ = 0,40**.

μ = 0,40 x 1,046 = 0,418

E – DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DEPRECIACIÓN

TABLA 7

FACTOR DE UTILIZACION Y FACTOR DE DEPRECIACION										
SISTEMA DE ALUMBRADO	INDICE DEL LOCAL	Ku FACTOR DE UTILIZACION %						FACTOR DE DEPRECIACION Kd % Para un ambiente		
		Color del Cielorraso								
		Muy Claro 75%		Claro 50%		Oscuro 30%				
		Color de las paredes								
		Claro 50%	Oscuro 10%	Claro 50%	Oscuro 10%	Claro 30%	Oscuro 10%	Limpio	Poco Limpio	Sucio
DIRECTO	J	32	25	32	25	27	25	80	75	65
	I	40	34	39	33	35	33			
	H	43	37	42	37	39	37			
	G	46	41	45	41	43	41			
	F	48	43	46	43	45	43			
	E	52	48	47	47	49	47			
	D	56	52	48	50	43	51			
	C	57	53	53	52	54	52			
	B	60	56	59	55	57	55			
	A	61	57	60	57	58	56			
SEMI-DIRECTO	J	29	22	27	21	22	20	80	75	65
	I	35	29	33	27	28	26			
	H	39	33	36	31	31	29			
	G	43	36	39	34	34	32			
	F	46	38	42	36	37	34			
	E	50	43	46	40	40	37			
	D	54	46	49	43	43	41			
	C	56	48	51	45	45	42			
	B	60	52	54	48	47	45			
	A	62	55	56	50	49	47			
DIFUSO	J	24	17	22	16	16	14	80	75	65
	I	30	23	27	20	21	19			
	H	34	26	30	24	24	22			
	G	37	30	33	27	27	25			
	F	41	32	36	29	29	27			
	E	45	37	40	33	32	30			
	D	49	40	43	36	35	33			
	C	52	43	45	38	37	35			
	B	55	47	48	42	40	38			
	A	57	50	50	44	41	40			

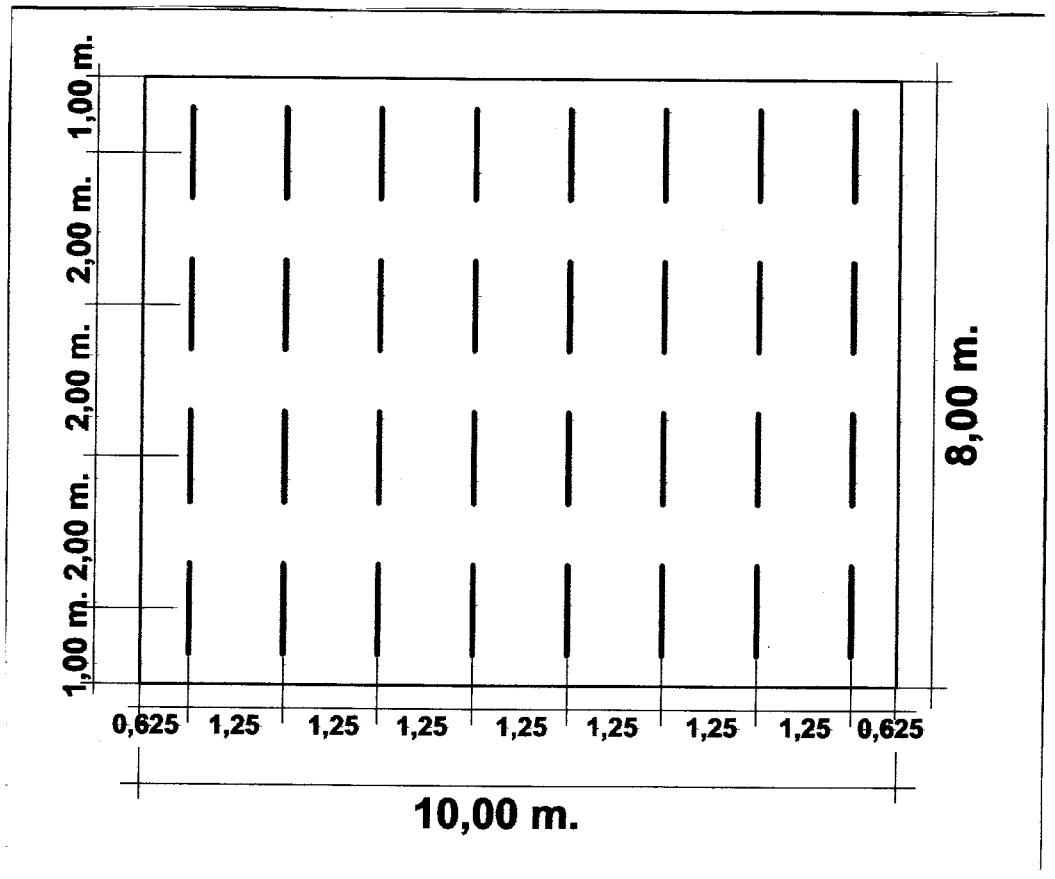
F – CALCULO DEL NUMERO DE LUMINARIAS

$$N = \frac{E \times a \times l}{\mu \times \varnothing_{lamp} \times \delta} = \frac{750 \times 8 \times 10}{0{,}418 \times 2 \times 2940 \times 0{,}8} = \frac{60.000}{1.966{,}50} = \mathbf{30{,}50}$$

Como conclusión vemos que al aumentar la reflectancia efectiva del piso con respecto al 20 % disminuye la cantidad de luminarias, pero al considerar la cantidad de filas se debe ajustar la cantidad que ocasionará un aumento o disminución de la iluminación que consideramos ya que los porcentajes son valores ínfimos, como ocurre en los Ejemplos N° 1 y N° 2.

G – DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS

Igual al Ejemplo N° 1 y 2.



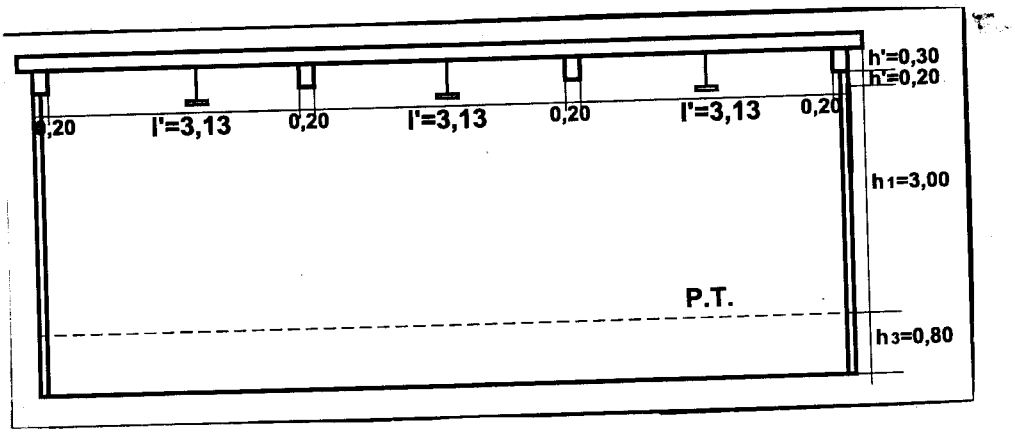
H – CALCULO DE LA ILUMINACIÓN REAL

$$E_i = \frac{N \times \mu \times \delta}{a \times l} = \frac{32 \times 2 \times 2940 \times 0{,}418 \times 0{,}80}{8 \times 10} = \boxed{786{,}50 \text{ Lux}}$$

Con 32 Luminarias se obtiene 786,50 lux o sea el 4,86 % más de lo calculado.

EJEMPLO N° 4

Similar al Ejercicio N° 1 pero con obstrucciones (vigas) según el dibujo siguiente:



l = 10,00 m	**l' = 3,13 m (dist. entre vigas)**
a = 8,00 m	**lviga = 0,20 m**
h = 4,30 m	**hviga = 0,30 m**
h' = 0,30 m (viga)	**ρ_1 = 50 %**
l'' = 0,20 m (ancho viga)	**ρ_2 = 80 %**
h_3 = 0,80 m	**ρ_V = 30 %**
h_1 = 3,00 m	**ρ_{2E} = 20 %**

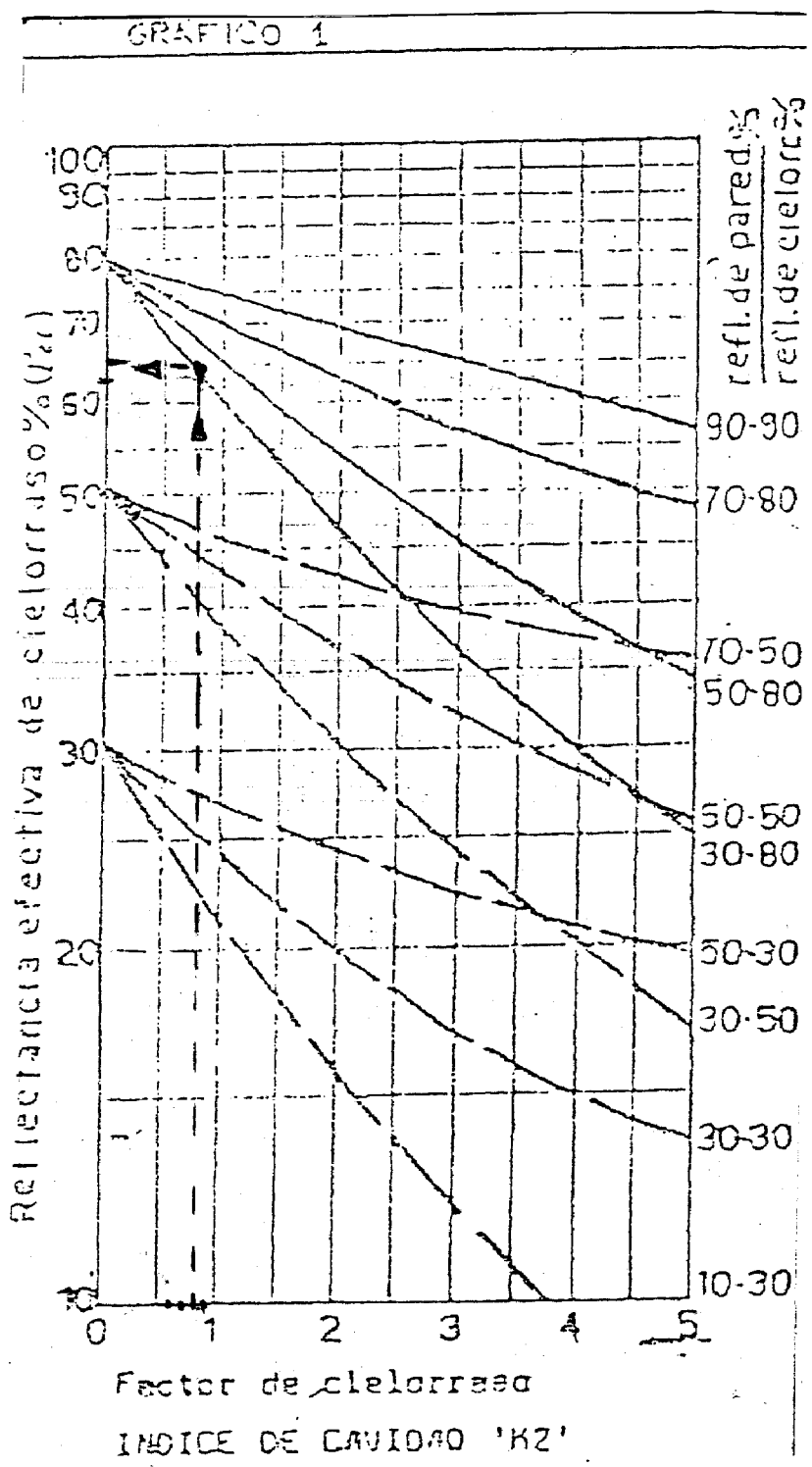
1° se determina la Reflectancia Efectiva entre viga para la cual se calcula **K'_2**.

A – OBTENCIÓN DEL INDICE DE CAVIDADE ENTRE VIGAS

$$K'_2 = \frac{5\ h'v(a + l')}{a \times l} = \frac{5 \times 0{,}30\ (8 + 3{,}13)}{8 \times 3{,}13} = 0{,}775 = \boxed{0{,}76}$$

B – OBTENCIÓN DE LA REFLECTANCIA EFECTIVA DE CAVIDAD DE CIELORRASO ENTRE VIGAS

Con los valores **$\rho 2$ = 80 %** **ρV = 30 %** y **K'_2** se obtiene con la gráfica N° 1



ρev = 65 %

Con este valor se calcula **$\rho 2$ = 80 %** **ρv = 30 %** la Reflectancia promedio del plano a nivel del borde inferior.

C – CALCULO DE LA REFLECTANCIA PROMEDIO DEL PLANO A NIVEL DEL BORDE INFERIOR DE LA VIGA

$$\rho_{PRO} = \frac{(2 \times 0{,}20 + 2 \times 0{,}10) \times 8 \times 0{,}30 + 3 \times 3{,}33 \times 8 \times 0{,}65}{8 \times 10} =$$

$$= \frac{(0{,}40 + 0{,}20) \times 2{,}4 + 9{,}99 \times 5{,}20}{80} = \frac{53{,}39}{80} = \mathbf{0{,}667} = \boxed{\mathbf{67\ \%}}$$

D – CALCULO DEL INDICE POR DEBAJO DE VIGAS Y EL PLANO DE LUMINARIAS

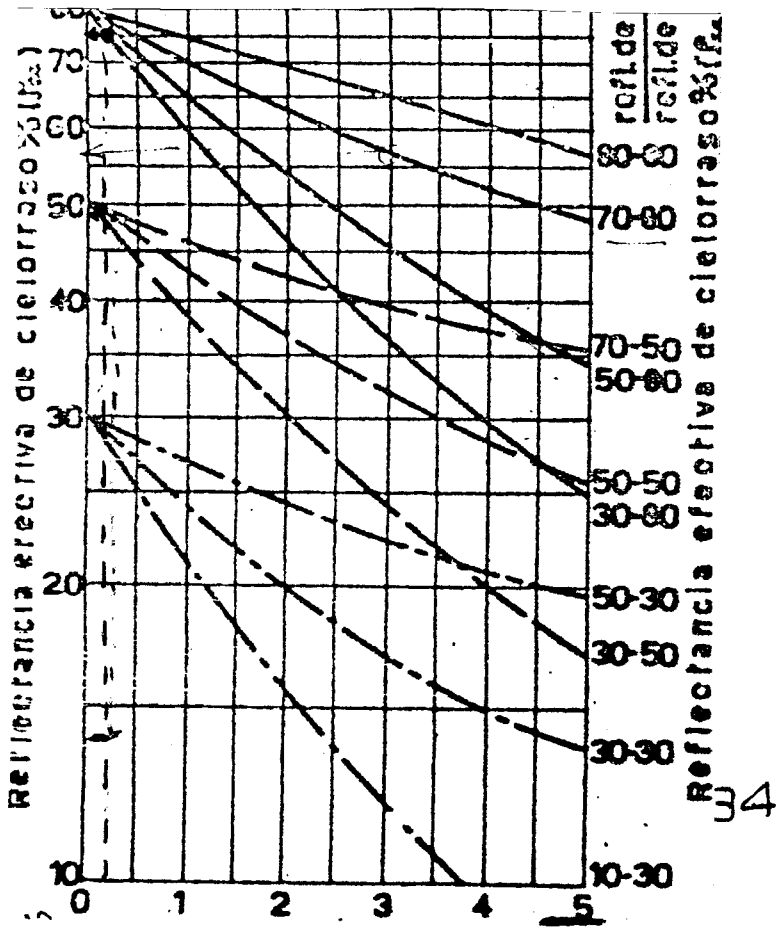
Para determinar ρ_{2E} es necesario conocer el índice por debajo de las vigas y el plano de luminarias.

$$K'' = \frac{5\ h''(a + l)}{a \times l} = \frac{5 \times 0{,}20\ (8 + 10)}{8 \times 10} = \frac{0{,}1 \times 18}{80} = \mathbf{0{,}225}$$

E – DETERMINACIÓN DE LA REFLECTANCIA EFECTIVA ENTRE EL NIVEL INFERIOR DE VIGA Y EL PLANO DE LUMINARIA

Para **k'' = 0,225** ⇒ **ρ_{PRO} = 50%** ⇒ **ρ_1 = 50%** ⇒ **ρ_{2E} = 48%**

Para **k'' = 0,225** ⇒ **ρ_{PRO} = 80%** ⇒ **ρ_1 = 50%** ⇒ **ρ_{2E} = 75%**



Para la obtención de las ρ_{1E} se entra en la Gráfica N° 1 con la relación Reflectancia de pared/Reflectancia de cielorraso en ordenadas y el índice **K"** en abscisa.

Siendo constante **K"** y ρ_1 (Reflectancia de pared). Se efectúa una interpolación lineal entre los valores ρ_{PRO} **= 80% y** ρ_{PRO} **= 50%** y los valores de ρ_{2E} para obtener el valor de ρ_{PRO} **= 63%.**

Diferencias de ρ_{PRO} **= 80% - 50% = 30%**

Diferencias de ρ_{2E} **= 75% - 48% = 27%**

Diferencias de $\rho_{PROreal}$ **-** $\rho_{PROmenor}$ **= 67% - 50% = 17%**

$$(80 - 50) \text{ ——— } (75 - 48)$$
$$(67 - 50) \text{ ——— } \frac{(75 - 48) \times (67 - 50)}{(80 - 50)} = 15{,}30$$

ρ_{2Ereal} **= 48% + 15,30% =** $\boxed{\mathbf{63{,}30\%}}$

F – CALCULO DEL INDICE DE CAVIDAD DEL LOCAL

$$K_1 = \frac{5\, h_1\, (a + l)}{a \times l} = \frac{5 \times 3\, (8 + 10)}{8 \times 10} = \boxed{3{,}37}$$

G – DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION

Siendo ρ_{2E} **= 63%**

Para ρ_{2E} **= 70%;** ρ_1 **= 50% y** k_1 **= 3** $\Rightarrow$ μ **= 0,42**

Para ρ_{2E} **= 70%;** ρ_1 **= 50% y** k_1 **= 4** $\Rightarrow$ μ **= 0,37**

Interpolamos linealmente en forma sucesiva.

1° Interpolación

Para $k_1 = 3$ y $k_1 = 4$ $\Rightarrow$ **dif.: 4 – 3 = 1**

Para $k_1 = 3$ y $k_{1real} = 3{,}37$ $\Rightarrow$ **dif.: 3,37 – 3 = 0,37**

Para $k_1 = 3$ y $k_{1real} = 3{,}37$ $\Rightarrow$ **dif. de μ = 0,42 – 0,37 = 0,05**

dif. 1 ——— 0,05

dif. 0,37 ——— $\frac{0{,}05 \times 0{,}37}{1} = 0{,}018$

$\mu_1 = 0{,}42 + 0{,}018 = \boxed{0{,}40}$

2° Interpolación

Para $\rho_{2E} = 50\%$; $\rho_1 = 50\%$ y $k_1 = 3$ $\Rightarrow$ **μ = 0,38**

Para $\rho_{2E} = 50\%$; $\rho_1 = 50\%$ y $k_1 = 4$ $\Rightarrow$ **μ = 0,34**

Diferencia $k_1 - k_2 = 0{,}38 - 0{,}34 = 0{,}04$

Diferencia $k_{1real} - k_1 = 3{,}37 - 3 = 0{,}37$

dif. 1 ——— 0,04

dif. 0,37 ——— $\frac{(0{,}04 \times 0{,}37)}{1} = 0{,}015$

$\mu_1 = 0{,}38 - 0{,}015 = \boxed{0{,}36}$

3° Interpolación

Para $k_1 = 3$ y $\rho_{2E} = 63\%$

Diferencia **70% – 50% = 20%**

Diferencia $\mu_1 - \mu_2 = 0{,}40 - 0{,}36 = 0{,}04$

Diferencia $\rho_{2E} = 70\% - 63\% = 7\%$

20% ——— 0,04

7% ——— $\frac{0{,}04 \times 7}{20} = 0{,}014$

$\mu_1 = 0{,}40 - 0{,}014 = \boxed{0{,}384}$

H – DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DEPRECIACION

$\delta = 0,8$

TABLA 7

FACTOR DE UTILIZACION Y FACTOR DE DEPRECIACION

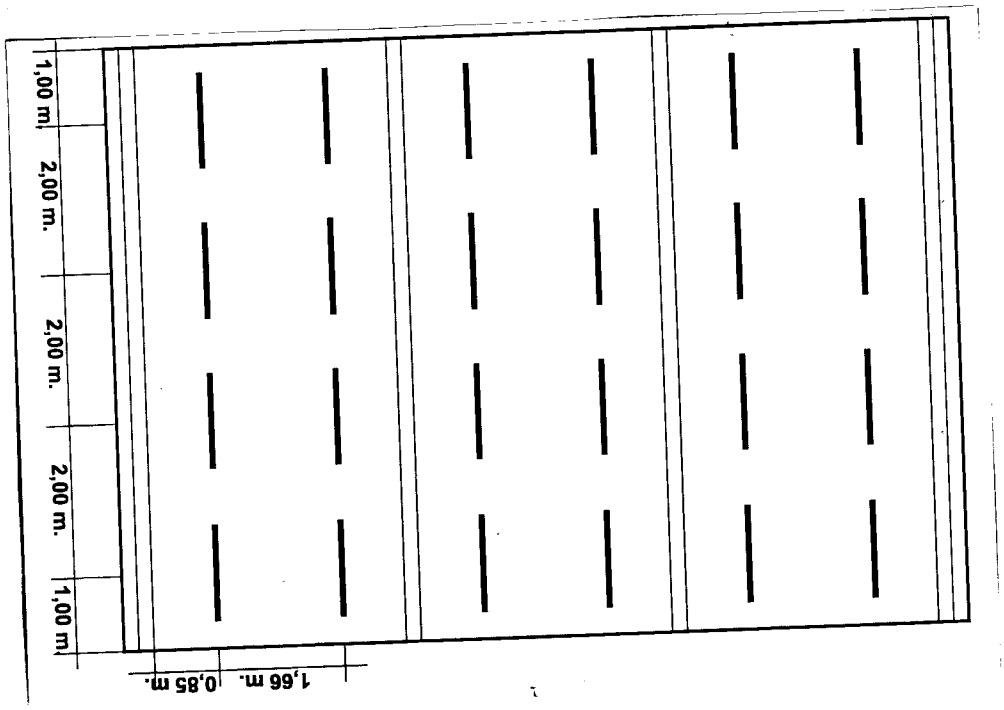
SISTEMA DE ALUMBRADO	INDICE DEL LOCAL	Ku FACTOR DE UTILIZACION %						FACTOR DE DEPRECIACION Kd % Para un ambiente		
		Color del Cielorraso								
		Muy Claro 75%		Claro 50%		Oscuro 30%				
		Color de las paredes								
		Claro 50%	Oscuro 10%	Claro 50%	Oscuro 10%	Claro 30%	Oscuro 10%	Limpio	Poco Limpio	Sucio
DIRECTO	J	32	25	32	25	27	25			
	I	40	34	39	33	35	33			
	H	43	37	42	37	39	37			
	G	46	41	45	41	43	41			
	F	48	43	46	43	45	43	80	75	65
	E	52	48	47	47	49	47			
	D	56	52	48	50	43	51			
	C	57	53	53	52	54	52			
	B	60	56	59	55	57	55			
	A	61	57	60	57	58	56			
SEMI-DIRECTO	J	29	22	27	21	22	20			
	I	35	29	33	27	28	26			
	H	39	33	36	31	31	29			
	G	43	36	39	34	34	32			
	F	46	38	42	36	37	34	80	75	65
	E	50	43	46	40	40	37			
	D	54	46	49	43	43	41			
	C	56	48	51	45	45	42			
	B	60	52	54	48	47	45			
	A	62	55	56	50	49	47			
DIFUSO	J	24	17	22	16	16	14			
	I	30	23	27	20	21	19			
	H	34	26	30	24	24	22			
	G	37	30	33	27	27	25			
	F	41	32	36	29	29	27	80	75	65
	E	45	37	40	33	32	30			
	D	49	40	43	36	35	33			
	C	52	43	45	38	37	35			
	B	55	47	48	42	40	38			
	A	57	50	50	44	41	40			
SEMI-INDIRECTO	J	17	12	13	09	07	06			
	I	22	16	16	12	09	08			
	H	25	19	18	14	11	09			
	G	29	21	21	16	12	11			
	F	31	24	23	18	13	12	75	65	50
	E	35	28	26	20	15	14			
	D	39	31	28	23	17	16			
	C	41	34	30	25	18	17			
	B	45	39	32	28	20	19			
	A	47	41	34	30	22	20			
INDIRECTO	J	13	09	08	06	04	03			
	I	16	12	11	08	05	05			
	H	19	14	12	09	06	05			
	G	22	16	15	11	07	06			
	F	24	18	16	12	08	07	70	60	50
	E	27	21	18	14	09	08			
	D	30	24	20	16	10	10			
	C	32	26	21	18	11	10			
	B	35	30	23	20	12	12			
	A	36	32	25	21	14	12			

I – CALCULO DEL NUMERO DE LUMINARIAS

$$N = \frac{E \times a \times l}{\mu \times \varnothing_{lamp} \times \delta} = \frac{700 \times 8 \times 10}{0,48 \times 2 \times 2940 \times 0,8} = \frac{56.000}{2.286,14} = \boxed{24,49}$$

Se adopta 24 Luminarias para disponer en los tres espacios entre vigas y distribuirlas uniformemente.

J – DISTRIBUCION DE LUMINARIAS



K – CALCULO DE LA ILUMINACIÓN REAL

$$E_i = \frac{N \times \mu \times \delta}{a \times l} = \frac{24 \times 2 \times 2940 \times 0{,}49 \times 0{,}80}{8 \times 10} = \boxed{686{,}00 \text{ Lux}}$$

Esta cantidad representa el 9,15 % menos del valor calculado.

