



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

**Proyecto de iluminación del área de
mantenimiento del nuevo aeropuerto
Internacional de la Ciudad de México
General Felipe Ángeles**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

P R E S E N T A

Moisés Abisai García Aguirre

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Arturo Ávila Vásquez

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de: **Tesis.**

Proyecto de iluminación del área de mantenimiento del nuevo aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, General Felipe Ángeles

Que presenta el pasante: **Moisés Abisai García Aguirre.**

Con número de cuenta: **411007269** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de marzo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Arturo Ávila Vázquez	
VOCAL	Ing. Ángel Rueda Ángeles	
SECRETARIO	Ing. Ernesto Alfonso Ramírez Orozco	
1er. SUPLENTE	M. en C. Nidia Mendoza Andrade	
2do. SUPLENTE	Ing. Argelia Ramirez Granados	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/ntm*

Agradecimientos

Este trabajo representa el final de una etapa muy importante de mi vida, y el comienzo de otra. Quiero agradecer a todas esas personas que a lo largo de mi vida universitaria me apoyaron y fueron parte de este logro.

Primero que nada, le doy gracias a Dios por haber finalizado esta etapa de mi vida ya que sin él nada de esto pudo haberse hecho realidad. A mis padres que, gracias a su apoyo en todo momento, por los valores que me han inculcado, sobre todo porque gracias a su esfuerzo pude llegar y terminar mi carrera universitaria. A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar en todo momento.

A todos mis maestros a lo largo de mi vida escolar, ya que gracias a sus enseñanzas y experiencias logré obtener los conocimientos suficientes para llegar a ser un profesionalista.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, ya que durante 5 años fue mi segunda casa, donde no solo aprendí a ser un profesionalista, sino también a ser una persona con grandes valores.

A mis amigos, ya que con ellos fue más placentera mi estancia en la universidad. Ahora solo queda ejercer la profesión de Ingeniero, la cual ejerceré con cariño, honor y responsabilidad, y así contribuir en el desarrollo de este país.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	3
Objetivo	10
Formulación del problema	10
Resultados	10
CAPÍTULO 1 ¿QUÉ ES LA LUZ?	11
1.1 Historia y evolución de la luz	11
1.2 Definición de la luz.....	13
1.3 Comportamiento de la luz en la materia	14
1.3.1 Absorción	15
1.3.2 Transmisión.....	15
1.3.3 Reflexión.....	16
1.4 Luz y color.....	16
1.5 Clasificación de los colores	17
CAPÍTULO 2 CONCEPTOS TÉCNICOS DE ILUMINACIÓN	19
2.1 Luminotecnia	19
2.1.1 Flujo luminoso.....	19
2.1.2 Intensidad luminosa.....	20
2.1.3 Iluminancia.....	20
2.1.4 Luminancia.....	21
2.1.5 Deslumbramiento	22
2.1.6 UGR	22

2.1.7	Temperatura de color.....	25
2.1.8	Índice de Reproducción Cromática	26
2.2	Fotometría de las luminarias.....	27
2.2.1	Curvas fotométricas.....	27
2.2.2	Diagrama polar.....	28
2.2.3	Clasificación de las luminarias por fotometría	30
2.2.3.1	Luminarias de luz directa.....	30
2.2.3.2	Luminarias de luz directa e indirecta	31
2.2.3.3	Luminarias de luz indirecta.....	31
2.2.4	Tipos de luminarias según su aplicación.....	32
2.3	Sistemas de regulación y control de luminarias.....	33
2.3.1	Métodos de control.....	33
2.3.2	Sistemas de control de iluminación.....	34
2.3.2.1	Sistema 0-10 V.....	34
2.3.2.2	Sistema DALI	35
2.3.3	Conexiones	35
2.3.3.1	Sistema de control por detección de movimiento	36
2.3.3.2	Sistema de control DALI	36
2.3.3.3	Sistema DALI con integración al protocolo de comunicacion KNX	37
CAPÍTULO 3	GENERALIDADES DEL INMUEBLE.....	39
3.1	Ubicación del nuevo aeropuerto	39
3.2	Aeropuerto Internacional General Felipe Ángeles	40
3.2.1	Niveles generales y módulos:.....	40