GUIA PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE ILUMINACION INTERIOR UTILIZANDO DIALUX

JULIAN ANDRES RODRIGUEZ RAMIREZ

CRISTIAN ALEJANDRO LLANO

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELECTRICA
PEREIRA
2012

GUIA PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE ILUMINACION INTERIOR UTILIZANDO DIALUX

JULIAN ANDRES RODRIGUEZ

CRISTIAN ALEJANDRO LLANO

Proyecto de grado
para optar por el titulo
de Tecnólogo en Electricidad

DIRECTOR:
INGENIERO CARLOS ALBERTO RIOS PORRAS
DOCENTE DE TECNOLOGIA ELECTRICA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELECTRICA
PEREIRA
2012

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Pereira, marzo de 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres y profesores quienes nos apoyaron durante todo el transcurso de la carrera y que a pesar de nuestras faltas e inconvenientes nunca dejaron de creer en nosotros y brindarnos su apoyo incondicional.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 14
1. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN. 15
1.1 ASPECTOS TÉCNICOS Y REGLAMENTARIOS. 15
1.2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR. 23
1.2.1 Análisis del proyecto. 23
1.2.2 Definir parámetros de local. 23
1.2.3 Seleccionar iluminancia media. 23
1.2.4 Selección conjunto lámpara – luminaria. 23
1.2.5 Calcular cavidad del local (K). 24
1.2.6 Determinar coeficiente de utilización (CU). 24
1.2.7 Calcular Factor de mantenimiento (FM). 25
1.2.8 Flujo luminoso total requerido (φtot). 26
1.2.9 Calcular número de luminarias requeridas (N). 27
1.2.10 Calcular flujo luminoso real (φ real) e iluminancia promedio real (E prom). 27
1.2.11 Calcular valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI). 28
1.2.12 Algoritmo método de las cavidades zonales. 29
1.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN. 30
1.3.1 Análisis del proyecto. 30
1.3.2 Definir parámetros del local. 30
1.3.3 Seleccionar iluminancia media. 30
1.3.4 Selección conjunto lámpara-luminaria. 30
1.3.5 Calcular K, CU y FM. 31
1.3.6 Flujo luminoso total requerido (φtot). 33
1.3.7 Número de luminarias requeridas (N). 33
1.3.8 Flujo luminoso real (φreal) e Iluminancia promedio (E prom). 33
1.3.9 Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI). 34
2. DIALux. 35
2.1 DESCRIPCION. 35

2.2 DISEÑO DE INSTALACIONES DE ILUMINACION INTERIOR UTILIZANDO DIALux. 36
2.2.1 Interfaz de DIALux professional. 36
2.2.2 Ventana CAD. 37
2.2.3 Barra de herramientas. 38
2.2.4 Administrador de proyectos. 38
2.2.5 Guía del proyecto. 39
2.2.6 Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior usando DIALux professional. 40
2.3 CREACION DE PROYECTOS. 42
2.3.1 Análisis del proyecto. 42
2.3.2 Especificar datos del proyecto. 42
2.3.3 Construir local. 43
2.3.4 Especificar reflectancias del local. 45
2.3.5 Insertar objetos. 46
2.3.6 Seleccionar luminarias. 47
2.3.7 Determinar el número de luminarias requeridas y su disposición. 50
2.3.8 Cálculos luminotécnicos. 52
2.3.9 Puntos de cálculo. 56
2.4 CREACION DE VIDEOS. 58
3. MANEJO AVANZADO DE DIALux. 60
3.1 EDICION DE LOCALES. 60
3.2. CREACION DE OBJETOS. 61
3.3. IMPORTACION DE COLORES Y TEXTURAS. 62
3.4. TEMPERATURA DEL COLOR. 62
4 EJEMPLOS. 64
4.1 AUDITORIO. 64
4.2 BAR. 74
4.2.1 Sistema de iluminación sección 1. 76
4.2.2 Sistema de iluminación sección 2. 79
4.2.3 Sistema de iluminación sección 3. 80
5. CONCLUSIONES. 85
BIBLIOGRAFIA 86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Iluminancia para cada tipo de recinto y actividad. 16
Tabla 2. Reflectancias efectivas para ciertos colores y texturas (Valores en %). ..20
Tabla 3. Ejemplo tabla de CU. 25
Tabla 4. Valores de FM sugeridos por la CIE. 26
Tabla 5. Valores de VEEI, máximos permitidos. 28
Tabla 6. Tabla de coeficientes de utilización de ELECTROCONTROL. 32
Tabla 7. Componentes básicos de la barra de herramientas. 38
Tabla 8. Relaciones entre el nivel de iluminancia y temperatura de color. 63
Tabla 9. Tabla de coeficiente de utilización para luminaria TPS 460. 67
Tabla 10. Cálculo de potencia total (P). 73
Tabla 11. Tabla coeficiente de utilización luminaria TPS 740. 77
Tabla 12. Cálculo de potencia total (P). 82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de diagrama polar de la distribución luminosa. 21
Figura 2. Ejemplo disposición de luminarias. 21
Figura 3. Cavidades del local. 24
Figura 4. Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior. 29
Figura 5. Tipo de luminaria y su distribución luminosa. 31
Figura 6. Dimensiones del taller. 31
Figura 7. Interfaz de DIALux Professional. 37
Figura 8. Administrador del proyecto. 39
Figura 9. Guía del proyecto. 39
Figura 10. Pantalla de bienvenida DIALux Proffessional. 42
Figura 11. Interfaz de DIALux Professional. 43
Figura 12. Selección de objetos. 44
Figura 13. Especificación de datos. 44
Figura 14. Vista planta del local. 45
Figura 15. Vista planta del local terminado. 45
Figura 16. Aplicación de texturas. 46
Figura 17. Manipulación de objetos. 46
Figura 18. Taller de ensamble terminado. 47
Figura 19. Bienvenida al asistente ubicación luminarias. 48
Figura 20. Selección de catálogos. 48
Figura 21. Catálogo SILVANIA. 49
Figura 22. Selección de luminaria a utilizar. 49
Figura 23. Selección altura de luminarias. 50
Figura 24. Selección de número y disposición de luminarias. 51
Figura 25. Diseño de instalación de iluminación terminado. 51
Figura 26. Local simulado. 53
Figura 27. Outputs del proyecto. 54
Figura 28. Hoja de Resumen del proyecto. 55
Figura 29. Puntos de cálculo. 57
Figura 30. Resultados luminotécnicos de los puntos de cálculo. 57
Figura 31. Guía o trama del video. 58
Figura 32: Ejemplo trama de video. 59
Figura 33. Parámetros del video. 59
Figura 34. Modificación de locales. 60
Figura 35. Creación de objetos. 61
Figura 36. Unificar y almacenar objeto. 61
Figura 37. Importación de texturas. 62
Figura 38. Efectos de la temperatura de color. 63
Figura 39. Auditorio. 64
Figura 40. Reflector a utilizar marca PHILIPS. 65
Figura 41. Luminaria PHILIPS para áreas generales. 66
Figura 42. Asignación de áreas 1ª parte. 68

Figura 43. Asignación de áreas 2ª parte. 69
Figura 44. Disposición de reflectores y luminarias. 70
Figura 45. Disposición de luminarias zona audiencia. 71
Figura 46. Resultados medición de iluminancia promedio. 72
Figura 47. Resultados medición de deslumbramiento. 72
Figura 48. Vista Planta del Bar. 74
Figura 49. Asignación de áreas del bar. 75
Figura 50. Cálculo de áreas con DIALux....75
Figura 51. Luminaria TPS 740 de PHILIPS....76
Figura 52. Disposición de luminarias. 78
Figura 53. Luminaria **Smart Form** TBS 461 PHILIPS. 79
Figura 54. Disposición luminarias centro del bar. 80
Figura 55. Sistema de iluminación para el baño. 81
Figura 56. Hoja de resumen....83
Figura 57. Hoja de sumario de resultados de las superficies de cálculo....84
Figura 58. Bar terminado. 84

GLOSARIO

Las siguientes definiciones fueron tomadas de la sección 120.1 “Definiciones” del RETILAP [1].

Alcance: Característica de una luminaria que indica la extensión que alcanza la luz en la dirección longitudinal del camino. Las luminarias se clasifican en: Alcance corto, medio o largo.

Altura de montaje: Distancia vertical entre la superficie de la vía por iluminar y el centro óptico de la fuente de luz de la luminaria.

Bombilla o lámpara: Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacente a la zona visible.

Coeficiente de utilización (CU ó K): Relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria.

Curva ISO lux: Línea que une todos los puntos que tienen la misma luminancia en el plano horizontal, para una altura de montaje de 1 m ó 10 m y un flujo luminoso de 1 000 lm.

Flujo luminoso (Φ): Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el Lumen (lm).

Iluminancia (E): Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el Lux

Plano de trabajo: Es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual es usualmente realizado, y cuyos niveles de iluminación deben ser medidos y especificados.

Balasto: Unidad insertada en la red y una o más bombillas de descarga, la cual, por medio de inductancia o capacitancia o la combinación de inductancias y capacitancias, sirve para limitar la corriente de la(s) bombilla(s) hasta el valor requerido. El balasto puede constar de uno o más componentes.

Puede incluir, también medios para transformar la tensión de alimentación y arreglos que ayuden a proveer la tensión de arranque, prevenir el arranque en frío, reducir el efecto estroboscópico, corregir el factor de potencia y/o suprimir la radio interferencia.

Depreciación lumínica: Disminución gradual de emisión luminosa durante el transcurso de la vida útil de una fuente luminosa.

Deslumbramiento: Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad. Existe deslumbramiento cegador, directo, indirecto, incómodo e incapacitivo. Nota. La magnitud de la sensación del deslumbramiento depende de factores como el tamaño, la posición y la luminancia de la fuente, el número de fuentes y la luminancia a la que los ojos están adaptados.

Diagrama polar: Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos. Generalmente se representan los planos C = 0° - 180°, C = 90° - 270° y plano de intensidad máxima.

Eficacia luminosa de una fuente: Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (bombilla) y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en lumen/watt (**lm/W**). Nota. El término eficiencia luminosa se usó ampliamente en el pasado para denominar este concepto.

Eficiencia de una luminaria: Relación de flujo luminoso, en lúmenes, emitido por una luminaria y el emitido por la bombilla o bombillas usadas en su interior.

Factor de utilización de la luminaria (k): Relación entre el flujo luminoso que llega a la calzada (flujo útil) y el flujo total emitido por la luminaria. Usualmente se aplica este término cuando se refiere a luminarias de alumbrado público. También se conoce como Coeficiente de Utilización (CU).

Lumen (*lm*): Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

Luminancia (L): En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m^2).

Luminaria: Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las

bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

UGR: Es el índice de deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior, definido en la publicación CIE (Comisión Internacional de Iluminación) Nº 117.

RESUMEN.

En este trabajo de grado se exponen las definiciones, las características y las generalidades correspondientes al proceso de diseño de sistemas de iluminación interior teniendo presente los lineamientos establecidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP.

Para el diseño de sistemas de iluminación interior se emplea tanto el método analítico o matemático como el diseño asistido por el software de iluminación DIALux. Ambos métodos se exponen de manera detallada a partir de ejemplos en los cuales se explica paso a paso el proceso de diseño.

INTRODUCCIÓN

Toda edificación en la cual se ha de realizar algún tipo de actividad, ya sea laboral o cotidiana, requiere de un ambiente que cuente con un buen nivel de iluminación para optimizar el rendimiento, la productividad, la seguridad y el confort al momento de ejecutar dichas actividades. Anteriormente las instalaciones de iluminación no eran diseñadas teniendo en cuenta diversos factores que alteran el efecto lumínico de las fuentes de luz de una u otra manera y tampoco existían reglamentos o especificaciones que deberían cumplir éstos diseños, provocando así que las instalaciones de iluminación fueran mal diseñadas y no garantizaban los niveles de iluminancia requeridos para cada tipo de espacio y actividad a realizar.

El 06 de agosto de 2009 el Ministerio de Minas y Energía expidió la resolución número 18 1331 por la cual se expidió el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP, que estableció las reglas generales que se deben tener en cuenta en los diseños de sistemas de iluminación interior y exterior (incluyendo el alumbrado público) en el territorio colombiano, inculcando el uso racional y eficiente de energía (URE) en iluminación.

Con la realización de este trabajo se pretende exponer el adecuado diseño de instalaciones de iluminación interior siguiendo los lineamientos establecidos por el RETILAP y además fomentar el uso del software de iluminación DIALux para facilitar el diseño de sistemas de iluminación. El objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto consisten en:

Objetivo General

Diseñar instalaciones de iluminación interior utilizando el software de iluminación DIALux de acuerdo al Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.

Objetivos específicos

- Dar a conocer los aspectos teóricos y reglamentarios respecto al diseño de sistemas de iluminación interior.
- Explicar mediante ejemplos el diseño de un sistema de iluminación.
- Explicar el manejo del software de iluminación DIALux por medio de ejemplos.

1. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

1.1 ASPECTOS TÉCNICOS Y REGLAMENTARIOS.

Se consideran como instalaciones de iluminación los circuitos eléctricos de alimentación, las fuentes luminosas, las luminarias y los dispositivos de control, soporte y fijación que se utilicen exclusivamente para la iluminación interior y exterior de bienes de uso público y privado [1].

La luz es un componente esencial en cualquier medio ambiente, hace posible la visión del entorno y además, al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios, puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética y ambientación y afectar el rendimiento visual, el estado de ánimo y la motivación de las personas. El diseño de iluminación debe comprender la naturaleza física, fisiológica y psicológica de esas interacciones y además, conocer y manejar los métodos y la tecnología para producirlas, pero fundamentalmente demanda, competencia, creatividad e intuición para utilizarlas. El diseño de iluminación debe definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación visual entre el usuario y su medio ambiente. Esto implica tener en cuenta diversas disciplinas y áreas del conocimiento [1].

En los proyectos de iluminación se deben aprovechar los desarrollos tecnológicos de las fuentes luminosas, las luminarias, los dispositivos ópticos y los sistemas de control, de tal forma que se tenga el mejor resultado lumínico con los menores requerimientos de energía posibles. Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales y crear ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, empleando apropiadamente los recursos tecnológicos y evaluando todos los costos razonables que se incurren en la instalación, operación y mantenimiento del proyecto de iluminación [1].

El objetivo de toda instalación de iluminación es garantizar que se presenten los niveles de iluminancia promedio establecidas por el RETILAP, ya sean iluminancias generales o locales, y en algunos casos ambas. Para lograr esto se deben tener en cuenta múltiples factores que afectan la distribución luminosa dentro de una edificación además de los niveles de deslumbramiento (UGR) máximos permitidos. La adecuada selección y manejo de éstos parámetros asegurarán que la instalación de iluminación diseñada cumpla con los requisitos energéticos y de conformidad establecidos por el RETILAP. Los parámetros a tener en cuenta en todo diseño son los siguientes:

Dimensiones: Se deben tener en cuenta las dimensiones del local, principalmente el largo, el ancho y el alto. También es de suma importancia saber si la geometría descrita por las paredes y techo no es rectangular; es decir, tanto la pared como el techo pueden presentar formas tales como arcos, cúpulas o domos y techos de

forma triangular. Este parámetro es de suma importancia para poder seleccionar el tipo de luminaria a utilizar y su disposición.

Tipo de recinto y actividad: Se debe conocer el tipo de edificación y qué clase de actividad se desea realizar allí, pues dependiendo de esto, se establecerá el nivel de iluminancia promedio con que debe contar la edificación. En la Tabla 1 se establecen los niveles de iluminancia promedio local y general que se deben garantizar en la edificación; además, se establece el nivel máximo de UGR permitido [1].

Tabla 1. Niveles de Iluminancia para cada tipo de recinto y actividad.

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR_L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños	25	100	150	200
Almacenes, bodegas	25	100	150	200
Talleres de ensamble				
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	25	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías	22	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	19	500	750	1 000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	16	1 000	1 500	2 000
Procesos químicos				
Procesos automáticos	--	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	200
Áreas generales en el interior de las fabricas	25	200	300	500
Cuartos de control, laboratorios	19	300	500	750
Industria farmacéutica	22	300	500	750
Inspección	19	500	750	1 000
Balanceo de colores	16	750	1 000	1 500
Fabricación de llantas de caucho	22	300	500	750
Fábricas de confecciones				
Costura	22	500	750	1 000
Inspección	16	750	1 000	1 500
Prensado	22	300	500	750

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR_L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Industria eléctrica				
Fabricación de cables	25	200	300	500
Ensamble de aparatos telefónicos	19	300	500	750
Ensamble de devanados	19	500	750	1 000
Ensamble de aparatos receptores de radio y TV	19	750	1 000	1 500
Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos	16	1 000	1 500	2 000
Industria alimenticia				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Procesos automáticos	--	150	200	300
Decoración manual, inspección	16	300	500	750
Fundición				
Pozos de fundición	25	150	200	300
Moldeado basto, elaboración basta de machos	25	200	300	500
Moldeo fino, elaboración de machos, inspección	22	300	500	750
Trabajo en vidrio y cerámica				
Zona de hornos	25	100	150	200
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas	25	200	300	500
Terminado, esmaltado, en vidriado	19	300	500	750
Pintura y decoración	16	500	750	1 000
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino	19	750	1 000	1 500
Trabajo en hierro y acero				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	25	200	300	500
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750
Industria del cuero				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Prensado, corte, costura y producción de calzado	22	500	750	1 000
Clasificación, adaptación y control de calidad	19	750	1 000	1 500
Taller de mecánica y de ajuste				
Trabajo ocasional	25	150	200	300
Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	22	200	300	500
Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas	22	300	500	750
Maquinado y trabajo fino en banco, máquinas automáticas finas, inspección y ensayos	19	500	750	1 000
Trabajo muy fino, calibración e inspección de partes pequeñas muy complejas	19	1 000	1 500	2 000

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR_L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Talleres de pintura y casetas de rociado				
Inmersión, rociado basto	25	200	300	500
Pintura ordinaria, rociado y terminado	22	300	500	750
Pintura fina, rociado y terminado	19	500	750	1 000
Retoque y balanceo de colores	16	750	1 000	1 500
Fábricas de papel				
Elaboración de papel y cartón	25	200	300	500
Procesos automáticos	--	150	200	300
Inspección y clasificación	22	300	500	750
Trabajos de impresión y encuadernación de libros				
Recintos con máquinas de impresión	19	300	500	750
Cuartos de composición y lecturas de prueba	19	500	750	1 000
Pruebas de precisión, retoque y grabado	16	750	1 000	1 500
Reproducción del color e impresión	19	1 000	1 500	2 000
Grabado con acero y cobre	16	1 500	2 000	3 000
Encuadernación	22	300	500	750
Decoración y estampado	19	500	750	1 000
Industria textil				
Rompimiento de la paca, cardado, hilado	25	200	300	500
Giro, embobinado, enrollamiento peinado, tintura	22	300	500	750
Balanceo, rotación (conteos finos) entretejido, tejido	22	500	750	1 000
Costura, desmote o inspección	19	750	1 000	1 500
Talleres de madera y fábricas de muebles				
Aserraderos	25	150	200	300
Trabajo en banco y montaje	25	200	300	500
Maquinado de madera	19	300	500	750
Terminado e inspección final	19	500	750	1 000
Oficinas				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1 000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1 000
Salas de conferencia	19	300	500	750
Centros de atención médica				
Salas				
Iluminación general	22	50	100	150
Examen	19	200	300	500
Lectura	16	150	200	300
Circulación nocturna	22	30	50	100
Salas de examen				
Iluminación general	19	300	500	750

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR$_L$	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Inspección local	19	750	1 000	1 500
Terapia intensiva				
Cabecera de la cama	19	30	50	100
Observación	19	200	300	500
Estación de enfermería	19	200	300	500
Salas de operación				
Iluminación general	19	500	750	1 000
Iluminación local	19	1 0000	30 000	100 000
Salas de autopsia				
Iluminación general	19	500	750	1 000
Iluminación local	--	5 000	10 000	15 000
Consultorios				
Iluminación general	19	300	500	750
Iluminación local	19	500	750	1 000
Farmacia y laboratorios				
Iluminación general	19	300	400	750
Iluminación local	19	500	750	1 000
Almacenes				
Iluminación general:				
En grandes centros comerciales	19	500	750	1 000
Ubicados en cualquier parte	22	300	500	750
Supermercados	19	500	750	1 000
Colegios y centros educativos.				
Salones de clase				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros para emplear con tizas	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1 000
Salas de conferencias				
Iluminación general	22	300	500	750
Tableros	19	500	750	1 000
Bancos de demostración	19	500	750	1 000
Laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asamblea	22	150	200	300

Reflectancias efectivas de las superficies: La reflectancia de una superficie se define como la razón entre el flujo luminoso reflejado por la superficie y el flujo que incide sobre ella, en otras palabras, determina el porcentaje de la luz que incide sobre una superficie que es reflejada. Para determinar la reflectancia de una superficie se debe conocer su color, el tono, el material y textura. Una vez conocidos se consulta la Tabla 2 para determinar las reflectancias de cada

superficie que componen la edificación [1]. Se pueden encontrar múltiples tablas como esta.

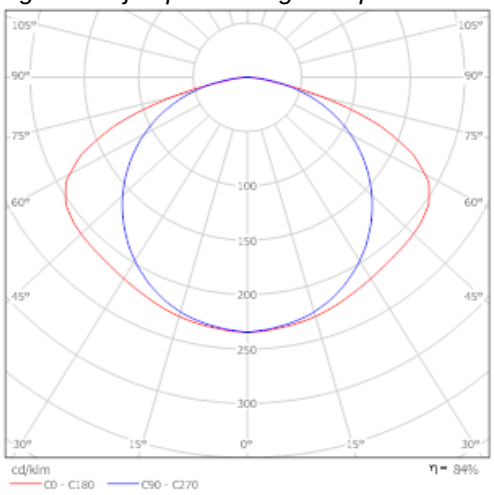
Tabla 2. Reflectancias efectivas para ciertos colores y texturas (Valores en %).

TONO	COLOR		SUPERFICIES		ACABADOS DE CONSTRUCCION	
Muy claro	Blanco nuevo	88	Maple	43	Cantera clara	18
	Blanco viejo	76	Nogal	16	Cemento	27
	Azul crema	76	Caoba	12	Concreto	40
	Crema	81	Pino	48	Mármol blanco	45
	Azul	65	Madera clara	30-50	Vegetación	25
	Miel	76	Madera oscura	10-25	Asfalto limpio	7
	Gris	83			Adoquín de roca	17
	Azul verde	72			Grava	13
					Ladrillo claro	30-50
					Ladrillo oscuro	15-25
Claro	Crema	79	**ACABADOS METALICOS**			
	Azul	55				
	Miel	70				
	Gris	73				
Mediano	Azul verde	54	Blanco polarizado	80		
	Amarillo	65	Aluminio pulido	75		
	Miel	63	Aluminio mate	75		
	gris	61	Aluminio claro	63		
Oscuro	Azul	8				
	Amarillo	50				
	Café	10				
	Gris	25				
	Verde	7				
	Negro	3				

Plano de trabajo: El plano útil o de trabajo indica la altura respecto al suelo a la cual se realizarán las actividades dentro del local, esta altura puede ser general o local y en caso de no conocerse, el RETILAP establece que se puede considerar esta altura de 0,75 m para trabajo realizado sentado y 0,85 m para el trabajo realizado de pie.

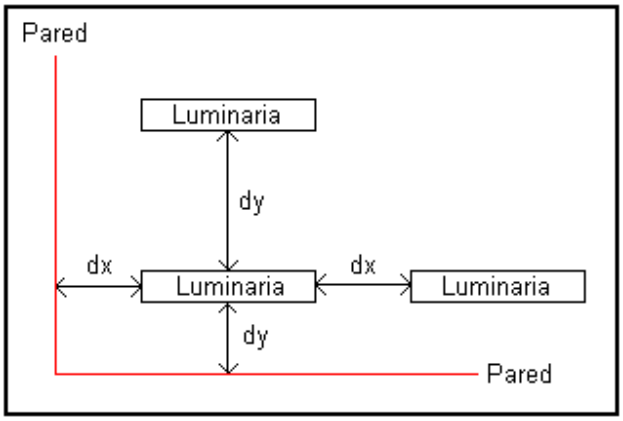
Lámparas y luminarias: Es de suma importancia seleccionar el conjunto lámpara-luminaria pues de éste depende que se produzca la iluminancia promedio que se requiera. Al momento de seleccionarlos se deben tener en cuenta características como el flujo luminoso emitido por la bombilla o lámpara, la potencia activa requerida para el funcionamiento de la bombilla, el tipo de montaje de la luminaria (adosado, suspendido, etc.) y el diagrama polar de la distribución luminosa entregado por el fabricante (Figura 1), el cual es muy importante tener en cuenta al momento de seleccionar la disposición de las luminarias.

Figura 1. Ejemplo de diagrama polar de la distribución luminosa.



Disposición de luminarias: En todo proyecto de iluminación se debe especificar el lugar y la forma en que las luminarias deberán ser instaladas, además de especificar las distancias entre luminarias y la distancia entre la luminaria y las paredes.

Figura 2. Ejemplo disposición de luminarias.



Mantenimiento: Es importante conocer el tipo de ambiente y las condiciones de suciedad a las cuales será sometida la edificación y por ende la instalación de iluminación, este factor afecta principalmente a la lámpara o a la bombilla de manera que por efecto de la suciedad acumulada tanto en la lámpara como en las superficies del local se reduce la cantidad de luz emitida por la lámpara y la reflejada por dichas superficies.

Altura de montaje: Indica la altura a la cual las luminarias o porta bombillas serán instaladas, pues dependiendo del tipo de luminaria que se escoja para el diseño, estas podrían instalarse adosándolas al techo o suspendidas de él o de una pared según sea el caso.

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta según los lineamientos del RETILAP, consiste en considerar la iluminancia que proveerá la incidencia de la luz solar sobre la edificación con el fin de promover el ahorro de la energía eléctrica y la eficiencia de los sistemas de iluminación; sin embargo, existe cierta incertidumbre en la aplicación de esta práctica por las siguientes razones:

- Si bien se puede tener la seguridad de contar con luz solar todos los días, no se puede saber con certeza en que intensidad y durante cuánto tiempo, por lo tanto es realmente difícil establecer un valor de iluminancia aportada por la luz solar; por ello es práctica común tenerla en cuenta de manera implícita en los cálculos al momento de no ser tan exigentes en utilizar un número determinado de lámparas para alcanzar la iluminancia promedio deseada. Además al no poder ser controlada su intensidad, la luz solar provocará deslumbramiento, altos o bajos contrastes en el interior de la edificación además de la sensación de calor e incomodidad.

- Aunque en el diseño de cierta instalación de iluminación se demuestre que la iluminancia provista por la luz natural fuese tal que se pudiera prescindir de cuatro lámparas, no sería posible hacerlo pues la instalación de iluminación también será utilizada durante la noche y no se podrá asegurar la iluminancia promedio requerida durante este periodo.

Por esas razones en ninguno de los ejemplos aquí ilustrados se tendrán en cuenta la iluminancia provista por la luz natural de manera explícita en los cálculos, es decir, no se hará ningún cálculo referente a la luz natural.

A continuación se exponen los ítems esenciales y las consideraciones técnicas que según el RETILAP deben ser considerados al momento de empezar el diseño de un sistema de iluminación interior y los requisitos que debe cumplir.

a) Conocer con detalles las actividades asociadas con cada espacio.
b) Las exigencias visuales de cada puesto de trabajo y su localización.
c) Las condiciones de reflexión de las superficies
d) Las necesidades para el espacio, modelado y rendimiento del color.
e) La disponibilidad de la iluminación natural
f) La apariencia del color de la fuente de luz y su unión con la iluminación natural.
g) El control de luz directa e indirecta que ingresa por las ventanas.
h) Localización de las luminarias y su acceso a ellas.

1.2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR.

La metodología empleada en el diseño de un sistema de iluminación interior está definida por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP - como el método de las cavidades zonales, el cual consiste en lo siguiente. Para un local dado se consideran tres cavidades, las cuales tienen como límites intermedios planos imaginarios situados uno a la altura del plano de trabajo y otro a la altura de montaje de las luminarias. Las cavidades así delimitadas reciben las denominaciones de cavidad de techo, cavidad del local y cavidad del piso [1]. Con la aplicación de este método se deben cumplir dos objetivos fundamentales para que un diseño sea considerado eficiente. Estos objetivos son:

Iluminancia promedio [lx]: Es el objetivo principal de diseño, el cual consiste, como lo indica su nombre, el nivel de iluminancia promedio que se debe garantizar en toda el área a iluminar.

Valor de Eficiencia Energética de la Instalación [VEEI]: Este valor indicará la eficiencia energética de la instalación de iluminación que se acaba de diseñar; es decir, cuantos luxes se produjeron con la potencia eléctrica de las lámparas, y lo que se busca es la mayor producción de luz (luxes) con la menor cantidad de energía eléctrica (Vatios).

La metodología para realizar el diseño de una instalación de iluminación consiste en los siguientes pasos:

1.2.1 Análisis del proyecto. Este paso consiste en identificar claramente que tipo de iluminación se requiere (local o general), el tipo de recinto y la actividad que se realizará allí.

1.2.2 Definir parámetros de local. Estos parámetros hacen referencia a las dimensiones geométricas de local, su forma específica (local redondo, cuadrado etc.), colores, texturas y reflectancias efectivas.

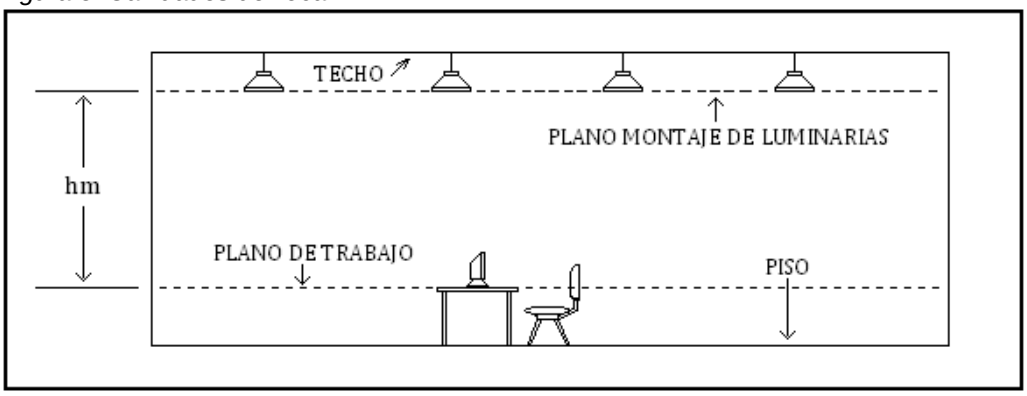
1.2.3 Seleccionar iluminancia media. De acuerdo al análisis del proyecto se deberá escoger la iluminancia media (objetivo de diseño) más adecuada según la Tabla 1.

1.2.4 Selección conjunto lámpara – luminaria. En este paso se debe seleccionar el tipo de lámpara y luminaria que se usará, teniendo en cuenta el tipo de proyecto a realizar e iluminación requerida. Al seleccionar este conjunto se deben también especificar sus características fotométricas principales:

Flujo luminoso [lm]
Potencia eléctrica [W]
Eficacia [lm/W]
Diagrama polar de distribución luminosa
Tabla de coeficientes de utilización.

1.2.5 Calcular cavidad del local (K). Este factor es muy importante, pues permite determinar más adelante el coeficiente de utilización (CU) para cada tipo de luminaria seleccionada de acuerdo a las hojas de datos entregadas por los fabricantes.

Figura 3. Cavidades del local.



$$hm = h - (PT + PML) \quad [m] \quad (1)$$

Donde:

hm: Altura de la cavidad del local [m]
h: Altura del local [m]
PT: Plano de trabajo [m]
PML: Plano de montaje de luminarias [m].

$$K = \frac{5 * hm * (l + a)}{l * a} = RCL \quad (2)$$

Donde **hm** es la distancia que hay entre el plano o la altura de trabajo y la altura de montaje de la luminaria, ***l*** y ***a*** corresponden a la longitud y al ancho del local respectivamente. **K** o **RCL** hacen referencia al índice de la cavidad del local.

1.2.6 Determinar coeficiente de utilización (CU). El coeficiente de utilización es la relación entre el flujo luminoso que cae en el plano de trabajo y el flujo luminoso suministrado por la luminaria. Este coeficiente representa la cantidad de flujo luminoso efectivamente aprovechado en el plano de trabajo después de interactuar con las luminarias y las superficies dentro de un local [1]. El CU se determina por una interpolación de datos de la tabla entregada por el fabricante,

los datos a tener en cuenta para la interpolación son las reflectancias efectivas de las superficies y el índice K. Estas tablas normalmente se construyen sin tener en cuenta la reflectancia del piso porque es la menos influyente en la iluminancia promedio, así que la mayoría de éstas se construyen para un valor fijo de reflectancia de piso. Para una mejor compresión se asumirán los siguientes datos para calcular el CU a manera de ejemplo:

Reflectancia del techo = 0,60
Reflectancia de paredes = 0,75

Tabla 3. Ejemplo tabla de CU.

K	ρ Techo	0,8		0,5		0,2	
	ρ Pared	0,8	0,4	0,8	0,4	0,8	0,4
1		0,94	0,85	0,52	0,65	0,42	0,39
2		0,91	0,87	0,65	0,75	0,53	0,38
3		0,89	0,71	0,50	0,62	0,42	0,37
4		0,81	0,72	0,53	0,60	0,41	0,25

La manera de interpolar estos datos en la Tabla 3 es ubicándolos según correspondan en las casillas de reflectancias de techo y paredes y del índice K asumiendo que éste tiene un valor de 3. Los valores de reflectancia y de índice K que se encuentran en las tablas de CU son valores enteros así que se deben elegir los más cercanos. De esta manera se hacen las siguientes aproximaciones:

P Techo: 0,60 >> 0,5
P Paredes: 0,75 >> 0,8

El valor de K es fijo y solo hay que ubicarlo en la tabla. De esta manera como se aprecia en Tabla 3 el CU para este ejemplo es de 0,50.

1.2.7 Calcular Factor de mantenimiento (FM). Es la relación de la iluminancia promedio en el plano de trabajo después de un periodo determinado de uso de una instalación, y la iluminancia promedio obtenida al empezar a funcionar la misma como nueva [1]. Todo diseño de un sistema de iluminación debe considerar el factor de mantenimiento con el fin de asegurar los niveles de iluminancia promedio establecidos por el RETILAP. El FM está dado por la siguiente expresión:

$$FM = FE * DLB * Fb \quad (3)$$

Donde:
FM: Factor de mantenimiento
FE: Depreciación de la luminaria por suciedad
DLB: Depreciación por disminución del flujo luminoso de la bombilla
Fb: Factor de balasto.

Para facilitar el proceso se puede también escoger el FM de una de las tablas otorgadas por la CIE (En español “Comisión Internacional de Iluminación”) [2], en las cuales basta con especificar la frecuencia con la que se le realizará mantenimiento a la instalación de iluminación, el tipo de luminaria y finalmente las condiciones medioambientales a las que será sometido el sistema de iluminación.

Tabla 4. Valores de FM sugeridos por la CIE.

Frecuencia de limpieza.(años)	**1**				**2**			
Condiciones ambientales.	**P**	**C**	**N**	**D**	**P**	**C**	**N**	**D**
Luminarias abiertas.	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta.	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada.	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectors cerrados.	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminarias a prueba de polvo.	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emision indirecta.	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

En donde:

P: Pure - Puro o muy limpio
C: Clean - Limpio
N: Normal
D: Dirty - Sucio.

1.2.8 Flujo luminoso total requerido (φtot). Este valor indica cual es el flujo luminoso total requerido para producir la iluminancia media (E medio) previamente especificada. El flujo total viene dado por la siguiente expresión:

$$\varphi tot = \frac{Emedio * A}{CU * FM} \ [lm] \quad (4)$$

Donde

φtot. Flujo luminoso total requerido [lm]
E medio: Iluminancia media requerida [lx]
A: Área del local [m^2]
CU: Coeficiente de utilización
FM: Factor de mantenimiento.

1.2.9 Calcular número de luminarias requeridas (N). Habiendo determinado el flujo luminoso total requerido para producir la iluminancia media requerida y conociendo el flujo luminoso emitido por cada lámpara, el número de luminarias requeridas se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{\varphi tot}{\varphi l * n} \quad (5)$$

Donde:

N: Número de luminarias requeridas
n: Número de bombillas por luminaria
φtot: Flujo luminoso total o requerido [lm]
φl: Flujo luminoso por bombilla [lm].

Después de calcular N, que normalmente no es un número entero, se deberá escoger el número de luminarias a utilizar lo más aproximado a N y en caso de presentarse dos o más opciones se deberán evaluar todas y elegir la más conveniente. Por ejemplo si N fuese igual a 11,35, se deben evaluar las opciones 10, 11 y 12 luminarias y seleccionar la más apropiada desde el punto de vista técnico y económico, después de hacerlo N tomará el nuevo valor seleccionado.

1.2.10 Calcular flujo luminoso real (φ real) e iluminancia promedio real (E prom). Después de determinar el número de luminarias a utilizar se deberá calcular el flujo luminoso real emitido por éstas.

$$\varphi\, real = N * n * \varphi L\ [lm] \quad (6)$$

Donde:

φ real: Flujo luminoso real emitido [lm]
N: Numero de luminarias requeridas
n: Número de bombillas por luminaria
φL: Flujo luminoso por bombilla [lm].

Teniendo ya calculado **φ real** se debe calcular la iluminancia promedio que se obtendrá con este valor. La iluminancia promedio está determinada por la siguiente ecuación:

$$Eprom = \frac{\varphi\, real * CU * FM}{A}\ [lx] \quad (7)$$

Donde:

φ real: Flujo luminoso real emitido por el número de luminarias (lm)
CU: Coeficiente o factor de utilización
FM: Factor de mantenimiento
A: Área de la edificación (m^2).

1.2.11 Calcular valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI). La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se evaluará mediante el indicador denominado ***Valor de Eficiencia Energética de la instalación (VEEI)*** expresado en (W/m^2) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión [1]:

$$VEEI = \frac{P * 100\ lx}{S * Eprom} \left[\frac{W}{m^2}\ x\ 100\ lx \right] \quad (8)$$

Donde:

P: Potencia activa requerida por el número de luminarias a utilizar [W].
S: Superficie o área del plano útil [m^2].
E: Iluminancia promedio horizontal calculada o real en el plano útil [lx].

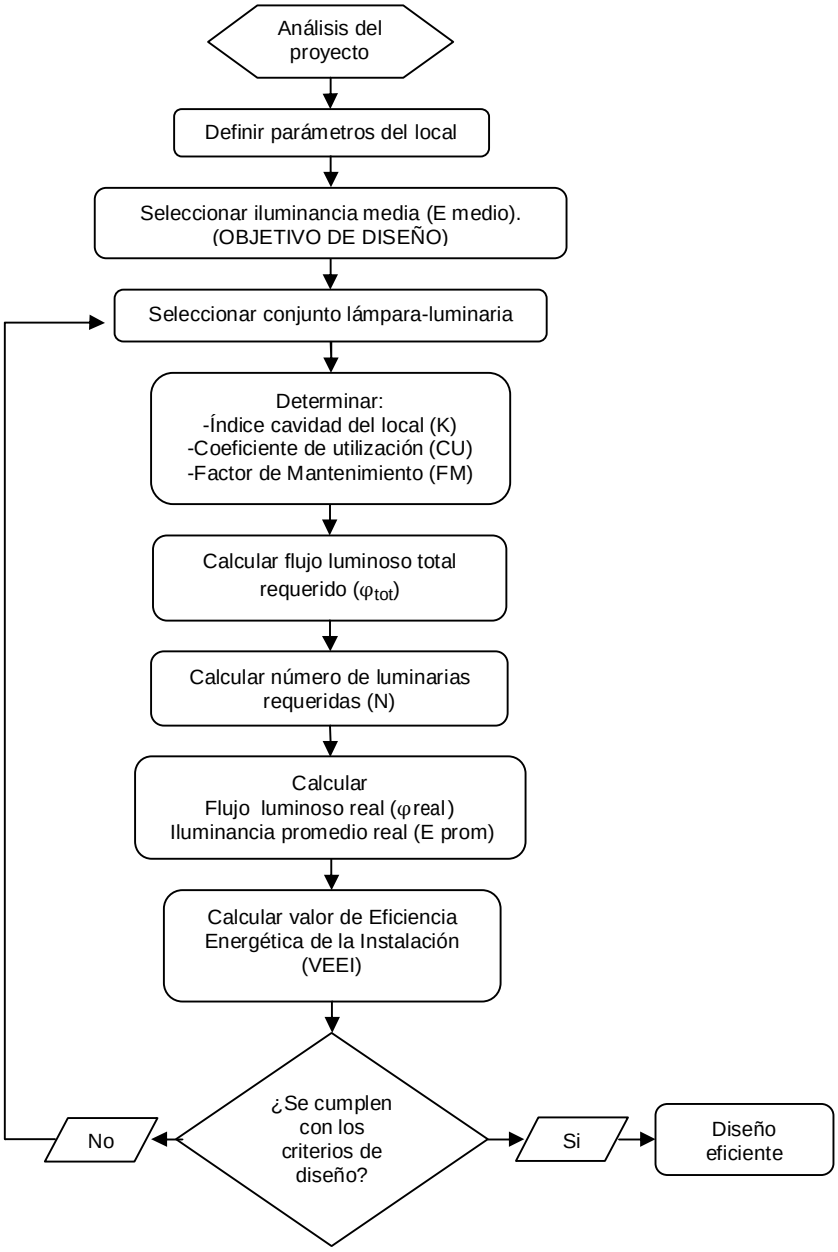
En la Tabla 5, se indican los valores límite de VEEI que deben cumplir los recintos interiores de las edificaciones. Los valores de VEEI se establecen en dos grupos de zonas en función de la importancia que tiene la iluminación [1].

Tabla 5. Valores de VEEI, máximos permitidos.

Grupo	Actividad de la zona	VEEI máximo
1. Zonas de baja importancia Lumínica.	Administrativa en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnostico	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios	4
	Habitaciones de hospital	4,5
	Zonas comunes	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parqueaderos	5
	Zonas deportivas	5
2. Zonas de alta importancia lumínica	Administrativa en general	6
	Estaciones de transporte	6
	Supermercados, hipermercados y almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales (tiendas excluidas)	8
	Hostelería y restauración	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios, convenciones	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes	10
	Habitaciones de hoteles	12

1.2.12 Algoritmo método de las cavidades zonales. El procedimiento para diseñar instalaciones de iluminación interior se puede resumir en el siguiente algoritmo.

Figura 4. Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior.



1.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN.

En esta sección se realizará el diseño de un sistema de iluminación para un taller de ensamble de pequeños motores, si bien este diseño no contará con un alto grado de dificultad, se realiza con el fin de exponer la metodología fundamental a emplear en cualquier diseño de iluminación interior. Para realizar este diseño se seguirán los pasos expuestos en el algoritmo de la Figura 4.

1.3.1 Análisis del proyecto. El local a iluminar es de forma rectangular y en el habrán bancos de trabajo sobre los cuales se realizará el ensamble o montaje de pequeños motores y bobinados. La iluminación requerida es del tipo general; es decir, se debe asegurar una iluminancia promedio en todo el local y no en lugares específicos.

1.3.2 Definir parámetros del local. Los parámetros del local hacen referencia a sus dimensiones, color o textura de paredes, techo y piso, y finalmente al tipo de local y el tipo de actividad que se va a realizar allí. Estos parámetros son entonces los siguientes:

Dimensiones:	Altura: 3 m, ancho: 8 m, longitud: 17 m
Color de paredes y techo:	Gris claro
Color del piso:	Gris oscuro
Plano o altura de trabajo:	0,85 m.

Habiendo definido ya los colores o texturas de las paredes, piso y techo, se procede a asignar el valor de reflectancia para cada una de estas superficies considerando hojas de datos similares a la mostrada en la Tabla 2. Basados en lo anterior se ubican los colores gris claro y oscuro en la tabla previamente mencionada, de esta manera las reflectancias efectivas quedan establecidas de la siguiente manera:

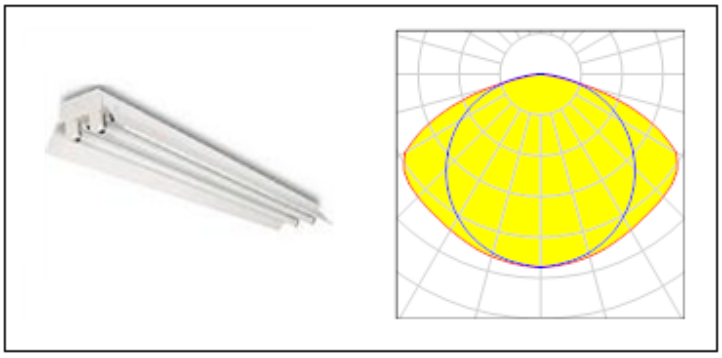
Reflectancia paredes y techo:	73%
Reflectancia piso:	25%.

1.3.3 Seleccionar iluminancia media. Luego de conocer el tipo de edificación a iluminar y la clase de actividad que se ha de realizar allí se debe especificar el nivel de iluminancia media requerida para dicha edificación. Para hacerlo se busca en la Tabla 1 y se ubica un tipo de recinto y actividad que coincida, en este caso es *Maquinado y trabajo de media precisión en banco, maquinas generalmente automáticas.* De esta manera queda establecida la iluminancia media (E media) como 500 lx (Objetivo de diseño).

1.3.4 Selección conjunto lámpara-luminaria. Para este tipo de locales es común emplear lámparas fluorescentes de dos tubos T8, en este caso se utilizarán las

luminarias tipo reflector de aluminio difuso apantallada a 35º provistas por el fabricante ELECTROCONTROL [3].

Figura 5. Tipo de luminaria y su distribución luminosa.



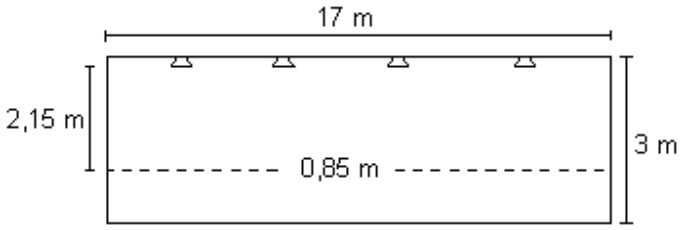
Este tipo de luminaria es ampliamente utilizada en casi todas las aplicaciones que requieren de una gran área a ser iluminada. Como se puede observar en la Figura 5, toda luminaria que se escoja tendrá su diagrama polar de distribución luminosa correspondiente, el cual indica básicamente la manera en la que la luminaria difundirá la luz emitida por la lámpara allí soportada. Además de su distribución luminosa también es necesario consultar los datos luminotécnicos correspondientes a la bombilla o lámpara a utilizar.

Lámpara:	Fluorescente T8.
Potencia por lámpara:	32 W
Flujo luminoso por lámpara:	2 950 lm
Eficacia:	92,2 lm/W.

1.3.5 Calcular K, CU y FM.

1.3.5.1 Índice de Cavidad del local K. Lo primero que se debe hacer es identificar las dimensiones del plano de trabajo del taller:

Figura 6. Dimensiones del taller.



Como se aprecia en la Figura 6, las cavidades zonales están delimitadas por el plano de 0,85 m correspondiente al plano de trabajo. Dado que la luminaria se

adosará directamente al techo el plano de montaje de luminarias es cero, **hm** se calcula usando la Ecuación 1:

$$hm = 3\,m - 0{,}85\,m = 2{,}15\,m$$

Luego de calcular **hm** se utiliza la Ecuación 2 para calcular el índice de cavidad del local:

$$K = \frac{5 * 2{,}15\,m * (17\,m + 8\,m)}{17\,m * 8\,m} = 1{,}976$$

Debido a que en las tablas de CU el índice de cavidad del local es un número entero, se realizará la aproximación de 1,976 a 2. De esta manera la cavidad del local quedará establecida como K = 2.

1.3.5.2 Determinar coeficiente de utilización (CU). Teniendo el índice de la cavidad del local y las reflectancias efectivas de cada superficie, se procede a determinar el coeficiente o factor de utilización por medio de las hojas de datos entregadas por los fabricantes. Para determinar el CU se deben interpolar los valores de las reflectancias hallados en la ***Sección 1.3.2***, en la Tabla 6 entregada por el fabricante ELECTROCONTROL. Primero se ubica la del techo en el valor de 70, pues 73 no está disponible, luego de manera similar se ubica la de las paredes en 50 debido a que es el número máximo de reflectancia disponible.

Tabla 6. Tabla de coeficientes de utilización de ELECTROCONTROL.

TIPO DE LUMINARIA	REFLECTANCIAS EFECTIVAS											
	TECHO	80			70			50			30		
	PARED	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
	RCL	COEFICIENTES DE UTILIZACION											
REFLECTOR DE ALUMINIO DIFUSO CON PANTALLA	1	0,85	0,82	0,80	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,69	0,68	0,66
	2	0,76	0,72	0,68	0,74	0,70	0,66	0,68	0,65	0,62	0,63	0,61	0,58
	3	0,69	0,63	0,59	0,66	0,61	0,57	0,62	0,58	0,54	0,57	0,54	0,51
	4	0,62	0,56	0,51	0,60	0,56	0,50	0,56	0,51	0,47	0,52	0,48	0,45
	5	0,55	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43	0,50	0,45	0,41	0,47	0,43	0,39
	6	0,50	0,43	0,39	0,48	0,42	0,38	0,45	0,40	0,36	0,42	0,38	0,35
	7	0,45	0,38	0,34	0,43	0,37	0,33	0,41	0,36	0,32	0,38	0,34	0,30
	8	0,40	0,34	0,29	0,39	0,33	0,29	0,37	0,31	0,28	0,34	0,30	0,26
	9	0,36	0,30	0,25	0,35	0,29	0,25	0,33	0,28	0,24	0,31	0,26	0,23
	10	0,33	0,26	0,22	0,32	0,26	0,22	0,30	0,25	0,21	0,28	0,23	0,20

Ubicando el valor de RCL en 2 se encuentra que CU = 0,74.

En la sección 430 del RETILAP aparece un ***Método del Coeficiente de Utilización de la Instalación*** que puede ser usado para determinar el mismo

coeficiente de utilización otorgado por el fabricante. Este método consiste en utilizar el diagrama polar de la distribución luminosa de la lámpara y dada su ubicación en el local, determinar el porcentaje de flujo luminoso que será emitido sobre el plano útil y que porcentaje será absorbido por las paredes y el techo, de esta manera se determina el porcentaje útil del flujo luminoso de la lámpara. Los fabricantes realizan un procedimiento similar de manera física mediante laboratorios especializados y de alta tecnología para determinar el mismo factor, por lo tanto la mejor opción es utilizar las tablas de CU de los fabricantes y no calcularlo. Por último, dado que solo sirve para calcular un parámetro del diseño y nada más, no se debe considerar como un método de diseño.

1.3.5.3 Factor de mantenimiento (FM). Para calcular el FM se utilizarán los valores sugeridos por la CIE de la Tabla 4 ya que para utilizar la Ecuación 3 se deben obtener datos especiales de la lámpara los cuales solo se incluyen junto con su compra. Para calcular entonces el FM se asumirá que es un local de limpieza normal y que cuenta con un ciclo anual de mantenimiento. Sabiendo entonces que el tipo de luminaria escogida es del tipo abierta, el factor de mantenimiento quedará establecido en 0,89.

1.3.6 Flujo luminoso total requerido (φtot). Teniendo ya definidos los valores de CU, FM y E medio se procede a calcular el flujo luminoso total requerido (φtot) mediante la Ecuación 4:

$$\varphi tot = \frac{500\ lx * (17\ m * 8\ m)}{0{,}74 * 0{,}89} = 103\,249{,}316\ lm$$

1.3.7 Número de luminarias requeridas (N). Teniendo ya calculado el flujo luminoso total requerido y conociendo el flujo luminoso emitido por el tipo lámpara seleccionada, se procede a calcular el número de luminarias requeridas para proveer el flujo luminoso total utilizando la Ecuación 5:

$$N = \frac{103\,249{,}316\ lm}{2\,950\ lm * 2} = 17{,}5\ luminarias$$

Debido a que se trata de un local rectangular el número de luminarias instaladas debe ser par a manera de contribuir con la uniformidad, por lo tanto se tienen dos opciones a escoger: 16 ó 18 luminarias. Normalmente se evalúan en primer lugar las opciones más económicas (16 luminarias en este caso).