3.3 Funciones del nuevo aeropuerto	42
CAPÍTULO 4 CÁLCULO TEÓRICO MÉTODO LUMEN.....	44
4.1 Información general.....	47
4.2 Selección del coeficiente de utilización.....	49
4.2.1 Paso 1: Completar la Información del siguiente Diagrama:.....	49
4.2.2 Paso 2: Determinar las relaciones de cavidad	50
4.2.2.1Relación Cavidad del cielo	51
4.2.2.2Relación Cavidad de cuarto	51
4.2.2.3Relación Cavidad de piso.....	52
4.2.3 Paso 3: Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de cielo (Dato fotométrico del fabricante en tablas).....	53
4.2.4 Paso 4: Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad del Piso (Dato fotométrico del fabricante en tablas).....	54
4.2.5 Paso 5: Obtener el coeficiente de utilización del Luminario (CU).....	56
4.3 Paso 6. Seleccionar el Factor de Perdida de Luz (Light Loss Factor).....	58
4.3.1 Factores No renovables.	58
4.3.2 Factores Renovables.....	58
4.3.2.1Descripción de los factores renovables	59
4.4 Datos de la memoria de cálculo	64
4.5 Cálculo del número de luminarios	65
CAPITULO 5 DISEÑO POR DIALUX EVO.....	67
5.1 Ubicación de la zona.....	67
5.1.1 División del área de la jefatura de mantenimiento	69
5.1.2 Funciones a realizar dentro del área de mantenimiento.	70

5.2 Datos Preliminares	71
5.2.1 DIALUX EVO 9.0	71
5.2.2 Normativas y Perfiles empleados en el estudio de las Diferentes Áreas de la Jefatura de Mantenimiento.....	72
5.2.2.1 NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.....	72
5.2.2.2 ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, 9. Lighting.....	74
5.2.2.3 UNE-EN 12464-1 Iluminación de los lugares de trabajo en interiores.....	77
5.2.3 Archivo DWG	77
5.2.4 Archivo IES.....	78
5.3 Inicio del diseño de iluminación.....	79
5.3.1 Construcción del Edificio.....	79
5.3.2 Construcción de Locales	81
5.3.3 Construcción de plafones	84
5.3.4 Mobiliario y Texturas.....	85
5.4 Diseño de Iluminación.....	88
5.4.1 Sembrado de luminarias	88
5.4.2 Primer Diseño.....	90
5.4.3 Segundo diseño	92
5.5 Memoria de Calculo.....	94
CAPITULO 6 RESULTADOS DEL DISEÑO DE ILUMINACION.....	96
6.1 Sala de juntas	96
6.1.1 Luminaria Modular:.....	97
6.1.2 Sembrado de luminarias	98

6.1.3 Resultados.....	99
6.1.4 Vistas renderizadas.....	101
6.2 Oficina.....	102
6.2.2 Sembrado de luminarias	102
6.2.3 Resultados.....	103
Aplicación: Escribir, máquina de escribir, lectura y tratamiento de textos.....	103
6.2.4 Imágenes	105
6.3 Sala de espera.....	106
6.3.2 Sembrado de luminarias.....	107
6.3.3 Resultados.....	108
6.4 Dormitorio.....	110
6.4.2 Sembrado de luminarias.....	111
6.4.3 Resultados.....	112
Área: Habitaciones, salas de puerperio.	112
6.5 Baño.....	114
6.5.2 Sembrado de luminarias.....	115
6.5.3 Resultados.....	116
Área: Áreas de Descanso, Sanitarias y de primeros auxilios.	116
6.6 Oficinas generales.....	118
Tira led 2:.....	119
Luminaria Modular:.....	119
DownLigth:.....	120
6.6.2 Sembrado de luminarias.....	121

6.6.3 Resultados	123
Aplicación: Escribir, máquina de escribir, lectura y tratamiento de textos	123
6.6.4 Imágenes	124
CONCLUSIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	130

OBJETIVO

Hacer una propuesta del diseño de la iluminación del Centro de Control de Operaciones de la Jefatura de Mantenimiento del nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México “General Felipe Ángeles”, cumpliendo con los niveles de iluminación marcados en las normativas nacionales e internacionales, además de hacer que la iluminación sea de última generación para obtener la Certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés) que es un sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La información presentada en este trabajo es con finalidad académica y para visualizar el funcionamiento eficiente de la iluminación se deben cumplir estrategias adecuadas de diseño, operación y mantenimiento. En la actualidad la tecnología ha tenido un gran avance en el área de iluminación, en el pasado la tecnología de las luminarias que se utilizaban para emitir luz era de gran tamaño y poco eficiente, ahora la tecnología es más pequeña y duradera debido al descubrimiento del LED (Light Emitting Diode).