1.3.8 Flujo luminoso real (φreal) e Iluminancia promedio (E prom). Luego de conocer la cantidad de luminarias a utilizar se debe calcular el flujo luminoso que éstas emitirán utilizando la Ecuación 6. Como se mencionó en la ***Sección 1.3.7***, se deben evaluar las dos soluciones posibles, 16 ó 18 luminarias:

Para 16 luminarias:

$$\varphi real = 16 * 2 * 2\,950\ lm = 94\,400\ lm$$

Luego con el flujo luminoso real se calcula usando la Ecuación 7 la iluminancia promedio:

$$Eprom = \frac{94\,400\ lm * 0{,}74 * 0{,}89}{17\ m * 8\ m} = 457{,}145\ lx$$

Este valor de iluminancia promedio es aceptable, pues se encuentra dentro del rango establecido y además un poco cerca del valor medio ideal. A continuación se utiliza el mismo procedimiento para evaluar la opción de 18 luminarias:

$$\varphi real = 18 * 2 * 2\,950\ lm = 106\,200\ lm$$

$$Eprom = \frac{106\,200\ lm * 0{,}74 * 0{,}89}{17\ m * 8\ m} = 514{,}289\ lx$$

Este valor de iluminancia promedio es mejor que el obtenido con 16 luminarias, pues su valor está más cerca del valor ideal, pero se debe tener en cuenta que un diseño de un sistema de iluminación no solo debe ser bueno desde el punto de vista técnico, sino también desde el punto de vista económico y energético, por lo tanto se deben escoger 16 luminarias para el diseño, debido a que cumplen con los requisitos de iluminancia promedio y además son más económicas que 18 luminarias. De manera implícita o analítica se debe considerar que la luz solar aportará cierto nivel de iluminancia a la edificación.

1.3.9 Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI). El VEEI de un sistema de iluminación depende principalmente de la eficacia de las lámparas utilizadas, de manera que entre más alta sea la eficacia de éstas, menor será el VEEI obtenido, lo cual es deseado. Para calcularlo se utiliza la Ecuación 8.

$$VEEI = \frac{(32\ W * 2 * 16) * 100\ lx}{17\ m * 8\ m * 457{,}145\ lx} = 1{,}647\ \frac{W}{m^2}\ x\ 100\ lx$$

El taller de montaje estaría localizado en el grupo 1 de la Tabla 5 como “Otros recintos interiores” en el cual el VEEI máximo es 4,5. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto el diseño es eficiente desde el punto de vista energético. Al cumplir los objetivos de iluminancia promedio y el de valor de eficiencia energética de la instalación se puede dar por terminado el diseño.

2. DIALUX.

2.1 DESCRIPCION.

El software DIALux es un programa gratuito que permite realizar diseños de instalaciones de iluminación tanto interior como exterior, está basado y de hecho da la posibilidad de trabajar en conjunto con el software de diseño gráfico AUTOCAD lo cual facilita el proceso de diseño, pues cuando se utiliza ésta opción solo es necesario cargar el diseño de la edificación en el DIALux y sobre este realizar el diseño de la instalación de iluminación. Otras de las aplicaciones más importantes de DIALux consisten en que permite visualizar en gráficos tridimensionales los diagramas polares de la distribución luminosa de las luminarias utilizadas, representa gráficamente por medio de colores y líneas los niveles de iluminancia en la edificación y permite calcular los niveles de deslumbramiento o UGR, etc.

Aunque el software cuenta con muchos parámetros ya establecidos para su funcionamiento, posee la importante característica de incluir diseños o parámetros propios del usuario como por ejemplo, se puede tomar una fotografía de una superficie e incluirla para su uso en el DIALux, de esta manera se puede estar seguro de que los datos obtenidos en la simulación sean lo más cercanos posible a los efectos reales que se presentarán una vez instalado el sistema de iluminación diseñado. También es posible mediante las figuras básicas (cubos, triángulos, cilindros) construir objetos propios y almacenarlos para su uso posterior, o simplemente se puede cargar un objeto tridimensional hecho en AUTOCAD e importarlo a DIALux.

La manera en que DIALux modela sus luminarias y lámparas es a través de catálogos interactivos otorgados por los fabricantes de las mismas; en estos catálogos basta con seleccionar el tipo de aplicación de la instalación, tales como comercial, industrial, residencial o decorativa y aparecerán toda una gama de luminarias disponibles junto con sus datos luminotécnicos. Éstas luminarias se pueden insertar en la edificación bien sea una por una o se puede utilizar uno de los asistentes que posee este programa.

Finalmente cuando el diseño de un sistema de iluminación es terminado el programa se encargará de realizar la correcta organización de todos los aspectos del diseño en forma de documento de formato PDF, son tantos los resultados que entrega que se debe seleccionar de una gran lista los requeridos para la presentación del diseño según el tipo de parámetros medidos, aunque por supuesto algunos resultados son imprescindibles en la presentación del documento final.

2.2 DISEÑO DE INSTALACIONES DE ILUMINACION INTERIOR UTILIZANDO DIALUX.

El software DIALux está dividido en 2 aplicaciones, DIALux light y DIALux Professional. La aplicación Light como su nombre lo indica (liviano o ligero) sirve para el asesoramiento básico en un diseño de iluminación sencillo en cuanto a la simplicidad geométrica de la edificación a iluminar, mientras que la aplicación Professional permite una mejor determinación de los parámetros que definen el diseño de un sistema de iluminación. Aunque ambas aplicaciones sugieren soluciones al momento de determinar el número de luminarias requeridas para proveer una iluminancia promedio, la mejor opción es proponer y simular el resultado obtenido mediante el cálculo manual, ya que en definitiva el propósito de utilizar el software es la facilidad y la rapidez con la que se realizan los cálculos mas no esperar a que el software solucione el problema. Debido a que la aplicación Light es considerada un asistente mas que un software de diseño, el estudio de este proyecto se hará sobre la aplicación Professional.

Para realizar un proyecto utilizando DIALux Professional se cuentan con 3 opciones:

1. Empezar un proyecto nuevo desde cero, en el cual se deben tener en cuenta las características físicas del local tales como escaleras, escalones, plataformas, vigas y columnas, etc. Luego de diseñar el nuevo local con estas características se procede a diseñar el sistema de iluminación sobre este mismo.

2. Crear un proyecto nuevo con el asistente de DIALux en el cual solo se deben especificar las características geométricas del local, además algunas configuraciones geométricas preestablecidas para ciertos tipos de local.

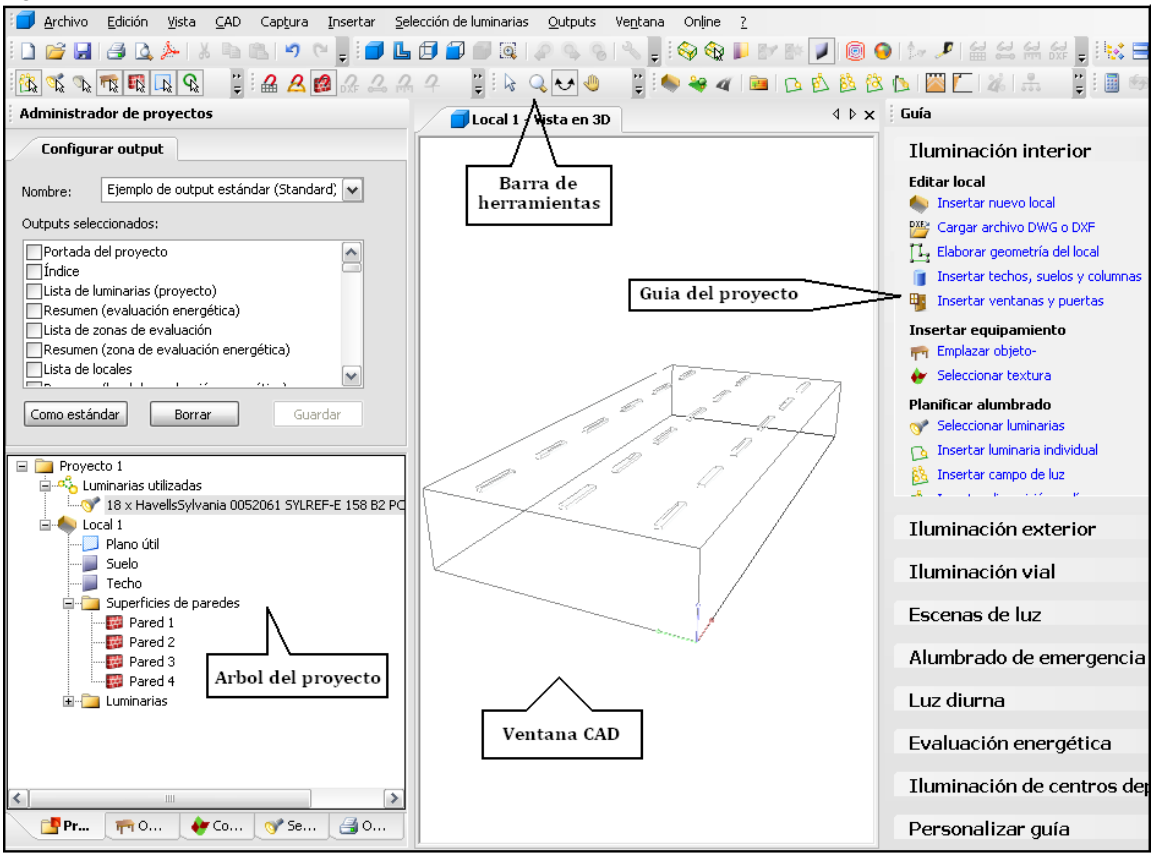
3. Utilizar un plano o edificación diseñado en AUTOCAD y cargarlo en DIALux, y utilizando éste como referencia se crea el nuevo local.

Luego de terminado el diseño, hacer las debidas correcciones y obtenidos todos los datos luminotécnicos del diseño, la información de éstos aspectos y muchos otros será organizada en un documento formato PDF para su impresión y presentación; es decir, no hace falta hacer un trabajo escrito adicional detallando las características del diseño que se acaba de realizar.

2.2.1 Interfaz de DIALux professional. Antes de comenzar con el diseño de una instalación de iluminación utilizando este software, es de suma importancia entender la manera en la que éste entrega la información y la manera en la que se deben ingresar y manipular todo tipo de datos. Para ello, DIALux cuenta con una ventana muy completa con todos los comandos e instrucciones posibles a realizar al momento de crear un nuevo proyecto de iluminación. La interfaz cuenta con

diversos botones y está dividida en cuatro áreas (ver la Figura 7): Ventana CAD, barra de herramientas, administrador de proyectos y guía de proyecto.

Figura 7. Interfaz de DIALux Professional.



2.2.2 Ventana CAD. En este espacio se puede visualizar la edificación, luminarias y otros objetos que se deseen insertar en el proyecto. Es una de las herramientas más necesarias pues permite observar de manera física como está tomando forma la instalación de iluminación que se desea construir. En esta ventana se pueden realizar todo tipo de modificaciones al local y es la primera fuente de información que se tiene sobre el proyecto y se puede visualizar ya sea en 3D o en 2D.

La principal herramienta para manipular la ventana CAD es el ratón, con el ratón se puede hacer rotar el local, moverlo, utilizar el zoom o desplazarse a través de él. En el botón central del ratón se dispone de la función “PAN” o “Mover”. También está disponible la función “Zoom” en la ruedecita de los Wheel-Mouse. El botón derecho del ratón es muy importante para el trabajo con DIALux, pues dispone de importantes funciones según el objeto, modo de programa o área de trabajo seleccionados. Además, es posible mover, modificar la escala, girar y seleccionar los objetos disponibles en el local.

2.2.3 Barra de herramientas. Como en todo software de cualquier tipo de aplicación existe una barra en la parte superior de la pantalla, la cual como su nombre lo indica contiene diversos tipos de opciones y aplicaciones que se pueden activar o desactivar en cualquier momento durante el proceso de diseño. A continuación se presentan algunos elementos básicos de la barra de herramientas.

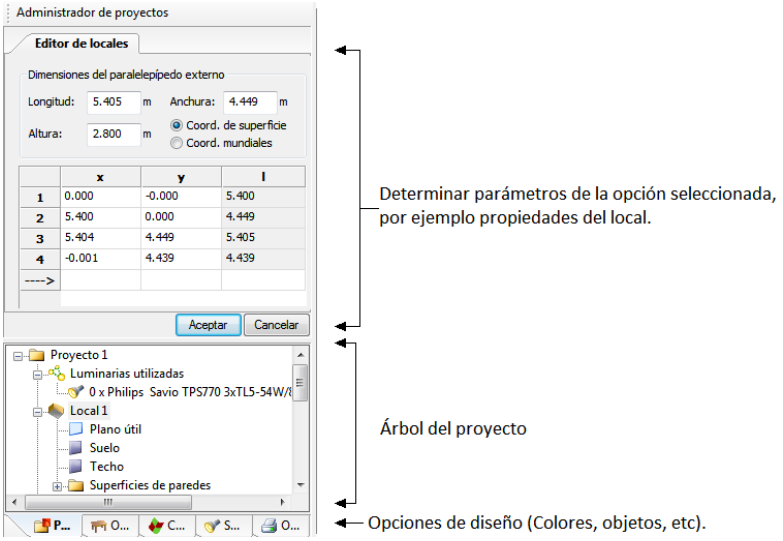
Tabla 7. Componentes básicos de la barra de herramientas.

Símbolo	Nombre	Función
	Vista estándar 3D	Sirve para visualizar el local y todos los elementos ubicados en él, en 3D.
	Vista planta	Permite visualizar en 2D la planta del local; es decir, visto desde arriba.
	Vista lateral	Permite visualizar en 2D, el alto y el largo del local.
	Vista frontal	Permite visualizar en 2D, el alto y el ancho del local.
	Distribución luminosa	Representa en 3D la distribución luminosa de las luminarias.
	Isolíneas	Muestra en la ventana CAD las isolíneas de las iluminancias.
	Cinta métrica	Permite conocer las dimensiones de los distintos objetos del local y del mismo.
	Flecha	Activa la selección de objetos y superficies.
	Lupa	Amplía y disminuye la vista de la ventana CAD.
	Rotar vista	Permite rotar el local en cualquier dirección.
	Mover vista	Permite desplazar el local.
	Iniciar cálculos	Permite iniciar los cálculos luminotécnicos del diseño.

Básicamente la barra de herramientas permite entonces modificar la manera en la que se percibe el entorno mostrado en la ventana CAD; es decir, no altera los parámetros o variables del diseño.

2.2.4 Administrador de proyectos. Esta parte de la interfaz se encarga de presentar de manera completa y ordenada todos los aspectos a definir sobre el proyecto tales como dimensiones del local, tipo de luminaria a emplear, colores y texturas de suelos, paredes y techo, objetos a introducir etc.

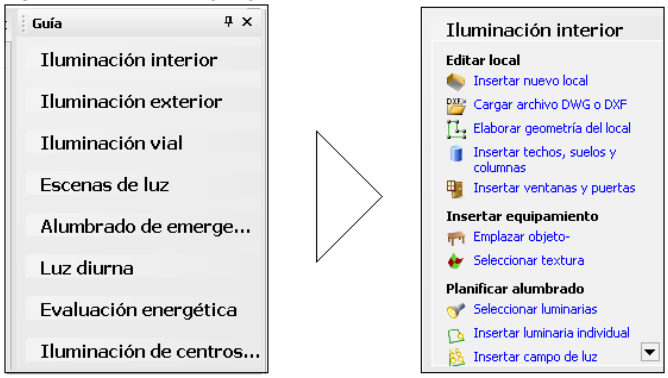
Figura 8. Administrador del proyecto.



Esta parte de la interfaz muestra todos los aspectos que se deben definir para realizar el diseño de la instalación de iluminación adecuadamente. Para manipularlo se debe seleccionar una de las opciones del diseño, automáticamente se desplegará el árbol de opciones de dicha opción, una vez seleccionada una de las ramas del árbol, aparecerá en la parte superior las opciones y las características a modificar de dicha rama.

2.2.5 Guía del proyecto. Esta guía sirve para cualquier tipo de diseño que se esté realizando, ya sea interior o exterior y otras aplicaciones..

Figura 9. Guía del proyecto.



Al seleccionar la opción “Iluminación Interior” aparecerán una lista correspondiente a las opciones con que se cuentan al momento de estar trabajando en el diseño de una instalación de iluminación interior, esta lista incluye botones de la barra de herramientas y opciones del administrador de proyectos.

2.2.6 Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior usando DIALux professional. La metodología empleada para diseñar sistemas de iluminación con el DIALux será la siguiente.

1. Conocer el tipo de recinto y la actividad que se va a realizar allí y además el tipo de instalación de iluminación (general, local, decorativa, etc.)

2. Especificar todo lo relacionado al proyecto en el administrador del proyecto, por ejemplo nombre del proyecto y del diseñador, factor de mantenimiento, etc.

3. Construir la edificación incluyendo en esta todos sus atributos arquitectónicos tales como ventanas, vigas, columnas, etc.

4. Aplicar colores y texturas a las superficies del local ya sea usando las que se incluyen en el software o importar nuevas texturas (Recomendado).

5. Insertar los objetos correspondientes al tipo de local para así representar de la mejor manera la edificación real, si bien este paso no es obligatorio, es aconsejable realizarlo.

6. Por medio de los catálogos instalados en el DIALux, se selecciona el tipo de luminaria a emplear.

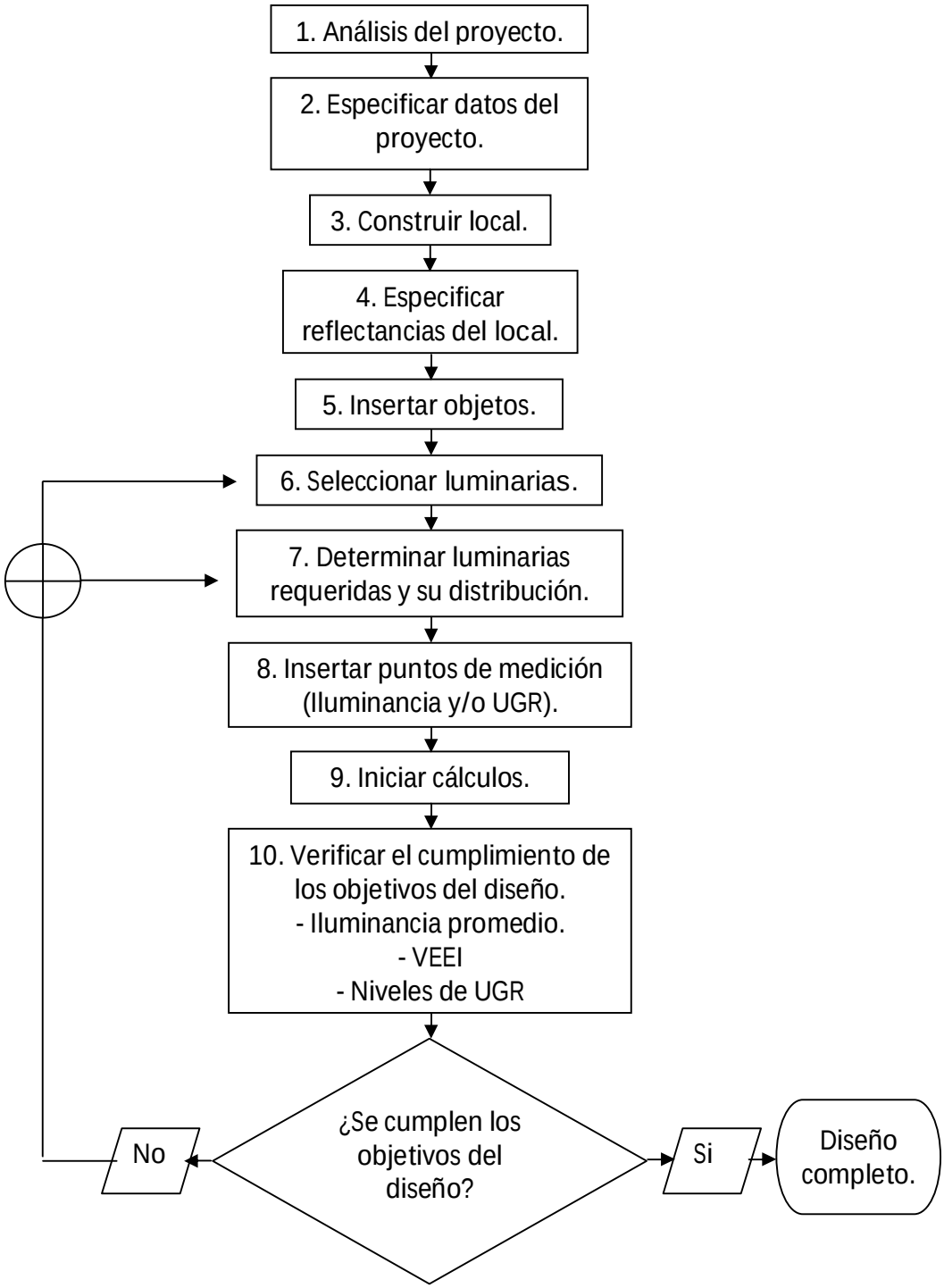
7. Se recomienda utilizar el método matemático visto en la ***Sección 1.2,*** para determinar las luminarias requeridas, aunque es posible utilizar los asistentes del DIALux para hacerlo. Luego de manera manual o por medio de los asistentes se ubican éstas en el local.

8. El software calculará por defecto la iluminancia promedio en todo el local y el VEEI, en caso de que se requieran realizar mediciones adicionales de iluminancia o deslumbramiento, se deberán insertar los puntos de medida disponibles en la opción “Objetos” >> “Puntos de calculo” del administrador de proyectos.

9. Se da inicio a los cálculos y terminados éstos se verifica el cumplimiento de los objetivos esenciales del diseño, los cuales son: Iluminancia promedio y el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI.

10. En caso de que no se cumpla alguno de los objetivos, se debe retomar el diseño desde el numeral 6 ó 7 según la gravedad del caso; es decir, si la solución del problema consiste solo en la reubicación de las luminarias, seleccionar otro tipo de luminarias o calcular nuevamente el número de luminarias requeridas.

Figura 10. Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación utilizando DIALux.



2.3 CREACION DE PROYECTOS

Como se mencionó en la ***sección 2.2*** existen tres maneras de elaborar un diseño de iluminación interior; para una mejor comprensión de la metodología empleada en el diseño de sistemas de iluminación utilizando éste software se empezará desde cero el ejemplo del taller de ensamble de motores visto en la ***sección 1.3*** Para hacerlo se seguirán los pasos descritos en algoritmo visto en la ***sección 2.2.6,*** luego de ejecutar el DIALux Professional aparecerá la siguiente pantalla de bienvenida.

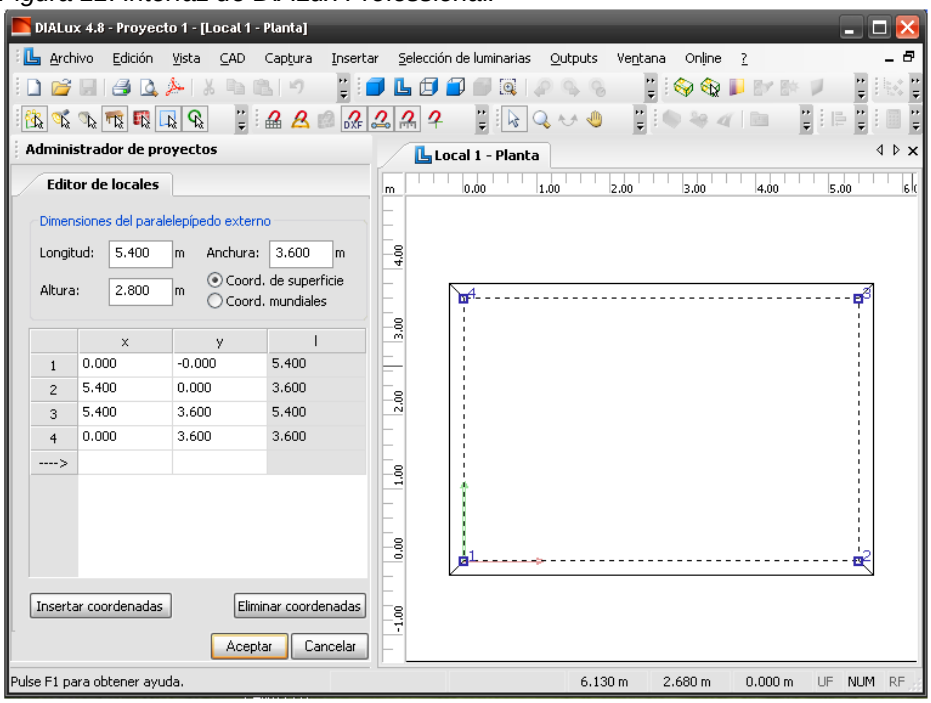
Figura 10. Pantalla de bienvenida DIALux Proffessional.

2.3.1 Análisis del proyecto. Dado que se trata del mismo ejemplo del taller de ensamble esta sección ya se desarrolló en la ***sección 1.3.***

2.3.2 Especificar datos del proyecto. Luego de seleccionar "Nuevo proyecto interior" aparecerá la interfaz vista en la ***sección 2.2.1*** y en el "Administrador de proyectos" se ubican los siguientes datos:

Nombre;	Ejemplo
Descripción:	Taller de ensamble de motores pequeños.
Altura:	3 m
Ancho:	8 m
Longitud;	17 m
Factor de mantenimiento:	0,89.

Figura 11. Interfaz de DIALux Professional.



2.3.3 Construir local. Aunque se hayan especificado las dimensiones del local, aun hace falta la complementación de éste mediante la inserción de columnas, vigas y ventanas. Para insertar este tipo de elementos primero se debe dar clic en "Aceptar", luego de haber especificado las dimensiones del local. Después de haberse generado el local se continúa con la segunda opción del árbol del proyecto "Objetos" y allí aparecerán las siguientes aplicaciones:

Figura estándar: Brinda la posibilidad de insertar figuras estándar ya sea para decorar el ambiente o crear con ellas mesas, sillas y prácticamente cualquier otro tipo de elemento.

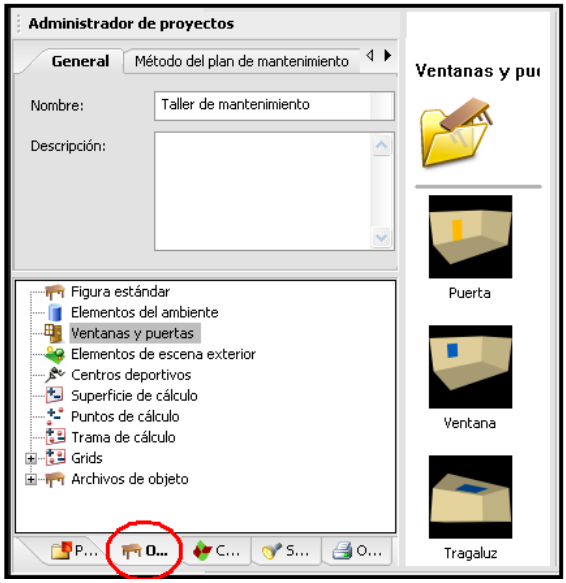
Elementos de ambiente: Sirve para insertar elementos complementarios a la construcción, tales como vigas, columnas, cúpulas etc.

Ventanas y puertas: Inserta ventanas y puertas.

Superficie de cálculo: Inserta planos imaginarios para calcular iluminancia, niveles de deslumbramiento etc.

Archivos de objeto: En esta sección se encuentran todos los elementos prediseñados a insertar en el local tales como sillas, camas, vitrinas, personas, elementos de oficina, armarios, etc.

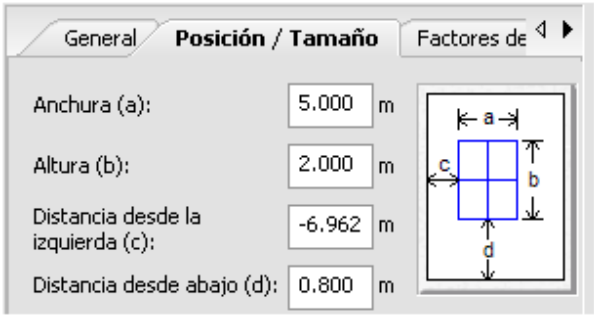
Figura 12. Selección de objetos.



Para este caso se insertarán dos ventanas a lo largo del local de 2 m de alto x 5 m ancho y 2,98 m de espacio entre ellas, en éste espacio se ubicará una columna de 1 m de longitud, 50 cm de ancho y 3 m de alto.

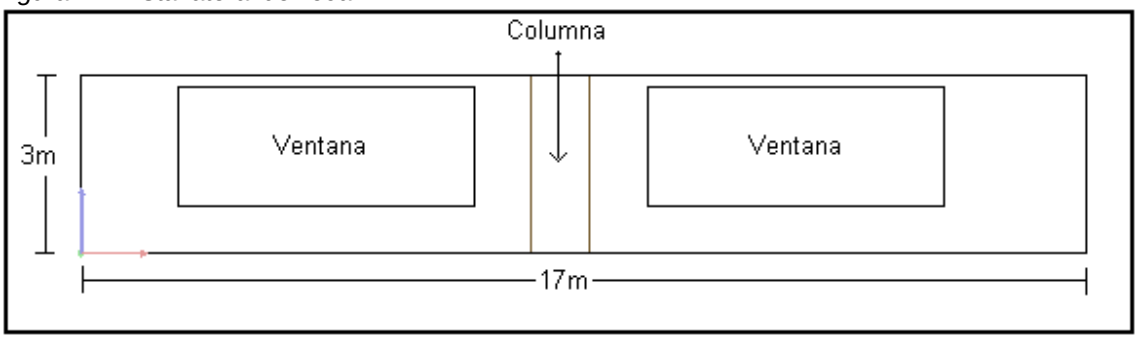
Para insertar ventanas se hace clic en la pestaña “ventanas y puertas” y a la derecha del árbol del proyecto aparecerán los posibles objetos a insertar, luego manteniendo presionado el clic izquierdo sobre la ilustración “ventana” se arrastra hacia la pared del local sobre la cual se desea insertar la ventana. Después de insertar la ventana se selecciona y en la parte superior del árbol del proyecto aparecerán las características de ésta y se procede a modificarlas según las indicaciones anteriormente especificadas.

Figura 13. Especificación de datos.



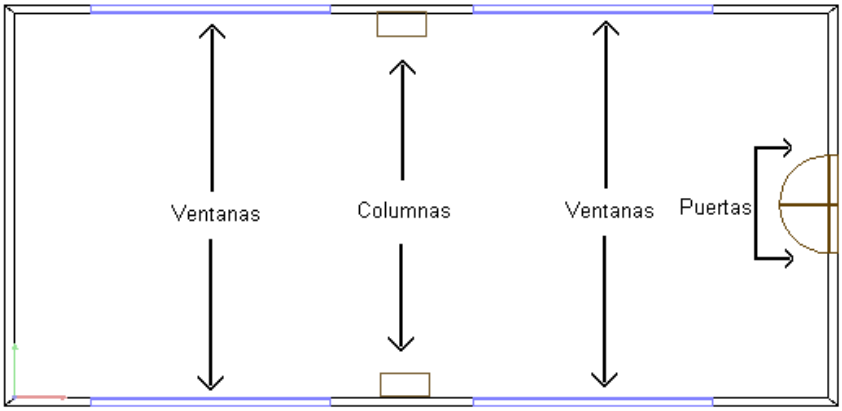
Luego de especificar las dimensiones de la ventana se procede a ubicarla bien sea de manera manual o especificando las distancias C y D de la Figura 13, luego se oprime clic derecho sobre la ventana y se accionan las opciones “copiar” y “pegar” para obtener la segunda ventana. Ahora se ubica la primera ventana a 1,63 m de una de las paredes y la otra a 2,4 m de la otra pared. Después de haber hecho esto se selecciona la pestaña “Elementos de ambiente” y luego de la misma manera, se selecciona e inserta una columna rectangular; luego de insertarla se repite el procedimiento de modificar las dimensiones de la columna y se ubica entre las dos ventanas. Finalizado esto el taller debería verse así desde la vista lateral.

Figura 14. Vista lateral del local.



Luego se realiza el mismo proceso al otro lado de la pared. Por último se procede a ubicar una puerta doble en una de las paredes de 8 m. Para hacerlo se realiza el mismo proceso con el cual se insertó la ventana, solo que esta vez se selecciona la puerta. Finalmente la planta del taller debería verse así:

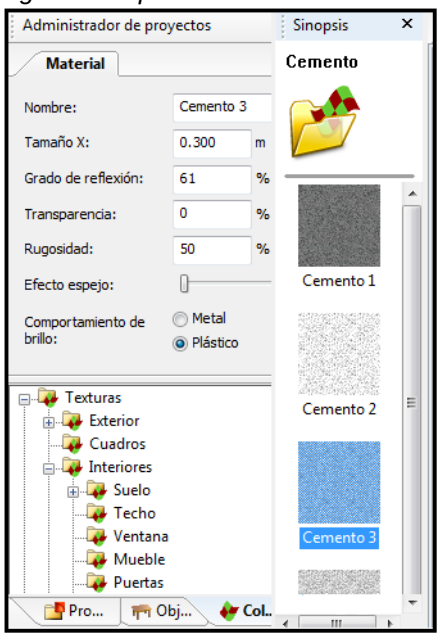
Figura 15. Vista planta del local terminado.



2.3.4 Especificar reflectancias del local. La aplicación de colores o texturas y por ende la asignación de un valor de reflectancia a cada superficie se hace mediante la opción “Colores” del administrador de proyectos, una vez allí se ubica el color o la textura a emplear y se aplica manteniendo presionado clic izquierdo

sobre ella y se arrastra hacia la superficie que se desee colorear. Si bien las texturas tendrán un valor de reflectancia predeterminado, éste se puede modificar en cualquier momento.

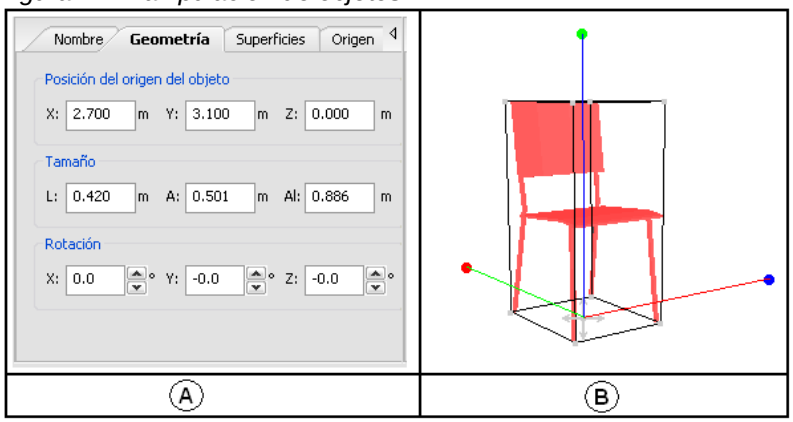
Figura 16. Aplicación de texturas.



Las reflectancias del techo y las paredes es 73% y la del piso es 25%, así que simplemente se aplican las texturas disponibles y se les asigna el valor de reflectancia.

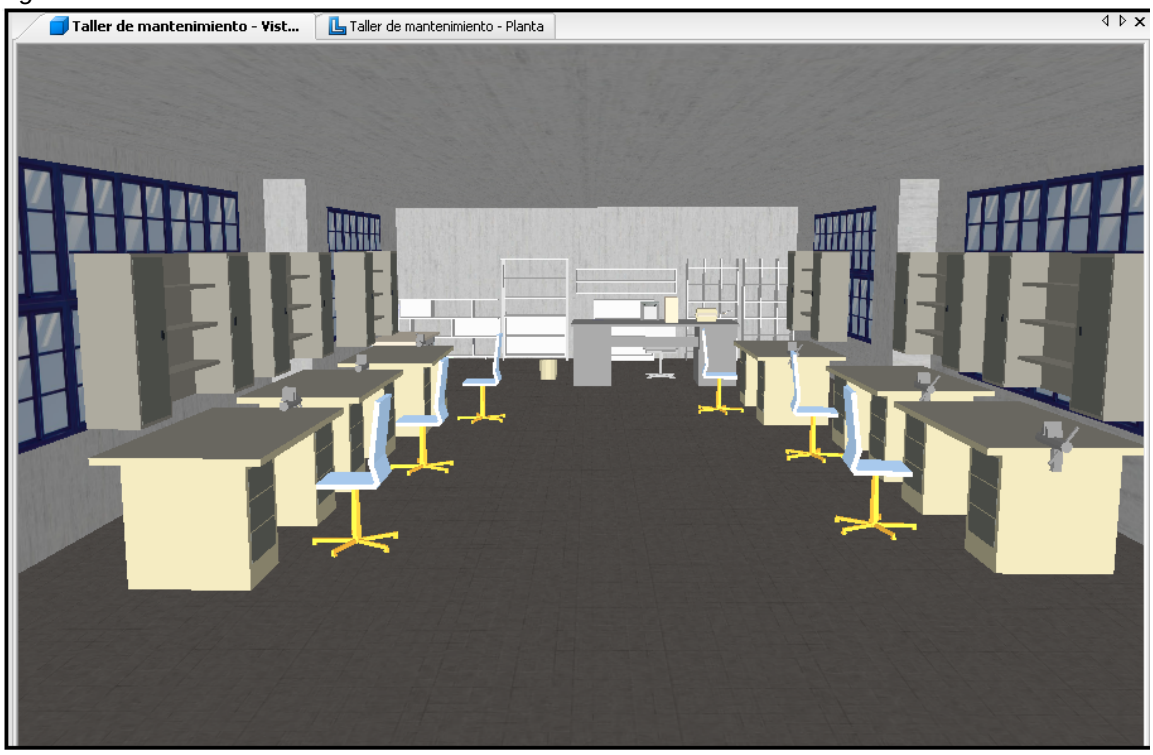
2.3.5 Insertar objetos. Los elementos se insertan de la misma manera en la que se aplican colores a las superficies, manteniendo presionado clic izquierdo sobre ellos y arrastrándolos al local.

Figura 17. Manipulación de objetos.



Luego de insertar un objeto al local, éste aparecerá de color rojo lo cual indica que está actualmente seleccionado, alrededor de éste aparecerán 3 ejes de coordenadas (Parte B, Figura 17), los cuales permitirán girar el objeto respecto a cualquiera de ellos. Además aparecerá una cruz gris la cual al mantener clic izquierdo presionado sobre ella permitirá mover el objeto a lo largo de los ejes **X** y **Y** del local, para desplazarlo en el eje **Z** se debe especificar ésta posición en la parte superior del administrador, en la cual también es posible modificar las dimensiones y la rotación del objeto en esta ventana (Parte A, Figura 17). De esta manera se insertan en el local todo tipo de objetos correspondientes a su aplicación tales como bancos de trabajo, estanterías, sillas, etc. Al finalizar este proceso, el taller de ensamble de motores podría verse así:

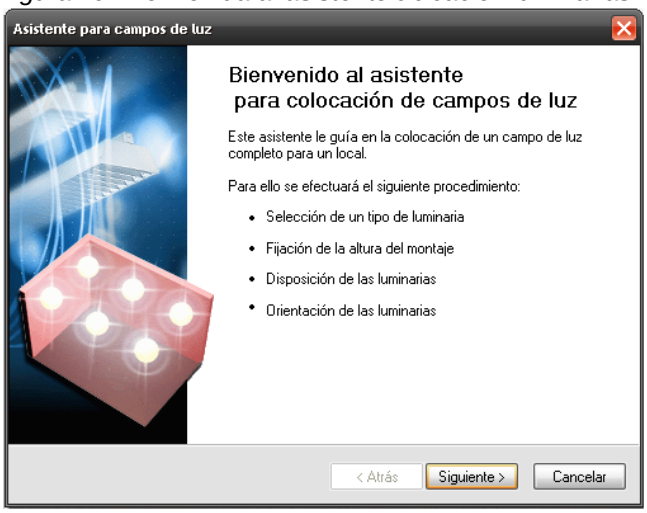
Figura 18. Taller de ensamble terminado.



2.3.6 Seleccionar luminarias. Ahora que se tiene el local finalmente terminado se procede a seleccionar el tipo de luminarias e insertarlas en el local. Para hacer esto se pueden seleccionar las luminarias e insertarlas manualmente en el local, el número de éstas, ubicación, cantidad requerida e iluminancia promedio resultante dependerán totalmente del diseñador y de sus cálculos manuales. También se pueden utilizar los asistentes de ubicación de luminarias los cuales determinan de manera automática el número de luminarias requeridas para producir la iluminancia promedio deseada.

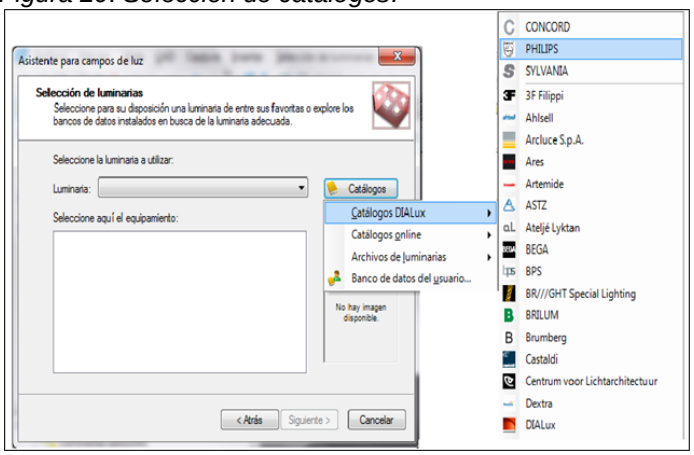
Debido a que el local rectangular es el estándar en este software, conviene en este caso utilizar el asistente de disposición de luminarias. Para acceder a este asistente se selecciona en la Barra de herramientas: “Insertar” >> “Disposición de luminarias” >> “Asistentes para luminarias” >> “Disposición en cuadro”.

Figura 19. Bienvenida al asistente ubicación luminarias.



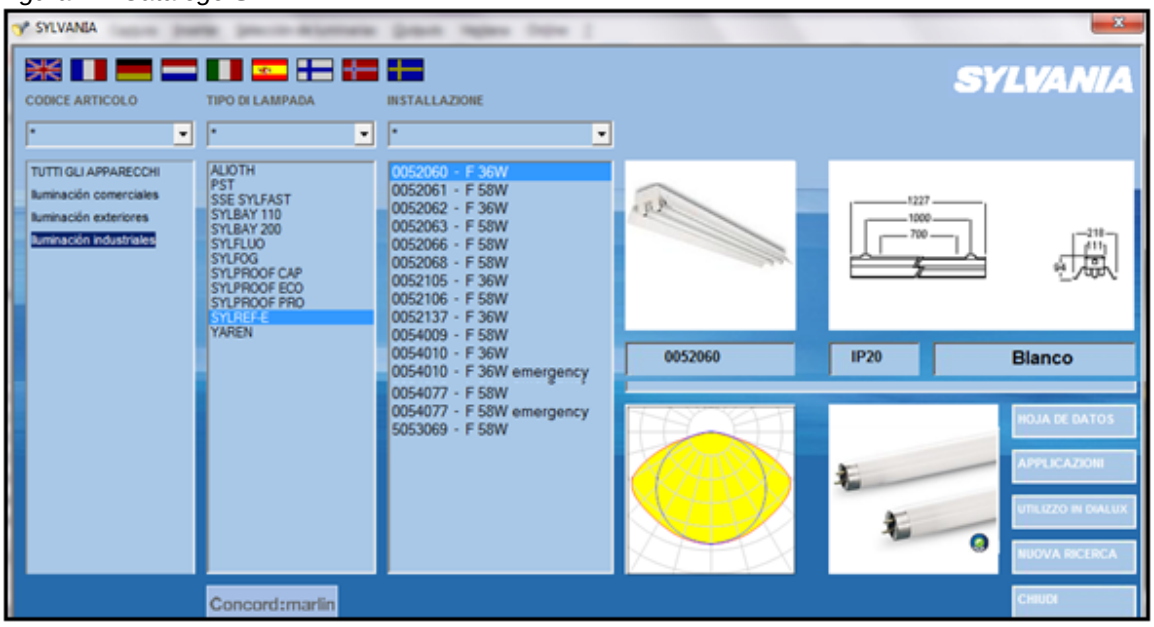
En la Figura 19 se aprecian las características de colocación de campo de luz para el local y cuatro procedimientos que se deben efectuar para finalizar este proceso. Luego de dar clic en “Siguiente” y aparecerá la pantalla que se muestra en la Figura 20, en ésta se debe seleccionar la luminaria a utilizar dando clic en “Catálogos” y luego se selecciona el catalogo del fabricante que se a de utilizar, para este caso se utilizará el catálogo de Sylvania.

Figura 20. Selección de catálogos.



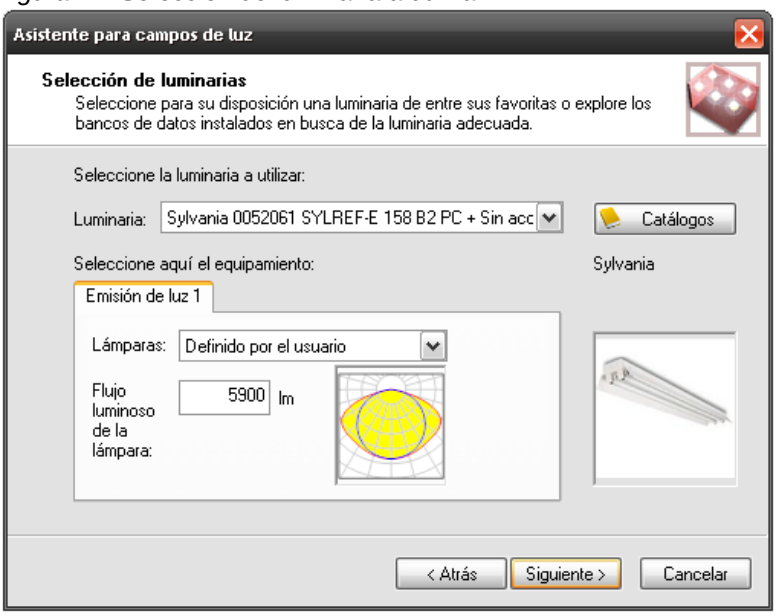
A continuación se abre el catálogo de Sylvania y se procede a buscar la luminaria que más se asemeje a la del diseño, al encontrarla se da clic en “Utilizar en DIALux” o “Exportar”.

Figura 21. Catálogo SILVANIA.



Ahora en la ventana de DIALux aparece toda la información de la luminaria, tales como el nombre de la luminaria, marca, flujo luminoso, aunque éste se puede modificar de acuerdo al tipo de lámpara a utilizar y además se puede observar su diagrama polar de distribución luminosa.

Figura 22. Selección de luminaria a utilizar.



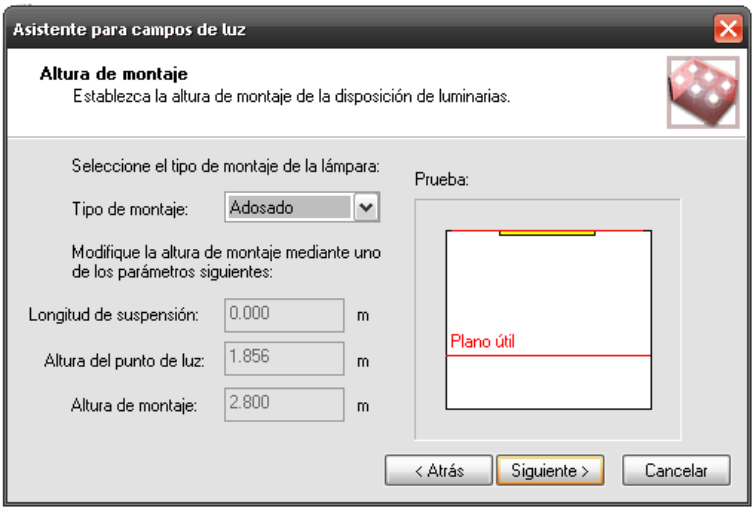
Ahora en la siguiente etapa se debe seleccionar la altura de montaje de las luminarias, hay dos tipos de montajes.

- Adosado a la pared: Consiste en sujetar la luminaria directamente al techo.

- Definido por el usuario: Esta opción se presenta en caso de que la luminaria esté suspendida por alguna estructura adicional como andamios o cables. Como se aprecia en la Figura 23, al realizar cambios en la altura de montaje, aparecerá representado en el diagrama en la parte derecha.

Para este ejemplo se utilizará el tipo de montaje adosado al techo. Después de realizar los ajustes se da clic en “Siguiente”.

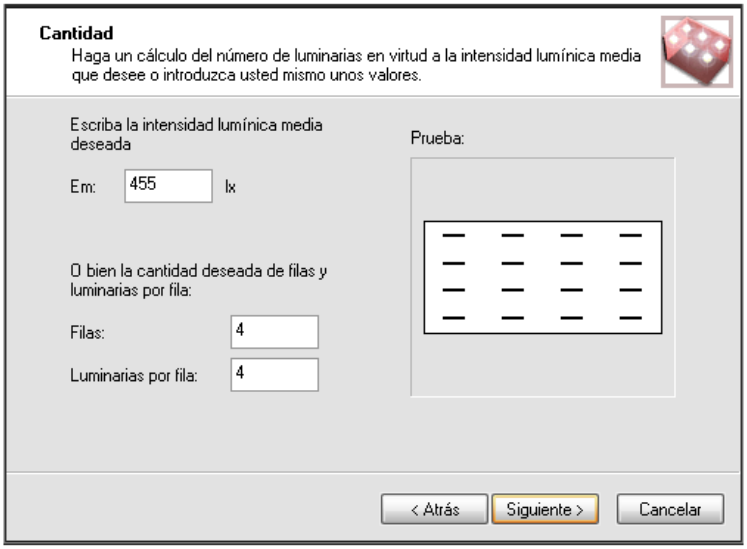
Figura 23. Selección altura de luminarias.



2.3.7 Determinar el número de luminarias requeridas y su disposición. Para determinar el número de luminarias utilizando el asistente se cuentan con 2 opciones, primero como se observa en la Figura 24, se escribe el valor de iluminancia promedio deseada y en el diagrama de la derecha el software propondrá una solución. La otra manera de hacerlo es especificar el número de filas y de luminarias por fila y así el software determinará la iluminancia promedio obtenida con esa configuración.

El número de luminarias requeridas para este diseño ya se calcularon en la ***sección 1.3*** y el resultado que se obtuvo fue de 16 luminarias, así que se insertaran 4 filas y 4 luminarias por fila. De manera automática también se establecerá la disposición de las luminarias ya que se está usando el asistente, de lo contrario, se debería hacer manualmente.

Figura 24. Selección de número y disposición de luminarias.



Al terminar este paso, el asistente solicitará la confirmación de finalizar el proceso y cerrar el asistente. Finalmente el local quedará así:

Figura 25. Diseño de instalación de iluminación terminado.

De esta manera se finaliza el diseño de la instalación de iluminación del local, lo cual implica un 80% del trabajo total a realizar. El resto de trabajo se dedica a la adecuación del diseño en caso de presentarse errores o inconformidades con los resultados obtenidos.

2.3.8 Cálculos luminotécnicos. La razón principal para utilizar DIALux como software de diseño es la facilidad con la que se cuenta al momento de realizar múltiples cálculos, ya sean definitivos o de prueba. Por ejemplo, cuando se diseña la instalación de iluminación a un local siempre habrá mucha incertidumbre acerca de si quedó bien diseñada tomando como base el tipo de lámpara utilizada, la disposición de las luminarias, la cantidad de luminarias utilizadas, etc. La rapidez y facilidad con la que se modifican estos y otros aspectos del diseño hacen que el diseño asistido por computadora sea la mejor opción. Para que cualquier software de iluminación pueda utilizarse en el diseño de un sistema de iluminación debe cumplir con los siguientes requisitos y características establecidos por el RETILAP, [1].

• El software debe permitir ingresar la información fotométrica de las fuentes en las coordenadas establecidas, [1].

• Deberá disponer de rutinas de ingreso para la información del diseño geométrico. De la misma forma deberá permitir ingresar la información relacionada con la identificación del objeto de diseño y del diseñador.

• Las unidades de medida para los datos a ingresar al software y las de los resultados deben ser claramente identificables, seleccionables y visibles.

• Las rutinas de entrada de datos deben permitir la identificación y/o selección de los parámetros a los cuales corresponde la información en cada instante ingresada, tales como: tipo de coordenadas de la fotometría empleada, altura de montaje e inclinación de la luminaria, distancias entre luminarias, posiciones relativas de las luminarias respecto del local, vía o espacio a iluminar, posiciones de las mallas de cálculo y del observador, condiciones ambientales, tipos de superficies e índices de reflexión asociados.

• El software debe permitir efectuar la partición de fuentes lineales y extensas, así como de las superficies con el objeto de disponer de cálculos más exactos y precisos que los realizados considerando únicamente fuentes puntuales y despreciando los efectos de reflexiones y formas de las superficies.

• El software debe permitir identificar las normas internacionales o de reconocimiento internacional usadas en sus algoritmos de cálculo, tales como (CIE, IESNA., NTC, ANSI, etc.).