Así como la iluminación ha cambiado a lo largo de los años, las herramientas para poder diseñar un espacio iluminado también han cambiado, antes los cálculos eran largos y no se contaban con muchos datos como los que hay en la actualidad, por lo que un análisis comparativo del cálculo manual con el cálculo del software nos permitirá tener un panorama completo para elegir el sistema de iluminación LED (Light Emitting Diode) más eficiente.

RESULTADOS

El presente trabajo presenta un análisis y solución al problema que implica la actualización del diseño de iluminación en interiores. Lo anterior, será resuelto a través del software de DIALux EVO 9.0, considerando los pasos a llevar en el diseño y a la normalización vigente. Adicionalmente, se describen las ventajas y desventajas del método de cálculo teórico y del cálculo por medio del software.

CAPÍTULO 1 ¿QUÉ ES LA LUZ?

1.1 Historia y evolución de la luz

El hombre en la antigüedad tenía un problema enorme en cuanto llegaba la noche y el sol dejaba de alumbrar, la necesidad era el ver claramente en los espacios oscuros donde la luz del sol daba por el día, pero al llegar la noche el sol que alumbraba se escondía y al no tener una capacidad de visión nocturna el hombre tuvo que ingeniar sistemas de iluminación que permanecieran alumbrando esos espacios por un periodo corto, estos sistemas se fueron perfeccionando según los avances tecnológicos y las necesidades de cada época.

Aunque no hay evidencia del inicio de los sistemas de iluminación, se ha planteado la hipótesis de que el primer método de iluminación fue las antorcha, luego las vela y luego otras técnicas avanzadas para garantizar la continuidad del fuego mediante la detección de combustible inflamable.

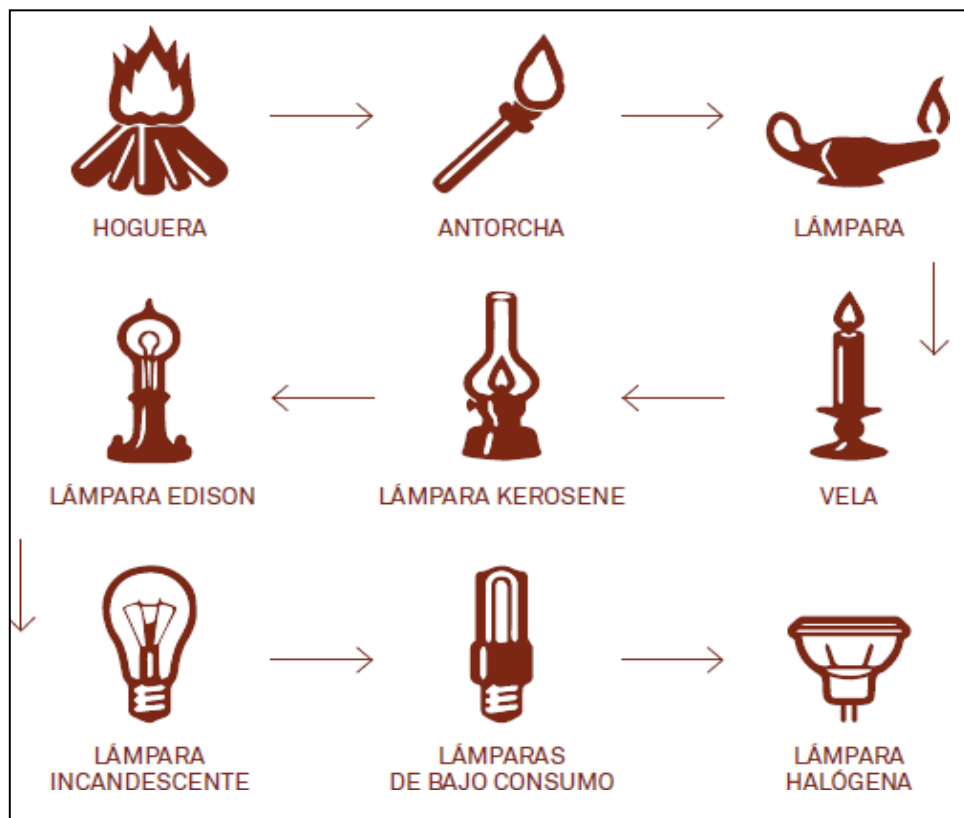


Figura 1.1.- Evolución de la iluminación a partir del descubrimiento de una fuente de iluminación como el fuego.