• En el caso de software para el diseño de alumbrado público debe validarse ante organismo o laboratorio acreditado respecto del cumplimiento de los requisitos de mallas de cálculo y posiciones del observador dadas en el presente reglamento, así como sobre la asociación del factor de

mantenimiento con las condiciones ambientales y el grado de protección de la luminaria presentes o usadas en la instalación.

• El software de diseño interior deberá efectuar los cálculos de iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, eficiencia energética. Se podrá usar un software independiente para Calcular el Coeficiente de Contribución de Luz Día - CLD a la instalación.

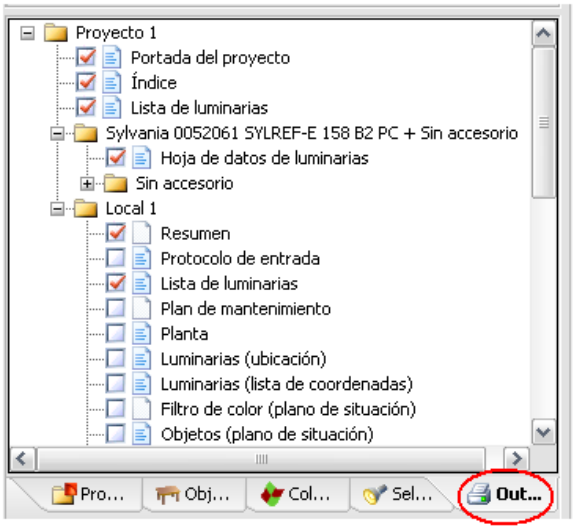
Los diseños de iluminación basados en software deben ser consistentes con los realizados con software reconocido o certificado por laboratorios de iluminación acreditados y el error entre los resultados del diseño hecho con uno y otro no puede ser mayor de 5%. Los datos resultantes del diseño no pueden diferir en más del 5% para el caso de **iluminancia** y del 10% para el caso de **luminancia**, respecto de los valores medidos del sistema de iluminación en funcionamiento. El software DIALux cumple con todos estos requisitos, y cabe resaltar que la norma internacional que sigue es la CIE (Comisión internacional de iluminación).

Retomando el ejercicio del taller, después de determinar todos los aspectos físicos y geométricos, así como objetos, colores, texturas, las luminarias a utilizar y su disposición, se procede a iniciar los cálculos presionando el botón de la barra de tareas “Iniciar cálculo”.

Figura 26. Local simulado.

Luego de terminada la simulación, los resultados también llamados ***Outputs***, estarán disponibles en el árbol del proyecto en la sección de “Opciones” para ser analizados. Estos resultados contienen toda la información referente al diseño realizado.

Figura 27. Outputs del proyecto.



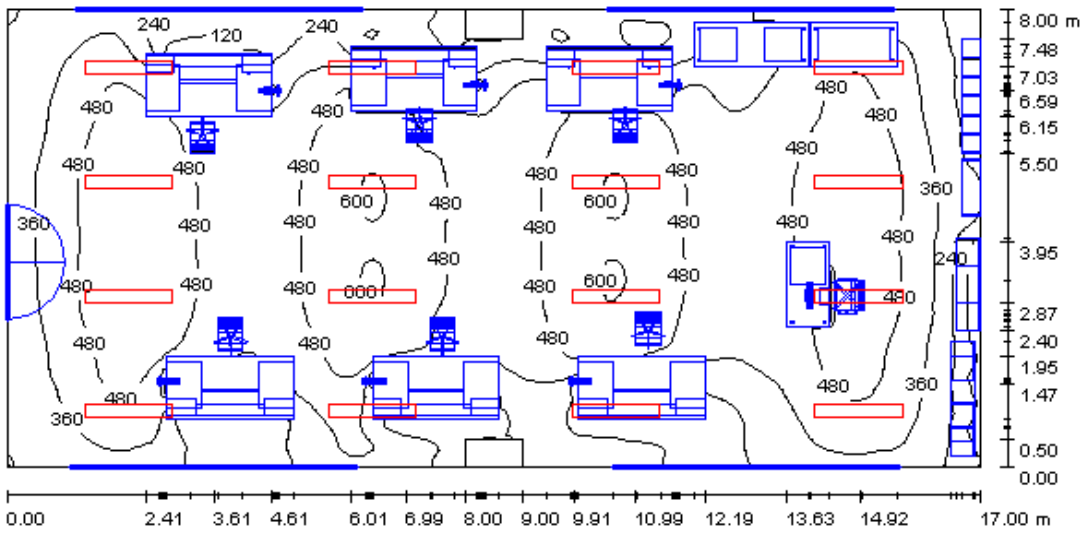
Allí se pueden observar todos los aspectos y resultados que se obtuvieron en el diseño; sin embargo, como se puede apreciar no todos son necesarios para el informe final y algunos no fueron calculados debido a las condiciones del diseño. Por lo tanto no es necesario escogerlos todos, sino únicamente los que aporten información relevante sobre el diseño. Los básicos a tener en cuenta son:

- Portada del proyecto.
- Índice.
- Lista de luminarias.
- Hojas de datos de luminarias.
- Resumen.
- Lista de luminarias.
- Luminarias (Lista de coordenadas).
- Resultados luminotécnicos.

De haberse insertado puntos de cálculo, también deberían estar incluidos los resultados obtenidos. En la Figura 28 se muestra la hoja de “Resumen” la cual como lo indica su nombre contiene información de casi todos los aspectos del diseño tales como niveles de iluminancia en paredes, techo, suelo y plano útil, luminaria utilizada, flujo luminoso total, potencia total (W), valor de eficiencia energética de la instalación, etc.

Figura 28. Hoja de Resumen del proyecto.

Local 1 / Resumen



Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.89

Valores en Lux, Escala 1:122

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	406	50	610	0.124
Suelo	31	295	29	483	0.097
Techo	61	102	71	154	0.697
Paredes (6)	61	189	22	612	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 128 x 128 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	16	Sylvania 0052061 SYLREF-E 158 B2 PC + Sin accesorio (Tipo 1)* (1.000)	5900	67.0
		Total:	94400	1072.0

*Especificaciones técnicas modificadas

Valor de eficiencia energética: 7.88 W/m² = 1.94 W/m²/100 lx (Base: 136.00 m²)

En la hoja de resumen (Figura 28) se aprecia que el valor de iluminancia promedio obtenido fue de 406 lx, y el VEEI es de 1,94 W/m^2 x 100 lx. Si bien estos valores son aceptables, son un poco diferentes a los obtenidos en la ***sección 1.3*** esto se debe a que los objetos insertados en el local bloquean la luz emitida hacia otros lugares, como por ejemplo el suelo, esto altera levemente la iluminancia promedio. Por esto siempre es mejor simular de la manera más acertada todos los aspectos del local. Dado que los valores obtenidos son aceptables, se considera el diseño de este sistema de iluminación terminado.

2.3.9 Puntos de cálculo. El DIALux cuenta con la opción de insertar puntos o superficies de cálculo que permiten medir parámetros tales como iluminancia, niveles de UGR, etc. Para insertar los puntos de cálculo se selecciona la opción "Objetos" >> "Puntos de cálculo". Allí estarán disponibles las siguientes opciones:

Punto de cálculo horizontal: Permite insertar un punto para medir la iluminancia en ésa ubicación, como su nombre lo indica, de manera horizontal o perpendicular referente al plano útil. Se utiliza para realizar mediciones de iluminancia en mesas, bancos de trabajo, etc.

Punto de cálculo vertical: Permite insertar un punto para medir la iluminancia en ésa ubicación, como su nombre lo indica, de manera vertical o paralela referente al plano útil. Se utiliza para realizar mediciones de iluminancia en tableros, paredes, etc.

Punto de cálculo libre: Consiste de un punto de cálculo aleatorio que al igual que los otros dos se puede modificar su posición también permite modificar el ángulo al que apunta o está el lugar donde se desea realizar la medición.

Punto de cálculo UGR: Sirve para insertar un vector cuya "cola" actúa como el ojo de la persona observadora y mide el nivel de UGR visto por dicha persona en la dirección que apunta la "cabeza" del vector.

Debido a que en este ejemplo solo se requiere calcular la iluminancia promedio en todo el recinto y el VEEI, no fue necesario insertar puntos de medida ya que el software calculará estos valores automáticamente. Para exponer la manera en la que se insertan estos puntos de medida se utilizará el siguiente local con las siguientes características:

Dimensiones:	3 m Alto, 3 m Ancho, 3 m Alto
Lámpara:	Fluorescente T8
Potencia por lámpara:	32 W
Flujo luminoso por lámpara:	2 950 lm

Colores y texturas de paredes, techo y suelo a gusto.

En éste local se insertará una mesa y una persona para hacer mediciones de nivel de iluminancia y de deslumbramiento. Ahora lo que se debe hacer es insertar un punto de cálculo horizontal sobre la mesa y darle cualquier nombre que se desee, el punto de cálculo de UGR se insertará a la altura del punto de vista de la persona, pues éste actuará como sus ojos y permitirá conocer el nivel de deslumbramiento que percibe esta persona. El deslumbramiento es un elemento clave de un diseño de iluminación, pues un nivel bajo de éste garantiza la conformidad que experimentarán los usuarios de la instalación de iluminación.

Figura 29. Puntos de cálculo.

Al terminar de insertar los puntos de medida se da inicio a los cálculos y al terminar éstos, se selecciona la opción ***Outputs*** y se ubican las hojas: “Puntos de cálculo (Sumario de resultados)” y “Observador UGR (Sumario de resultados)”. Los resultados de ambas páginas se resumen en la siguiente figura:

Figura 30. Resultados luminotécnicos de los puntos de cálculo.

Listado de puntos de cálculo

N°	Designación	Tipo	Posición [m] X	Posición [m] Y	Posición [m] Z	Rotación [°] X	Rotación [°] Y	Rotación [°] Z	Valor [lx]
1	Punto de cálculo horizontal 1	horizontal, plan	2.200	2.300	0.710	0.0	0.0	0.0	348

Lista de puntos de cálculo UGR

N°	Designación	Posición [m] X	Posición [m] Y	Posición [m] Z	Dirección visual [°]	Valor
1	Punto de cálculo UGR 1	4.300	2.100	1.740	180.0	26

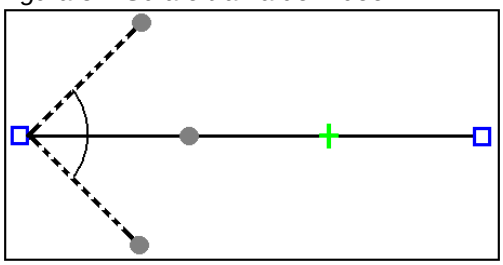
En la Figura 30 se aprecian los resultados de medida obtenidos y corresponden a 348 lx y 26 como nivel de deslumbramiento.

2.4 CREACION DE VIDEOS

Una de las características más importantes con las que cuenta DIALux Professional es que permite la creación de presentaciones en forma de video, con las cuales se puede visualizar el diseño de la instalación de iluminación que se acaba de desarrollar para así examinar los posibles efectos que producirá la instalación real.

Para crear un video solo se debe tener el local y su instalación de iluminación ya diseñada. Luego se busca en la barra de herramientas el botón "Crear video" y aparecerá la trama que se muestra en la Figura 31, la cual solo se puede modificar estando la vista 3D activada.

Figura 31. Guía o trama del video.



La trama consiste en una línea recta la cual indica el trayecto de la presentación, contiene 4 elementos que indican puntos de partida, llegada, dirección de observación, etc. Para crear el video o la presentación de manera adecuada, se debe desarrollar un buen manejo de cada uno de los elementos de la trama, los cuales se explican a continuación.

- **Punto objetivo:** Habrá uno de estos en cada extremo de la trama o guía del video y también entre dichos extremos. En los extremos representan el inicio y el final del recorrido, mientras que en el centro indican puntos o sectores que se visitarán antes de llegar al otro extremo de la trama. Se representa por el cuadrado azul.

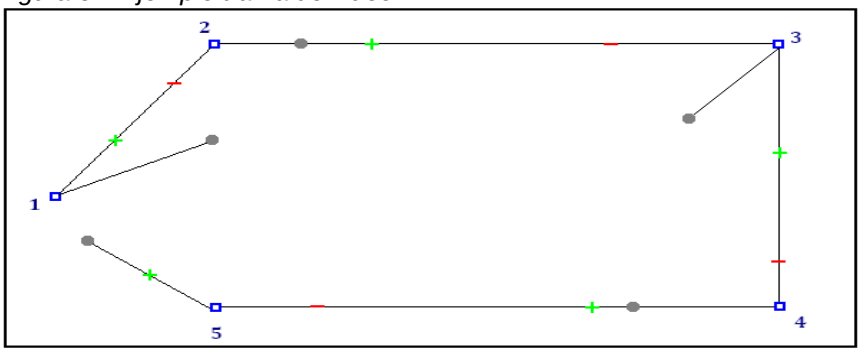
- **Punto de observación:** Siempre se encuentra después de un punto objetivo e indica la dirección a la cual se estará observando a medida que se avance a lo largo de la trama hasta llegar a un nuevo punto objetivo. Está representado por un círculo gris.

- **Adicionar punto objetivo:** Como su nombre lo indica sirve para incluir otro punto objetivo en la trama o guía del video. Se representa por una cruz verde.

- **Eliminar punto objetivo:** Sirve para eliminar un punto objetivo indeseado, se representa por un símbolo de menos (-) de color rojo.

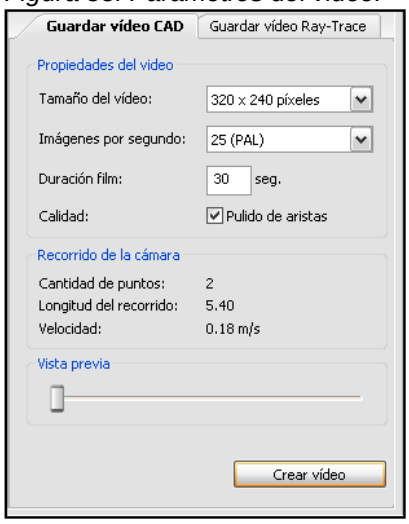
Para un mejor entendimiento, se explicará el recorrido de la trama que se muestra en la Figura 32.

Figura 32: Ejemplo trama de video.



El recorrido empieza en **1** y continúa hacia **2** “mirando” hacia **3**.
Luego sigue desde **2** hasta **3** directamente.
La trama continua desde **3** hacia **4** mientras se observa a **5**.
Finalmente mientras se acerca desde **4** a **5** lo hace observando a **1**.

Figura 33. Parámetros del video.



Allí se deben seleccionar las propiedades del video tales como calidad, formato, duración, pero lo más importante es la vista previa, al arrastrar el cursor a lo largo de la barra inferior, en la ventana CAD se verá el recorrido escogido, al asegurarse de que el recorrido diseñado es el deseado se oprime “Crear video”.

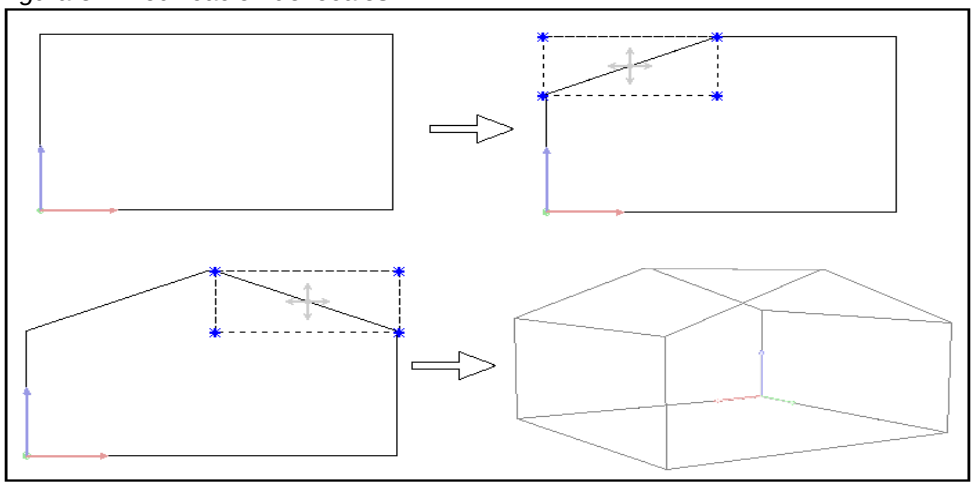
3. MANEJO AVANZADO DE DIALUX.

En esta sección se profundizará en el manejo avanzado del software DIALux y en el diseño de instalaciones de iluminación específicas; es decir, instalaciones que requieren algunos aspectos especiales dependiendo de la actividad que se ha de realizar allí y no tan general como la explicada en la sección 1.3, Aunque se ha visto la gran habilidad y agilidad de cálculo que posee el DIALux, aun se puede hacer mucho más con él, estas aplicaciones adicionales permitirán visualizar de una manera más dinámica y clara los efectos producidos por las lámparas para así tomar las debidas decisiones en cuanto a la selección de luminarias y su posición. En estas instalaciones que se diseñarán se aplicará parcialmente un método analítico para el diseño del sistema de iluminación debido a que el método de las cavidades zonales está limitado al no poder modelar matemáticamente algunos aspectos del diseño, principalmente los obstáculos.

3.1 EDICION DE LOCALES.

No todos los locales que requieren un sistema de iluminación son rectangulares en su totalidad, algunos cuentan con paredes redondeadas, techos con forma triangular, con cúpulas o bóvedas, etc. Para la creación de estos locales hace falta la buena implementación de los elementos de ambiente con los que se cuentan en el administrador de proyectos del DIALux. Estos sirven de manera tal que al tener las mismas dimensiones que el local, que por defecto es rectangular, se fusionen tanto las superficies del elemento de ambiente como las del local que sean exactamente iguales y que se encuentren en la misma posición. Para ilustrar esta aplicación se creará un techo triangular en un local de 5 m x 5 m x 3 m usando el elemento de ambiente “Inclinación de techo”.

Figura 34. Modificación de locales.



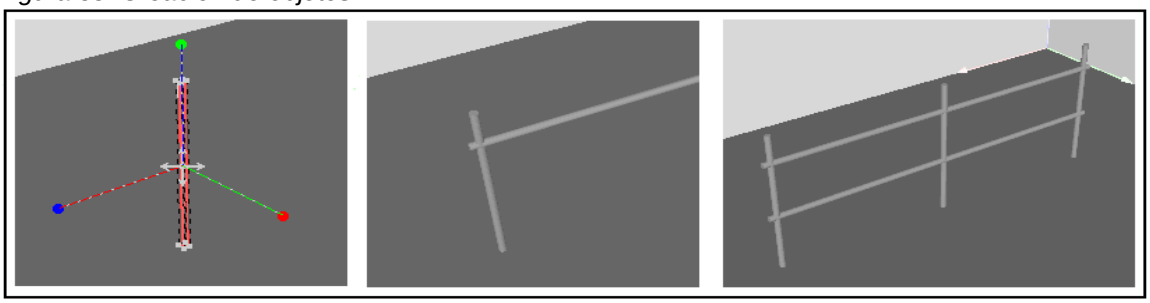
De la misma manera se puede proceder con cualquier otro elemento de ambiente para crear todo tipo de locales de distintas formas, todo es cuestión de

imaginación, paciencia y creatividad. También es posible importar el plano en 2D de una edificación hecho en AUTOCAD y sobre este plano crear el local.

3.2. CREACION DE OBJETOS.

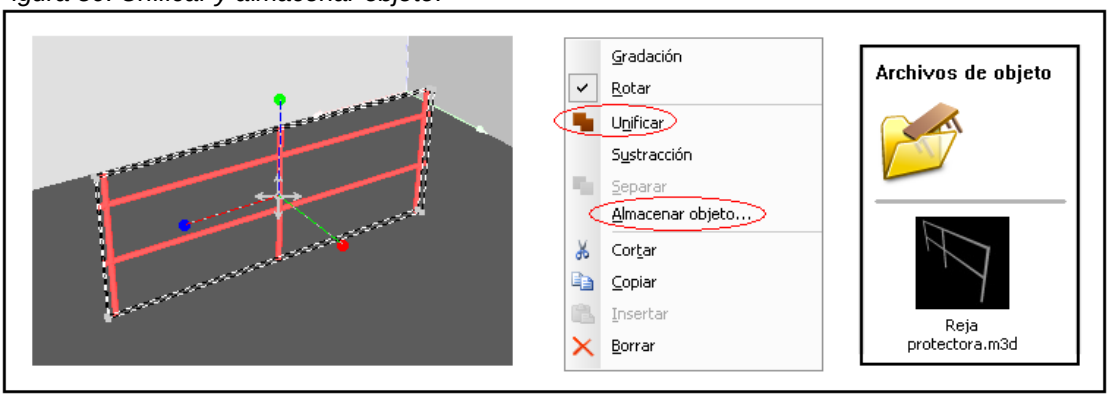
DIALux cuenta con la opción de crear objetos personalizados utilizando las "Figuras estándar" del administrador de proyectos. Lo único que se debe hacer es ir insertando las formas básicas que compongan el nuevo objeto (cubos, cilindros, triángulos) y ubicarlas de tal manera que den forma al objeto deseado. A manera de ejemplo se construirá una reja de seguridad que estará compuesta por 3 tubos verticales y 2 horizontales. Primero se utiliza la figura estándar "Cilindro" para crear tres tubos de 1 m de alto y un radio de 8 cm, luego se utiliza la misma figura básica para crear 2 tubos de 3 m de alto y un radio de 8 cm y se disponen de manera horizontal. Finalmente se ubican estos 5 objetos para formar una estructura similar a la vista en la Figura 35.

Figura 35. Creación de objetos.



Luego de dar forma a la reja, se seleccionan todas las partes individuales por medio del comando "LEFT SHIFT" + "CLIC", se da clic derecho sobre ésta y se oprime "Unificar". Ver la Figura 36.

Figura 36. Unificar y almacenar objeto.



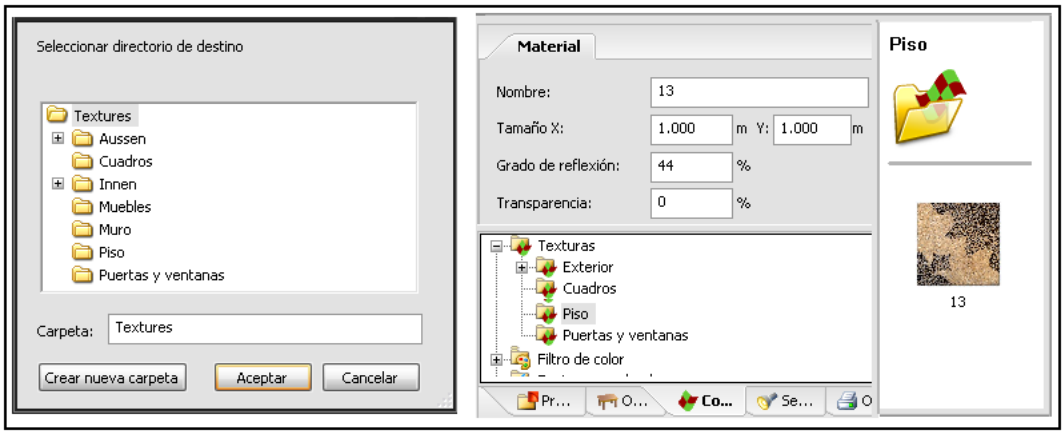
Después de unificar todas las partes individuales que componen la reja, se oprime clic derecho sobre ella nuevamente y se selecciona la opción "Almacenar objeto", allí se le deberá asignar el nombre y la carpeta de destino la cual puede estar o no

incluida en las carpetas de archivos de objeto del DIALux, aunque es aconsejable que si lo estén; para este caso se almacenará la reja protectora en la carpeta "Archivo de objeto" como se puede observar en la Figura 36. También existe la posibilidad de importar archivos de objetos tridimensionales con formato ".3ds" o similares lo cual es necesario cuando se requiere de objetos más complejos en el diseño.

3.3. IMPORTACION DE COLORES Y TEXTURAS.

Al igual que los objetos, las texturas o colores también se pueden importar para su uso en el software y no solo es una comodidad sino más bien una necesidad, pues si se tiene un local al cual diseñarle un sistema de iluminación, la mejor manera de hacerlo es utilizando las mismas texturas de la edificación. Para importar una textura se debe tener ésta en algún formato de imagen como el "JPEG" y luego en la barra de herramientas se da clic en "Archivo" >>"Importar" >> "Archivos de textura", luego de realizar esto se deberá especificar la ubicación del archivo de imagen y posteriormente la ubicación donde serán almacenados como se muestra en la Figura 37.

Figura 37. Importación de texturas.



Al completar la exportación la textura estará disponible para su implementación en paredes u objetos según su naturaleza, para la asignación de su reflectancia efectiva y dimensiones.

3.4. TEMPERATURA DEL COLOR.

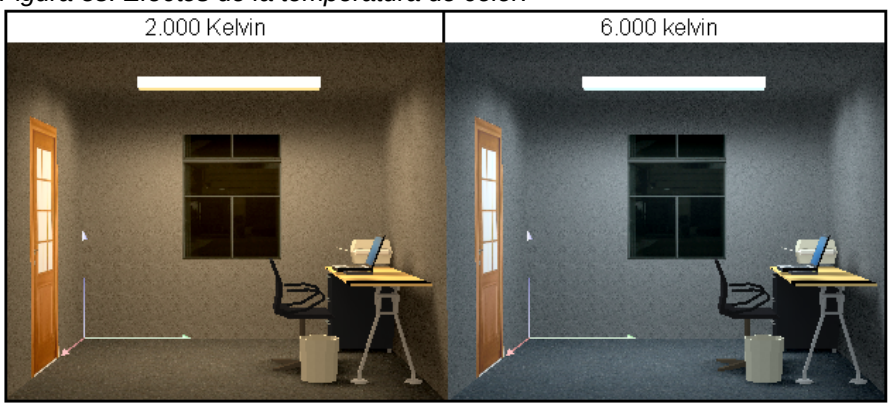
Toda fuente luminosa se caracteriza por el efecto de temperatura que ocasiona el color de su brillo. En la Tabla 8 se observa la preferencia de fuentes luminosas con una temperatura de color elevada (luz fría) cuando los niveles de iluminación son elevados. En climas cálidos, se deben utilizar fuentes de mayores temperaturas de color (> 5 000 K), mientras que en climas fríos se recomienda el uso de fuentes con temperaturas de color más cálidos (< 3 300 K) [1].

Tabla 8. Relaciones entre el nivel de iluminancia y temperatura de color.

Iluminancia (Luxes)	**Temperatura de color**		
	Cálida < 3 300 ºK	**Neutra** 3 300 – 5 000 ºK	**Fría** > 5 000 ºK
≤ 500	**Agradable**	**Neutra**	**Fría**
500 a 1 000	⇕	⇕	⇕
1 000 a 2 000	**Estimulante**	**Agradable**	**Neutra**
2 000 a 3 000	⇕	⇕	⇕
≥ 3 000	**No apropiado**	**Estimulante**	**Agradable**

El software DIALux permite asignar la temperatura de color a las lámparas que se estén empleando para simular de una manera más aproximada los efectos reales que producirá dicha lámpara. Para hacerlo se selecciona la opción “Colores” del administrador de proyectos y luego “Temperatura de color” allí se presentará una lista de los posibles valores a elegir en un rango que va desde los 2 000 ºK hasta los 25 000 ºK. Luego de seleccionar la temperatura de color deseada se aplica sobre la luminaria de la misma manera que se aplica un color sobre una superficie.

Figura 38. Efectos de la temperatura de color.



4 EJEMPLOS.

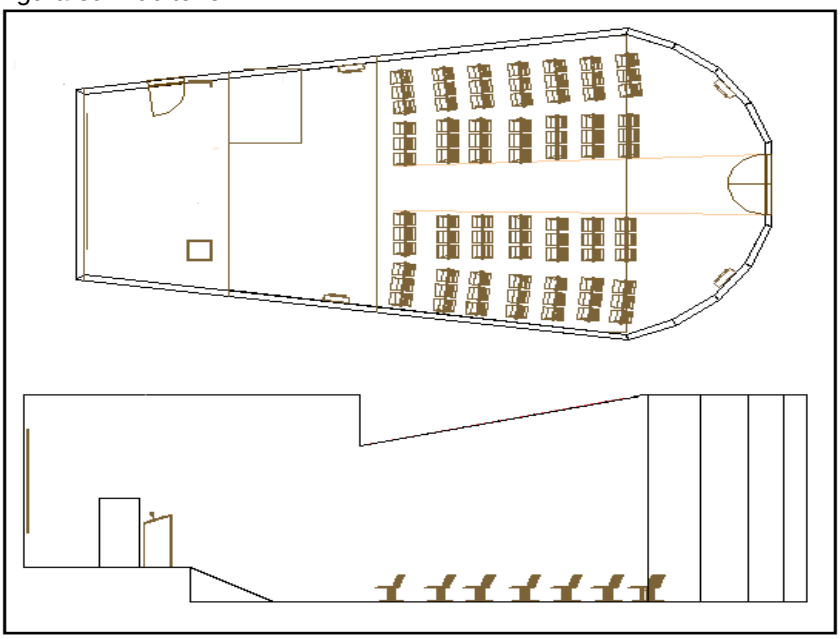
En las siguientes secciones de este documento se le realizará el diseño de iluminación interior a un pequeño auditorio en el cual se requiere dos niveles de iluminancia promedio y en dos planos útiles diferentes. También se diseñará la instalación de iluminación para un bar en el cual se requieren tres niveles de iluminancia promedio diferentes. Estos ejemplos se hacen con el fin de profundizar en el procedimiento de diseño y aplicarlo a situaciones no tan comunes como se vio en el ejemplo del taller de ensamble de motores.

4.1 AUDITORIO.

El primer ejemplo de aplicación será el diseño del sistema de iluminación para un auditorio, el cual se caracteriza por estar iluminado, en la mayoría de los casos, por fuentes de luz artificial; otra de sus características es el requerimiento de una iluminancia localizada exclusivamente en la pizarra donde se realizará la presentación. Para realizar este diseño se utilizara el algoritmo visto en la ***sección 1.2.***

Análisis del proyecto. Este local cuenta con una forma algo cónica; es decir, posee una parte más ancha y a medida que se acerca al otro extremo del local se hace más estrecha, esta parte más ancha es además de forma redonda. También existe una inclinación del techo de 1,5 m de alto. En la Figura 39 se muestra la vista lateral y de planta del auditorio.

Figura 39. Auditorio.



Definir parámetros del local.

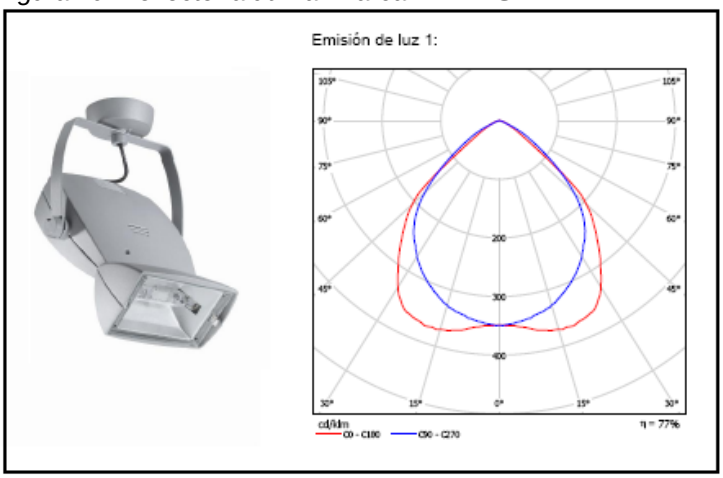
Altura del local:	6 m
Iluminancia promedio requerida:	500 lx
Nivel máximo de UGR:	22
Plano útil:	0,85 m.

Tanto las paredes como el techo poseen un acabado de construcción de ladrillo muy claro, por lo tanto según la Tabla 2 se tomará el valor de 50%, el suelo está compuesto de ladrillo liso claro, de esta manera la reflectancia queda establecida para el piso de 40%.

Selección conjunto lámpara-luminaria: Para este local en particular hace falta emplear 3 tipos de luminarias para garantizar los 2 tipos de alumbrado requeridos en el local: General y local.

Para iluminar la pizarra o pantalla del auditorio, se utilizarán 2 reflectores pequeños fabricados por PHILIPS [5], los cuales cuentan con una distribución luminosa muy concentrada.

Figura 40. Reflector a utilizar marca PHILIPS.

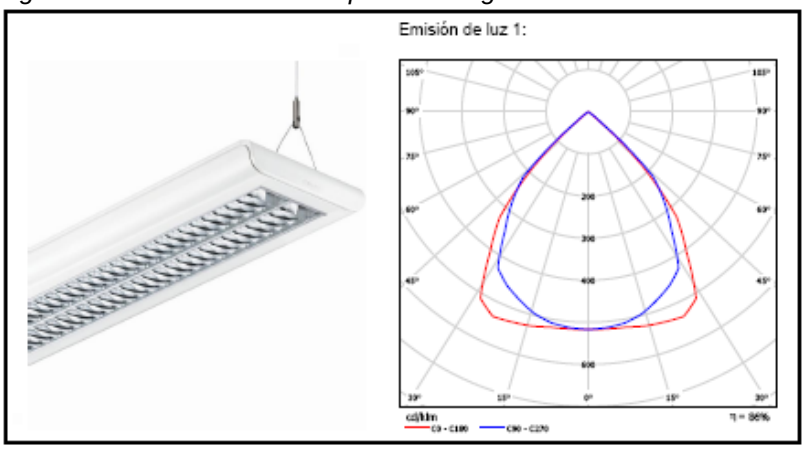


Flujo luminoso:	6 500 lm
Potencia:	88 W
Eficacia:	73,863 lm/W

La segunda área a iluminar es el plano útil, en este caso se cuenta con 2; el espacio en el que están los espectadores o asistentes al auditorio y la plataforma en la que se encuentra él o los expositores. En ambos casos se requieren 500 lx como iluminancia promedio. Estas 2 áreas se deben diseñar por separado debido a que tanto la metodología como los asistentes del DIALux solo admiten un plano útil o de trabajo.

El área a iluminar correspondiente al expositor será la comprendida entre la puerta de la plataforma y el escalón de acceso a esta, esta distancia es de 3,6 m, la distancia entre la puerta y la pared opuesta a ésta es de 6,66 m, y la altura del plano útil será de 1,3 m correspondiente a la altura del estrado (1,3 m) más 1 m correspondiente a la altura de la plataforma, entonces la altura del plano útil será de 2,3 m. Con estos datos se obtiene un local imaginario con las dimensiones: 3,6 m de ancho, 6,66 m de largo y 6 m de alto. Teniendo estos datos ya establecidos se procede a elegir el conjunto lámpara luminaria.

Figura 41. Luminaria PHILIPS para áreas generales.



Luminaria PHILIPS TPS460
Lámpara 2 x TL5 – 32 W c/u
Flujo luminoso por lámpara 3 100 lm
Eficacia 96,87 lm/W.

La razón por la cual se escogió el conjunto que se muestra en la Figura 41 fue por la manera en la que distribuye la luz (Directa) y además por su alta eficacia, lo cual contribuirá a obtener un valor de eficiencia energética muy bajo. Además es del tipo de montaje suspendido, lo cual es ideal, pues se puede ubicar en el mismo soporte en el que irán los reflectores.

Índice cavidad del local: Teniendo en cuenta que la altura del auditorio es de 6 m, la altura de la plataforma es de 1 m, el plano de trabajo es de 1,3 m y las luminarias están suspendidas a 60 cm del techo, se procede a calcular los parámetros **hm** (Ecuación 1) y el índice **K** (Ecuación 2).

$$hm = 6\,m - (2{,}3\,m + 0{,}6\,m) = 3{,}1\,m$$

$$k = \frac{5 * 3{,}1\,m * (3{,}6\,m + 6{,}66\,m)}{3.6\,m * 6{,}66\,m} = 6{,}63$$

Calcular coeficiente de utilización: Para calcular el CU de esta luminaria se utiliza la Tabla 9.

Tabla 9. Tabla de coeficiente de utilización para luminaria TPS 460.

Room Index k	Reflectances (%) for ceiling, walls and working plane (CIE)										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.46	0.44	0.45	0.44	0.43	0.39	0.39	0.36	0.39	0.36	0.35
0.80	0.54	0.51	0.53	0.52	0.51	0.46	0.46	0.43	0.46	0.43	0.42
1.00	0.61	0.56	0.60	0.58	0.56	0.52	0.52	0.49	0.51	0.49	0.48
1.25	0.67	0.61	0.65	0.63	0.60	0.57	0.57	0.54	0.56	0.54	0.53
1.50	0.71	0.64	0.69	0.66	0.64	0.61	0.60	0.58	0.59	0.57	0.56
2.00	0.77	0.69	0.75	0.71	0.68	0.66	0.65	0.63	0.64	0.62	0.61
2.50	0.80	0.71	0.78	0.74	0.70	0.68	0.67	0.66	0.67	0.65	0.64
3.00	0.83	0.73	0.81	0.76	0.72	0.70	0.69	0.68	0.68	0.67	0.66
4.00	0.86	0.74	0.83	0.78	0.73	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69	0.67
5.00	0.87	0.75	0.85	0.79	0.74	0.73	0.72	0.71	0.71	0.70	0.68

Utilizando el mismo procedimiento para calcular el factor CU visto en la ***sección 1.2*** éste queda establecido como 0,72. Para calcular el factor de mantenimiento (FM) se utiliza nuevamente la Tabla 4, teniendo en cuenta que esta es una luminaria de tipo abierta, el mantenimiento se realiza anualmente y la edificación cuenta con un ambiente limpio dada su naturaleza de uso. De esta manera queda establecido FM = 0,93.

1. **Flujo luminoso total requerido:**

$$\varphi total = \frac{(Emedio * A)}{CU * FM} = \frac{500\ lx * 23{,}976\ m^2}{0{,}93 * 0{,}72} = 17\ 973\ lm$$

2. **Numero de luminarias requeridas:**

$$N = \frac{\varphi tot}{\varphi l * n} = \frac{17\ 973\ lm}{3\ 100\ lm * 2} = 2{,}89\ luminarias$$

Por último se calculan el flujo luminoso real (Ecuación 6) y la iluminancia promedio real (Ecuación 7). Estos cálculos se realizarán con las 2 posibles soluciones: 2 ó 3 luminarias. Se prueba con 3 luminarias ya que es el valor más aproximado:

$$\varphi real = 3 * 2 * 3\ 100\ lm = 18\ 600\ lm$$

$$Eprom = \frac{18\ 600\ lm * 0.72 * 0{,}93}{3{,}6\ m * 6{,}66\ m} = 519{,}459\ lx$$

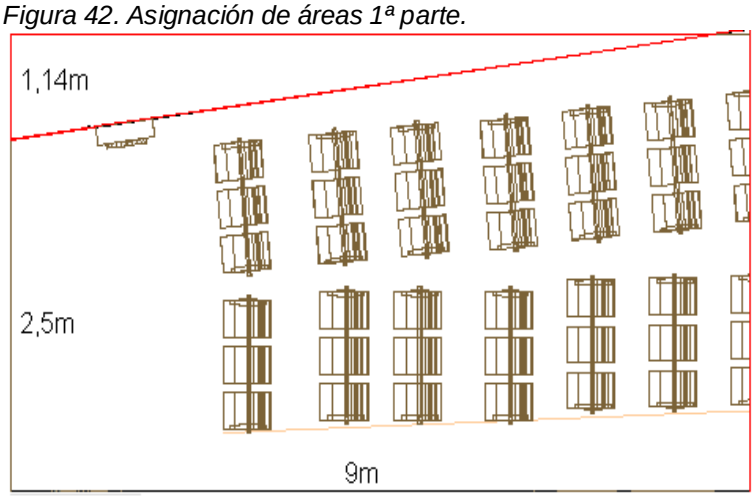
Si se hubiesen escogido 2 luminarias:

$\varphi real =$ 12 400 lm, $Eprom$ = 346,306 lx

En este caso entonces se escogerán las 3 luminarias, pues aseguran el valor más cercano al ideal de 500 lx, mientras que de haber escogido las 2 luminarias se estaría muy cerca del valor mínimo permitido.

Para iluminar el área de los espectadores se utilizará la misma luminaria que se muestra en la Figura 41 debido a que el techo de esta área tiene una inclinación y en caso de utilizar luminarias adosadas, el índice de la cavidad del local sería variable con cada fila de luminarias; el plano útil para esta área será desde el inicio del escalón de acceso a la plataforma hasta el fondo circular del local donde se ubica la puerta principal. Las dimensiones de este espacio son: 12,81 m de largo, 10 m de ancho y 6 m de alto; el plano útil será de 0,75 m. Las luminarias estarán suspendidas a 4,5 m del suelo por medio de cables según las especificaciones mecánicas de la luminaria; es decir, a 1,5 m del techo imaginario. Así que para efectos de cálculo se asumirá un local de 4,5 m de altura y que las luminarias están adosadas al techo. Sin embargo se debe calcular el área real de esta zona, pues como se muestra en la Figura 39 ésta no presenta una forma rectangular, por lo tanto se deben realizar cálculos geométricos para conocer el área descrita por esa zona del auditorio. La manera de hacerlo será dividir el local en áreas conocidas y luego realizar las respectivas operaciones aritméticas con dichas áreas para obtener el área real.

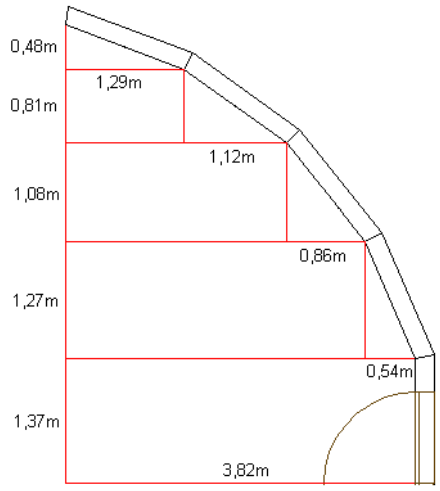
Figura 42. Asignación de áreas 1ª parte.



El primer paso es dividir la zona a la mitad para no ocasionar redundancias en el cálculo. En la Figura 42 se muestran las áreas que se han establecido para esta parte del local, solo basta con calcular el área del rectángulo y sustraerle el área del triangulo rectángulo exterior. Esta área resultante se llamará A1.

$$A1 = 9\,m * 3{,}64\,m - \frac{9\,m * 1{,}14\,m}{2} = 27{,}63\,m^2$$

Figura 43. Asignación de áreas 2ª parte.



De manera similar se calcula el área de la parte curva del local, la cual fue dividida en rectángulos y triángulos rectángulos de manera que al sumar todas estas áreas se obtendrá el área resultante la cual se llamará A2. Las siguientes magnitudes están expresadas en metros cuadrados (m^2).

$$A2 = \frac{(0{,}48 * 1{,}29) + (0{,}81 * 1{,}12) + (1{,}08 * 0{,}86) + (1{,}27 * 0{,}54)}{2} + (0{,}81 * 1{,}29) + (1{,}08 * 2{,}41) + (1{,}27 * 3{,}27) + (1{,}37 * 3{,}82) = 14{,}604\,m^2$$

Finalmente el área total de la zona en la cual el plano útil es de 0,75 m es igual a:

$$(A1 + A2) * 2 = (27{,}63\,m^2 + 14{,}604m^2) * 2 = 84{,}468m^2$$

Conocida el área del plano útil se procede con los cálculos regulares.

Índice de cavidad del local: El área de la audiencia tiene 4,5 m de altura, el plano de trabajo es de 0,75 m y el plano de montaje de luminarias es cero, teniendo eso en cuenta se calculan hm (Ecuación 1) y K (Ecuación 2).

$$hm = 4{,}5 - 0{,}75 = 3{,}75$$

$$k = \frac{5 * 3{,}75\,m * (12.81\,m + 10\,m)}{12{,}81\,m * 10\,m} = 3{,}338 \approx 3$$

Coeficiente de utilización. Se utiliza la Tabla 9 para calcular el CU utilizando el método de interpolación. De esta manera para el área de la audiencia CU = 0,69.

1. **Flujo luminoso total requerido:**

$$\varphi total = \frac{(Emedio * A)}{CU * FM} = \frac{500\ lx * 84{,}468\ m^2}{0{,}69 * 0.72} = 85\ 193{,}236\ lm$$

2. **Numero de luminarias requeridas:**

$$N = \frac{\varphi tot}{\varphi l * n} = \frac{85\ 13{,}236\ lm}{3\ 100\ lm * 2} = 13{,}74\ luminarias$$

Por último se calculan el flujo luminoso real (Ecuación 6) y la iluminancia promedio real (Ecuación 7). Estos cálculos se realizarán con las 2 posibles soluciones: 12 ó 14 luminarias. Se probará primero con 12 luminarias, la opción más económica.

$$\varphi real = 12 * 2 * 3\ 100\ lm = 74\ 400\ lm$$

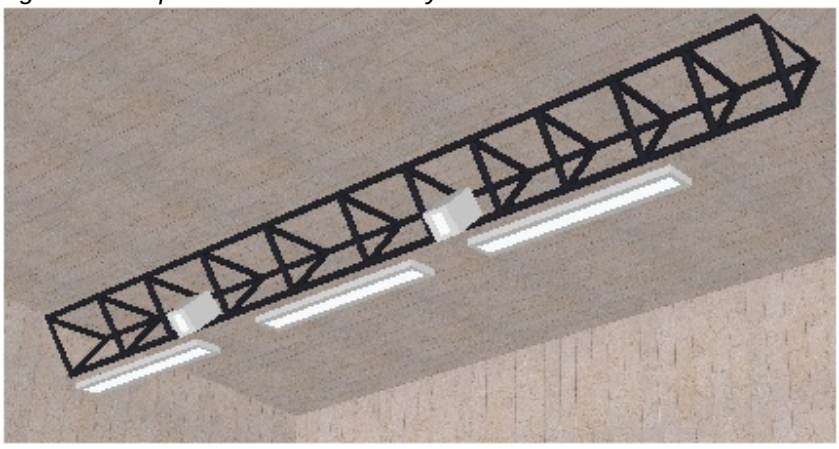
$$Eprom = \frac{74\ 400\ lm * 0.72 * 0{,}69}{84{,}468\ m^2} = 437{,}584\ lx$$

Si se hubiesen escogido las 14 luminarias:

$$\varphi real = 86\ 800\ lm,\ Eprom = 510{,}515\ lx$$

Por razones económicas y de eficiencia se escogen entonces para iluminar la segunda zona del auditorio 12 luminarias. Finalmente se procede a ubicar las luminarias de la manera más uniforme posible, ya que al no poder insertar las luminarias por medio de los asistentes, deberá hacerse manualmente.

Figura 44. Disposición de reflectores y luminarias.



En la Figura 44 se muestra la ubicación de la iluminación correspondiente a la pizarra y la plataforma, instalada sobre un soporte metálico, las luminarias están suspendidas entonces a 5,4 m de la plataforma y a 2,8 m de la pizarra.

Figura 45. Disposición de luminarias zona audiencia.

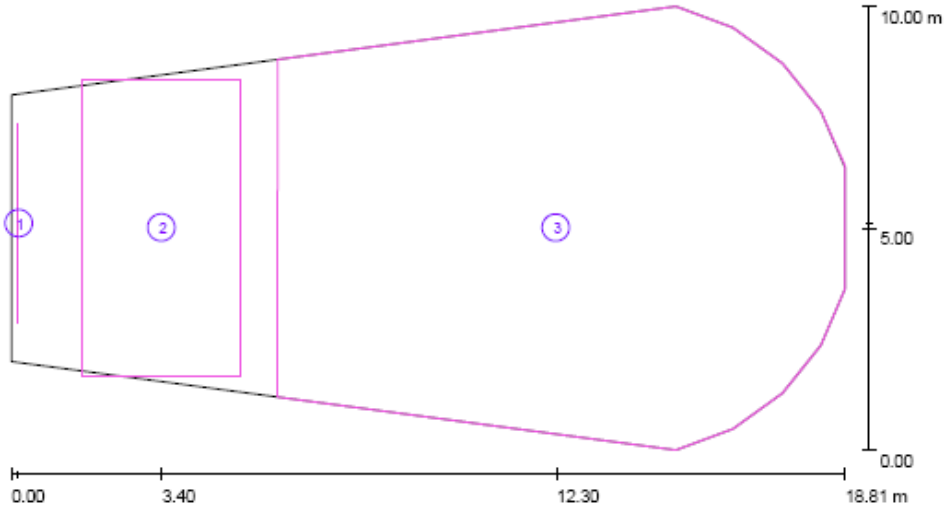
En la Figura 45 se puede apreciar la disposición de las luminarias para el área cuyo plano útil es de 0,75 m, luego de varios ensayos, se descubrió que disponer las luminarias en 3 filas y 4 luminarias por fila se presentaba el mejor resultado de iluminancia promedio.

El siguiente paso es ubicar puntos de medida de nivel UGR y áreas para realizar la medición de iluminancia promedio, estas áreas de cálculo se localizarán en la pizarra o pantalla, el área de la plataforma y otra en el área de la audiencia. Los puntos de medida de deslumbramiento se ubicarán en lugares aleatorios de las sillas pero habrá uno sobre el podio para medir el deslumbramiento que experimentará el presentador. Luego de hacer esto se procede a iniciar los cálculos.

En la Figura 46 se puede apreciar que la iluminancia promedio de la plataforma y la zonda de la audiencia son los valores deseados y por lo tanto el primer objetivo del diseño ya está completo. En cuanto al deslumbramiento se puede concluir que también se cumplió este objetivo ya que, como se muestra en la Figura 47, ningún valor de UGR excedió el máximo permitido de 22.

Figura 46. Resultados medición de iluminancia promedio.

Local 1 / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



Escala 1 : 135

Lista de superficies de cálculo

N°	Designación	Tipo	Trama	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	64 x 64	282	196	361	0.695	0.542
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	128 x 128	483	153	729	0.317	0.209
3	Superficie de cálculo 3	perpendicular	128 x 128	445	85	659	0.191	0.129

Resumen de los resultados

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
perpendicular	3	436	85	729	0.19	0.12

Figura 47. Resultados medición de deslumbramiento.

Lista de puntos de cálculo UGR

N°	Designación	Posición [m] X	Y	Z	Dirección visual [°]	Valor
1	Punto de cálculo UGR 1	2.800	2.800	2.700	0.0	/
2	Punto de cálculo UGR 2	8.400	3.866	0.750	180.0	<10
3	Punto de cálculo UGR 3	9.700	3.800	0.750	180.0	18
4	Punto de cálculo UGR 4	10.600	3.800	0.750	180.0	19
5	Punto de cálculo UGR 5	11.700	3.700	0.750	180.0	<10
6	Punto de cálculo UGR 6	12.785	3.692	0.750	180.0	19
7	Punto de cálculo UGR 7	13.785	3.666	0.750	180.0	16
8	Punto de cálculo UGR 8	14.685	3.666	0.750	180.0	18

Calcular VEEI: Este es el último objetivo que se debe verificar, para cumplirlo su valor no debe exceder 3,5 W/m^2 por cada 100 luxes según la Tabla 5. Debido a que en el auditorio hay 2 iluminancias promedio diferentes, se debe hacer un promedio de estas dos para poder emplearlo en la Ecuación 8.

Eprom de plataforma: 483 lx
Eprom de audiencia: 445 lx

$$Epromedio = \frac{Eprom\ plataforma + Epromaudiencia}{2} = \frac{483\ lx + 445\ lx}{2} = 464\ lx$$

Éste nuevo valor de 464 lx será Eprom, el área total del auditorio (S) es 149.19 m^2 y la potencia eléctrica total (P) se calcula usando la Tabla 10.

Tabla 10. Cálculo de potencia total (P).

Luminaria	Potencia	Cantidad	Potencia total
PHILIPS TPS460	64 W	15	960 W

Teniendo ya estos valores calculados se procede a utilizar la Ecuación 8 para determinar el valor de eficiencia energética de la instalación.

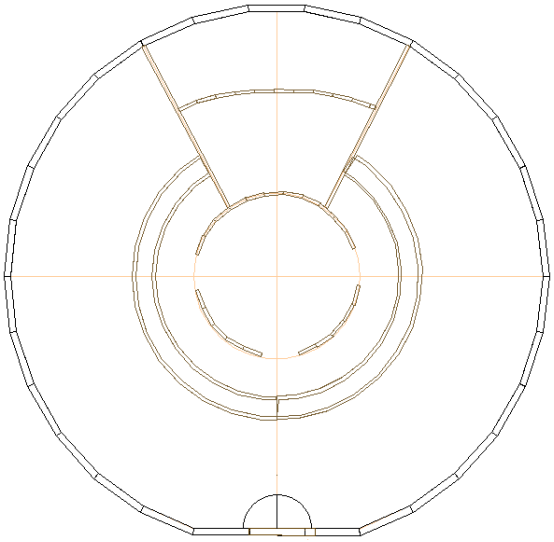
$$VEEI = \frac{(960\ W) * 100}{149.19\ m^2 * 464\ lx} = 1{,}386\ \frac{W}{m^2}\ x\ 100\ lx$$

Se hace evidente que el valor obtenido es menor que el máximo permitido, así que la instalación de iluminación es eficiente desde el punto de vista técnico y económico. De esta manera finaliza el diseño de la instalación de iluminación para el auditorio.

4.2 BAR.

Para el siguiente ejemplo, se realizará la instalación de iluminación a un bar, el desafío que se pretende imponer con este diseño es que no solo se debe garantizar la iluminancia promedio, sino un diseño decorativo haciendo buen uso de la temperatura de color. La edificación presenta una forma circular de 8 m de radio y tiene una altura de 3 m, en la pared opuesta a la entrada del bar se encuentran los baños. En el centro del local se encuentra la “barra” y alrededor de esta hay tanto sillas como mesas, además de algunos objetos de decoración.

Figura 48. Vista Planta del Bar.

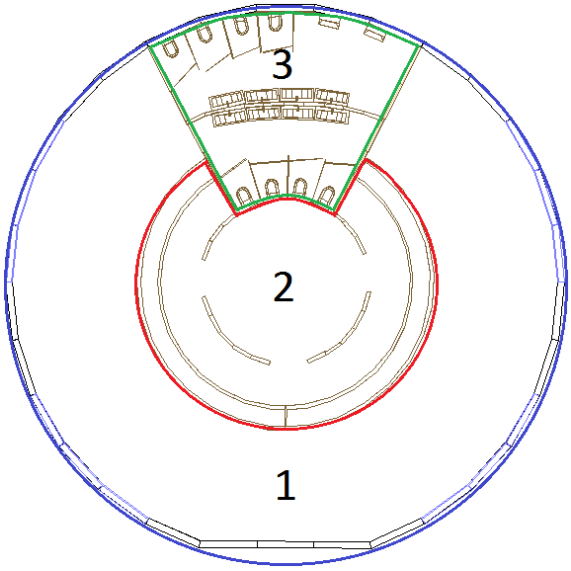


Este tipo de edificación cuenta con la particularidad de no figurar en la Tabla 1, entonces se debe asignar el valor más adecuado para este tipo de local y la actividad que se realizará allí. El criterio que se empleará para ello, es que en este tipo de locales no se realizan tareas importantes como la lectura, la escritura o presentaciones, de esta manera este tipo de recinto es de baja importancia lumínica así que se puede catalogar como Industria Alimenticia, áreas generales de trabajo. De esta manera el nivel de iluminancia promedio de la edificación serán 300 lx, y el nivel de deslumbramiento máximo permitido es de 25.

De manera similar que en la ***sección 4.1*** En este local se tienen tres planos de trabajo diferentes y a su vez dos niveles de iluminancia promedio diferentes, El primer plano útil es el de los clientes en la zona externa del bar el cual es de 0,75 m, luego la zona de la barra del personal es de 0,85 m, en estas dos zonas se deben garantizar 300 luxes como iluminancia promedio. La zona de los baños cuenta con un plano útil de 0,8 m y se deben garantizar 150 luxes como iluminancia promedio. Entonces de la misma manera en la que se procedió en la ***sección 4.1*** El bar se dividirá en tres áreas correspondientes a cada diseño de

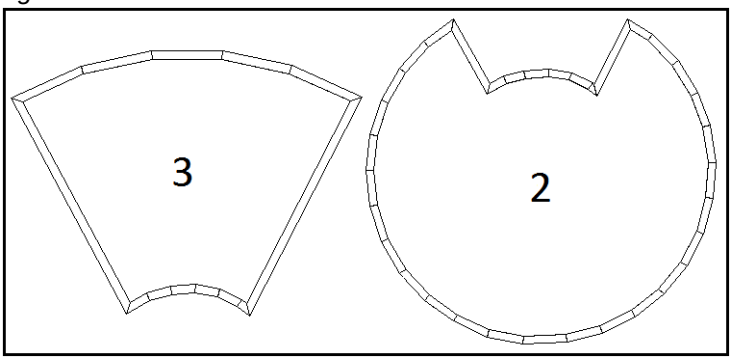
iluminación las cuales se denominarán A1, A2 y A3, estas divisiones se pueden apreciar en la Figura 49.

Figura 49. Asignación de áreas del bar.



Para calcular estas tres áreas se utilizara una de las características del DIALux la cual consiste en que, como se observa en la Figura 28, al realizar los cálculos de cualquier diseño de iluminación el software determinará el área de la edificación con el fin de obtener el VEEI. Esto significa que si se construyen 2 locales en DIALux con las mismas dimensiones de las secciones 2 y 3 de la Figura 49, se podrá conocer el área de éstas al realizar los cálculos luminotécnicos normales.

Figura 50. Cálculo de áreas con DIALux.



Luego de realizar este procedimiento se obtuvo que:

A2 = 54,891 m^2
A3 = 30,19 m^2.

Para determinar A1 basta con sustraerle A2 y A3 al área total de la edificación la cual se calculará teniendo en cuenta que se trata de un local redondo de 8 m de radio.

$$Atotal = \pi * (8\,m)^2 = 201{,}062\,m^2$$

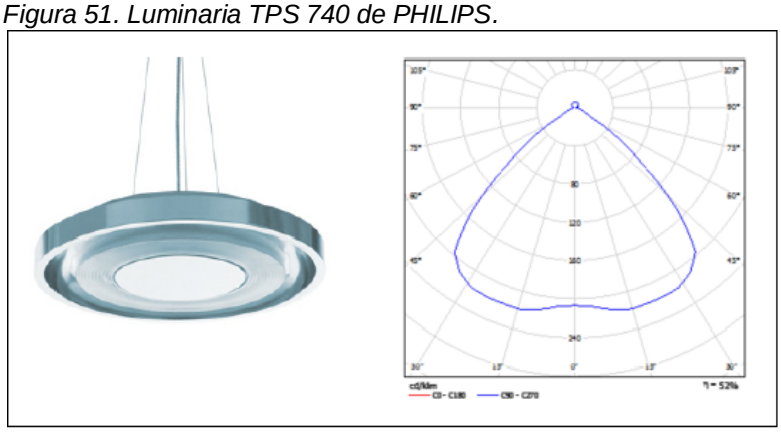
$$A1 = Atotal - (A2 + A3) = 201{,}062\,m^2 - (54{,}891\,m^2 + 30{,}19\,m^2) = 115{,}981\,m^2$$

Teniendo ya calculadas todas las áreas de las secciones del bar, se diseña el sistema de iluminación para cada una de éstas.

4.2.1 Sistema de iluminación sección 1. En esta parte del bar se deben garantizar 300 lx como iluminancia promedio y se cuenta con un plano de trabajo de 0,75 m. Las superficies y reflectancias del suelo, paredes y techo se indican a continuación, la superficie del suelo es de baldosa decorativa y su reflectancia efectiva es 0,53, las paredes tienen un acabado de construcción decorativo hecho con piedra de cantera cuya reflectancia es de 0,41, el techo está formado por ladrillo liso y oscuro, su grado de reflexión es de 0,23.

Para esta zona se utilizará la luminaria fabricada por PHILIPS TPS 740 de 60 W, debido a que posee una alta eficacia y es del tipo decorativa, lo cual es necesario para este tipo de diseño.

Figura 51. Luminaria TPS 740 de PHILIPS.



Flujo luminoso:	5 000 lm
Potencia:	60 W
Eficacia:	83,333 lm/W
Altura de suspensión:	15 cm
Temperatura de color:	2 500 °Kelvin.

Tabla 11. Tabla coeficiente de utilización luminaria TPS 740.

Cavidad de local K	**Reflectancias (CIE)**									
	80	80	70	70	70	70	50	50	30	30
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10
0,6	31	29	30	30	29	26	25	23	25	23
0,8	36	34	36	35	34	31	30	28	30	28
1	41	38	40	39	38	35	34	32	34	32
1,25	45	42	44	43	41	38	38	36	37	35
1,5	48	44	47	45	43	41	40	38	39	38
2	53	47	51	49	47	45	44	42	43	42
2,5	56	49	54	51	48	47	46	45	45	44
3	57	50	56	52	50	48	47	46	46	45
4	60	52	58	54	51	50	49	48	47	47
5	61	52	59	55	52	51	49	49	48	48

Índice de cavidad del local: Para Calcular **hm** se utiliza la Ecuación 1 y se debe tener en cuenta que la altura del local es de 3 m, el plano de trabajo es de 0,75 m y las luminarias se suspenden a 15 cm del techo.

$$hm = 3\,m - (0{,}75 + 0{,}15\,m) = 2{,}1\,m$$

Para calcular **K** se utiliza la Ecuacion 2 en la que se deben especificar ***l*** y ***a*** correspondientes al largo y ancho del local, Debido a que se está haciendo el cálculo para secciones de forma irregular se debe modelar como un local cuadrado en donde ***l* = *a***, de esta manera ***a*** será igual a la raíz cuadrada del área.

$$a = l = \sqrt{115{,}981}m^2 = 10{,}769\,m$$

$$k = \frac{5 * 2{,}1\,m * (10{,}769\,m + 10{,}769\,m)}{115{,}981\,m^2} = 1{,}95 \approx 2$$

Utilizando la Tabla 11, el coeficiente de utilización queda establecido en 0,44. El factor de mantenimiento será tomado para un local muy limpio y un ciclo de mantenimiento de 1 año, de esta manera utilizando la Tabla 4, el factor de mantenimiento queda establecido como 0,96 teniendo en cuenta que se trata de una luminaria del tipo abierta.

1. **Flujo luminoso total requerido:**

$$\varphi total = \frac{(Emedio * A)}{CU * FM} = \frac{300\ lx * 115{,}981\ m^2}{0{,}44 * 0.96} = 82\ 372{,}869\ lm$$

2. **Numero de luminarias requeridas:**

$$N = \frac{\varphi tot}{\varphi l * n} = \frac{82\ 372{,}869\ lm}{5\ 000\ lm} = 16{,}475\ luminarias$$

Se explorarán las opciones 15,16 y 17 luminarias.

- **15 luminarias:**

$$\varphi real = 15\ luminarias * 5\ 000\ lm = 75\ 000\ lm$$

$$Eprom = \frac{75\ 000\ lm * 0{,}44 * 0{,}96}{115{,}981\ m^2} = 273{,}148\ lx$$

- **16 luminarias:**

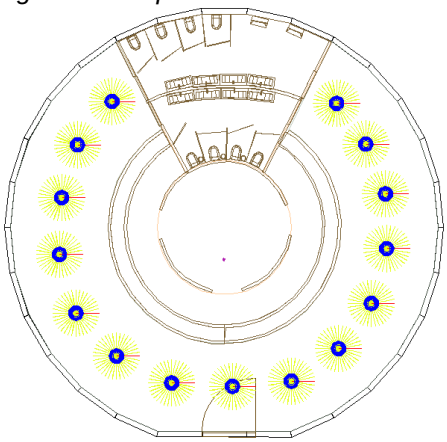
$$\varphi real = 80\ 000\ lm,\ Eprom = 291{,}358\ lx$$

- **17 luminarias:**

$$\varphi real = 85\ 000\ lm,\ Eprom = 309{,}568\ lx$$

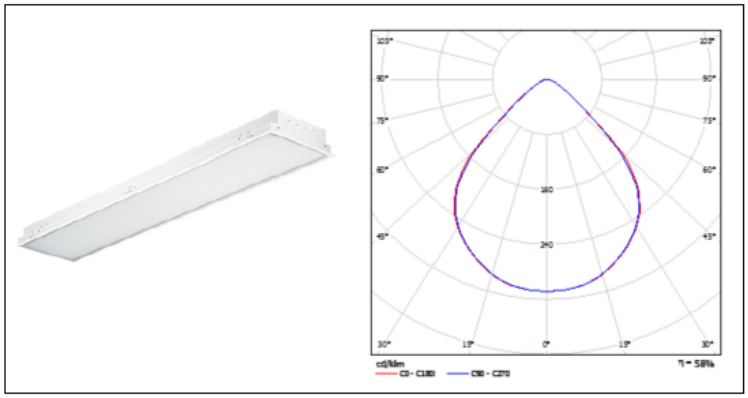
Para este caso se escogen las 15 luminarias porque se encuentran en el valor más aceptable desde el punto de vista técnico y económico.

Figura 52. Disposición de luminarias.



4.2.2 Sistema de iluminación sección 2. Esta sección corresponde a la barra y al área del personal, en esta sección se utilizará una luminaria del tipo empotrada porque contribuirá a la decoración y además está dotada de una pantalla de acrílico lo cual evitará que produzca molestias visuales.

*Figura 53. Luminaria **Smart Form** TBS 461 PHILIPS.*



Flujo luminoso: 5 200 lm.
Potencia: 60 W.
Eficacia: 86,666 lm/W.

Cavidad del local: Para calcular **hm** se utiliza la Ecuación 1 teniendo en cuenta que la altura del local es de 3 m, el plano de trabajo corresponde a la altura de la barra que es de 0,85 m y dado que las luminarias son del tipo empotrada, la altura de montaje de éstas es cero.

$$hm = 3\,m - 0{,}85 = 2{,}15\,m$$

Para calcular K se utiliza la Ecuación 2 y se aplica el mismo procedimiento visto en la ***sección 4.2.1***, teniendo en cuenta que el área de esta sección es de 54,891 m^2 se calcula ***l*** ó ***a*** de la siguiente manera.

$$a = l = \sqrt{54{,}891}\,m^2 = 7{,}409\,m$$

$$k = \frac{5 * 2{,}15\,m * (7{,}409\,m + 7{,}409\,m)}{54{,}891\,m^2} = 2{,}902 \approx 3$$

La tabla de coeficientes de utilización de esta luminaria corresponde a la misma Tabla 9, de esta manera teniendo en cuenta las reflectancias de las superficies y el índice de cavidad del local, el coeficiente de utilización queda establecido en 0,69. En cuanto al factor de mantenimiento ya se había establecido que se trataba de un local muy limpio y un periodo de mantenimiento anual, sabiendo que la

luminaria es del tipo cerrada, el FM será igual a 0,98 catalogando la luminaria como “A prueba de polvo”.

1. **Flujo luminoso total requerido:**

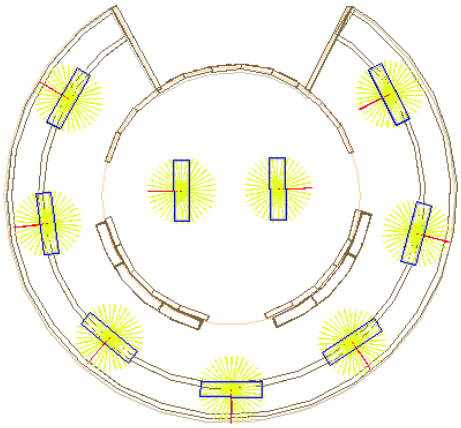
$$\varphi total = \frac{(Emedio * A)}{CU * FM} = \frac{300\ lx * 53{,}252\ m^2}{0{,}69 * 0{,}98} = 23\ 625{,}555\ lm$$

2. **Numero de luminarias requeridas:**

$$N = \frac{\varphi tot}{\varphi l * n} = \frac{23.625{,}555\ lm}{5.200\ lm} = 4{,}54\ luminarias$$

Aunque los cálculos hechos fueron los correctos se deben tener en cuenta los obstáculos presentes en esta zona, los cuales corresponden a las secciones de pared que soportan las estanterías, evitarán que la luz se propague de manera uniforme y afecte la iluminancia promedio deseada, así que en esta parte se debe aplicar el método analítico y se utilizará la capacidad de hacer múltiples cálculos con diferentes cantidades de luminarias y en diferentes posiciones para encontrar la combinación más adecuada. Después de ensayar con varias combinaciones se encontró que siete luminarias distribuidas a lo largo de la barra y dos luminarias en el centro de la bodega proporcionan como iluminancia promedio 298 luxes. A continuación se expone la solución:

Figura 54. Disposición luminarias centro del bar.



4.2.3 Sistema de iluminación sección 3. Ahora se procede a diseñar el sistema de iluminación correspondiente al baño el cual cuenta con un área de 30,19 m^2, tiene el mismo tipo de baldosa decorativa con una reflectancia de 0,53, el mismo techo de ladrillo con reflectancia de 0,23 pero sus paredes están formadas por madera de pino cuyo grado de reflexión es de 0,37. La altura del plano útil se

estableció en 0,8 m. Con estos datos se procede a realizar el cálculo correspondiente.

Cavidad del local: Se utiliza la Ecuación 1 para calcular hm.

$$hm = 3\,m - 0{,}8 = 2{,}2\,m$$

Para calcular K se aplica el mismo método de la ***sección 4.2.1***.

$$l = a = \sqrt{30{,}19}m^2 = 5{,}495\,m$$

$$k = \frac{5 * 2{,}2\,m * (5{,}495\,m + 5{,}495\,m)}{30{,}19\,m^2} = 4{,}004 \approx 4$$

Utilizando la Tabla 9, el coeficiente de utilización queda establecido entonces en 0,71 y el factor de mantenimiento ya se había establecido en 0,98.

1. **Flujo luminoso total requerido:**

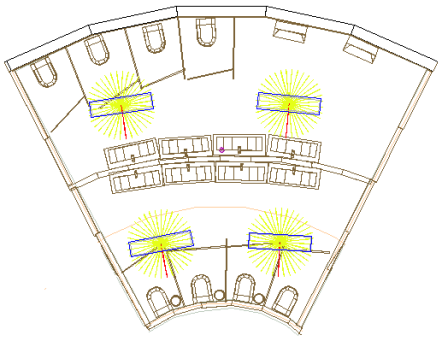
$$\varphi total = \frac{(Emedio * A)}{CU * FM} = \frac{150\,lx * 30{,}19\,m^2}{0{,}71 * 0.98} = 6\,508{,}335\,lm$$

2. **Numero de luminarias requeridas: 0,6958**

$$N = \frac{\varphi tot}{\varphi l * n} = \frac{6\,508{,}335\,lm}{5.000\,lm} = 1{,}3\,luminarias$$

Dada la geometría del local y la cantidad de muros adicionales y puertas que impiden la correcta distribución luminosa, se procede a aplicar el mismo método analítico y se prueba con varias configuraciones hasta encontrar la más adecuada, de esta manera se llego a la siguiente solución, que proporciona 151 lx como iluminancia promedio.

Figura 55. Sistema de iluminación para el baño.



De esta manera se puede concluir que se debe realizar parte del diseño de un sistema de iluminación de manera analítica cuando no se pueden modelar matemáticamente aspectos de la edificación tales como obstáculos o la geometría especifica del local (Figura 50), así que en estos casos se calcula la cantidad de luminarias requeridas para tener una idea de cuantas se deben emplear en el proceso de probar múltiples configuraciones aprovechando la rapidez con la que se realizan los cálculos utilizando este software.

Por último se debe calcular el VEEI que según la Tabla 5 es de 10, al catalogar el bar como un recinto de "Hotelería y Restauración". El primer paso será especificar la cantidad de luminarias utilizadas y la potencia activa que demandan.

Tabla 12. Cálculo de potencia total (P).

Luminaria	Potencia	Cantidad	Potencia total
PHILIPS Rotaris TPS 740	60 W	15	900 W
PHILIPS Smart Form TBS 461	56 W	13	728 W
			1 628 W

El área total de la edificación (S) es de 201,062 m^2 y para determinar Eprom, se debe hacer un promedio de las iluminancias promedio obtenidas con los tres diseños de iluminación.

Eprom sección 1 = 291,771 lx
Eprom sección 2 = 298 lx
Eprom sección 3 = 151 lx.

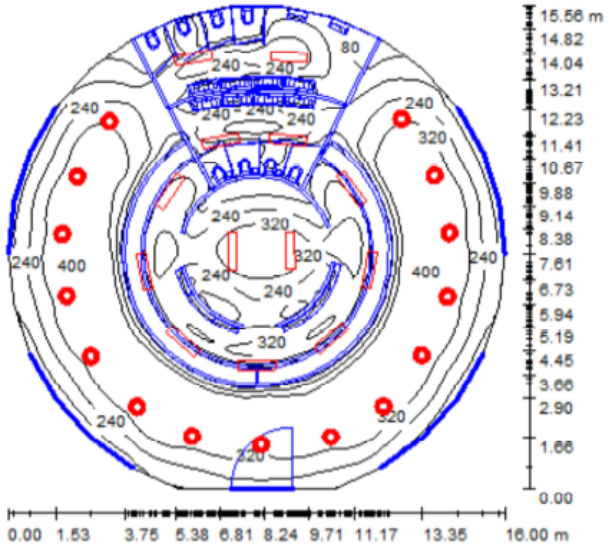
$$Eprom = \frac{291{,}771\ lx\ + 298\ lx\ + 151\ lx}{3} = 246{,}923\ lx$$

Con estos valores se calcula el valor de eficiencia energética utilizando la Ecuación 8:

$$VEEI = \frac{1\,628\ W * 100}{201{,}062\ m^2 * 246{,}923\ lx} = 3{,}279\ \frac{W}{m^2}\ x\ 100\ lx$$

Se hace evidente que el requisito de eficiencia energética se cumplió. A continuación se pueden observar las hojas de "Resumen" y "Superficies de cálculo (sumario de resultados)" para corroborar los resultados obtenidos de iluminancia.

Figura 56. Hoja de resumen.



Altura del local: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.80 — Valores en Lux, Escala 1:200

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	261	9.20	407	0.035
Suelo	53	211	9.61	351	0.046
Techo	23	81	31	336	0.386
Paredes (30)	41	91	1.79	208	/

Plano útil:

Altura:	0.850 m
Trama:	128 x 128 Puntos
Zona marginal:	0.000 m

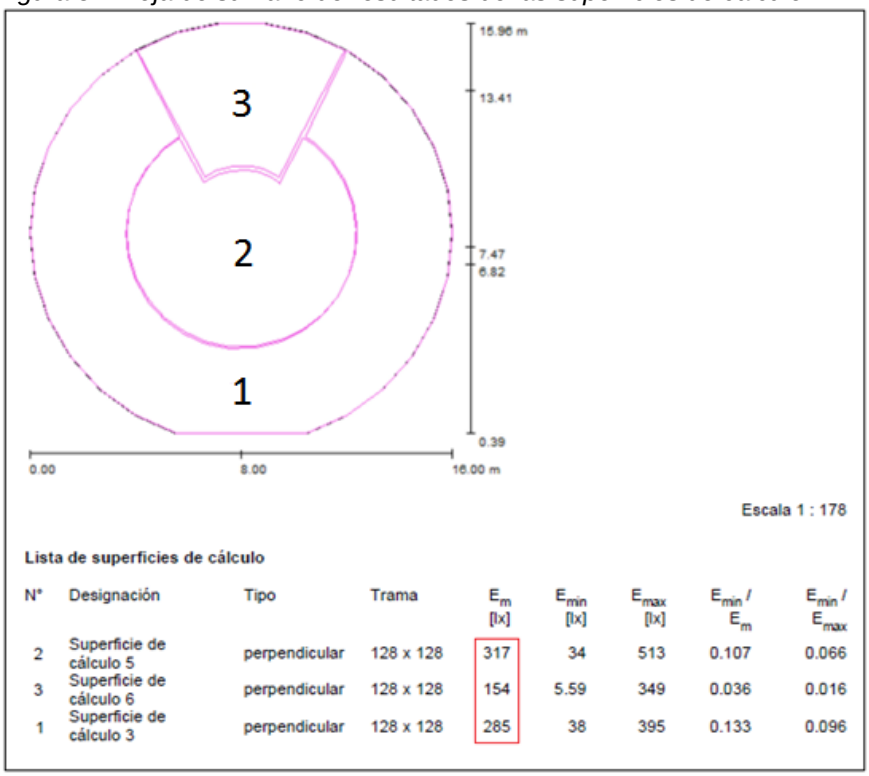
Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	15	Philips Rotaris TPS740 1xTL5C60W/840 HF (1.000)	5000	60.0
2	13	Philips SmartForm TBS461 2xTL5-28W/840 HF AC-MLO (1.000)	5200	56.0
		Total:	142600	1628.0

Valor de eficiencia energética: 8.60 W/m² = 3.29 W/m²/100 lx (Base: 198.42 m²)

Como se puede apreciar en el resumen, los niveles de iluminancia promedio fueron los indicados y además se puede observar que el valor de eficiencia energética también es correcto. De esta manera se concluye el diseño del sistema de iluminación de este bar.

Figura 57. Hoja de sumario de resultados de las superficies de cálculo.



Lista de superficies de cálculo

N°	Designación	Tipo	Trama	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
2	Superficie de cálculo 5	perpendicular	128 x 128	317	34	513	0.107	0.066
3	Superficie de cálculo 6	perpendicular	128 x 128	154	5.59	349	0.036	0.016
1	Superficie de cálculo 3	perpendicular	128 x 128	285	38	395	0.133	0.096

Figura 58. Bar terminado.

5. CONCLUSIONES.

- Al concluir este documento se logró desarrollar una guía muy completa que servirá de base a cualquier persona que esté iniciando su aprendizaje en el área de la iluminación interior y servirá de apoyo a personas que ya posean alguna experiencia en el tema.

- Con el desarrollo de esta guía se expusieron de manera clara todos los aspectos que componen el diseño de un sistema de iluminación interior.

- Adicional al tema de diseño de sistemas de iluminación se dieron a entender aspectos reglamentarios esenciales exigidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP - referente al diseño de sistemas de iluminación interior.

- Mediante los ejemplos que se expusieron en este proyecto se logró crear una guía que permitirá al lector implementarlos y así agilizar el aprendizaje.

- En el desarrollo de este documento se dio a entender la simbología empleada para referirse a las variables y los parámetros que componen un sistema de iluminación interior.

.

BIBLIOGRAFIA

[1]. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, Resolución Número No 18 1331, Bogotá D.C, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Publico – RETILAP. Agosto 06 2009, 246 p.

[2]. COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE, Technical reports and guides, www.cie.co.at, Austria.

[3]. ELECTROCONTROL, Catalogo Online, Colombia, www.electrocontrol.com.co

[4]. Gustav – Adolf – Straße str.4, Guía de usuario DIALux, Alemania, DIAL Gmbh D – 58507 Ludenschied, Documento en línea, 2008, 337 p.

[5]. ROYAL PHILIPS, Catalogo Online, España, www.rotalphilips.com.es