Así, después de clavar antorchas en el suelo o en las paredes de las cuevas, se utilizaron las primeras lámparas de aceite, según registros históricos, las lámparas de aceite fueron la siguiente forma de utilizar combustible inflamable dentro de un recipiente, no eran más que un trozo de grasa que era vertido rocas, se dice que fueron utilizadas durante la edad de hielo.

No fue hasta el siglo XVIII que las velas se hicieron por primera vez con cera extraída del aceite de ballena, y en el siglo XIX estas velas fueron reemplazadas por velas hechas de una mezcla de parafina y ácido esteárico (un ácido graso sólido) y cera de abejas.

Con el paso del tiempo, las lámparas y velas se adaptaron a cambios de acuerdo a las necesidades que al hombre se le presentaran ejemplo de ello fueron los faroles de cristal, que evitaban que se apagara la vela por corrientes de aire.

En 1795, William Murdoch construyó la primera instalación de lámparas de gas de Inglaterra, pero podemos estar seguros de que así es como las luces comenzaron a propagarse por primera vez. El año 1878, año que marca definitivamente el antes y el después de nuestra historia, el estadounidense Thomas Alba Edison inventó la bombilla de filamento de carbono con el fin de intentar que alumbrara el mayor tiempo posible sin apagarse.

En 1938, las primeras lámparas fluorescentes se fabricaron en forma de tubos llenos de gases especiales (por ejemplo, neón) o sustancias fluorescentes, que se combinaban con descargas y se convertían en luz.

En la actualidad la tendencia en iluminación es la tecnología LED, presente desde la década de los 60 cuando Nick Holonyak inventó el primer LED que emitía el espectro visible. Aunque en este tiempo solamente emitía en color rojo y su única función era la de indicador debido a que su luz aun no era suficiente para iluminar grandes superficies, en 1971 estuvieron disponibles en colores verde, naranja y amarillo. En la década de los 90 se desarrollaron los ultravioleta y

azules, lo que permitió crear LED de luz blanca este hecho y la gran luminosidad conseguida lo convierte en un elemento muy útil y económico en la iluminación.

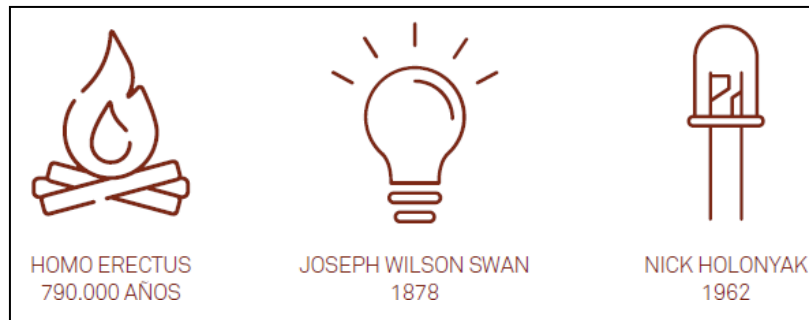


Figura 1.2.- Evolución de la Tecnología para la Iluminación.

El LED es un dispositivo que ha estado y está en continuo desarrollo. Durante más de treinta años, ha sido utilizado como señalización e iluminación industrial, en productos de consumo como teléfonos inteligentes, televisiones, automóviles, ordenadores, señales de tráfico o en el ámbito de la decoración. Ahora los podemos encontrar para iluminar grandes espacios generando un gran ahorro energético para los consumidores.

1.2 Definición de la luz

La luz es una radiación electromagnética y generalmente nos referimos a la que nos es visible. La luz se transmite en forma de ondas cuyo reflejo ilumina las superficies permitiéndonos ver los objetos y los colores a nuestro alrededor.

Los colores que el ojo humano puede distinguir se sitúan dentro de lo que se denomina el espectro visible de la luz. Comprende las emisiones radiantes de longitud de onda desde 380nm hasta 780 nm.

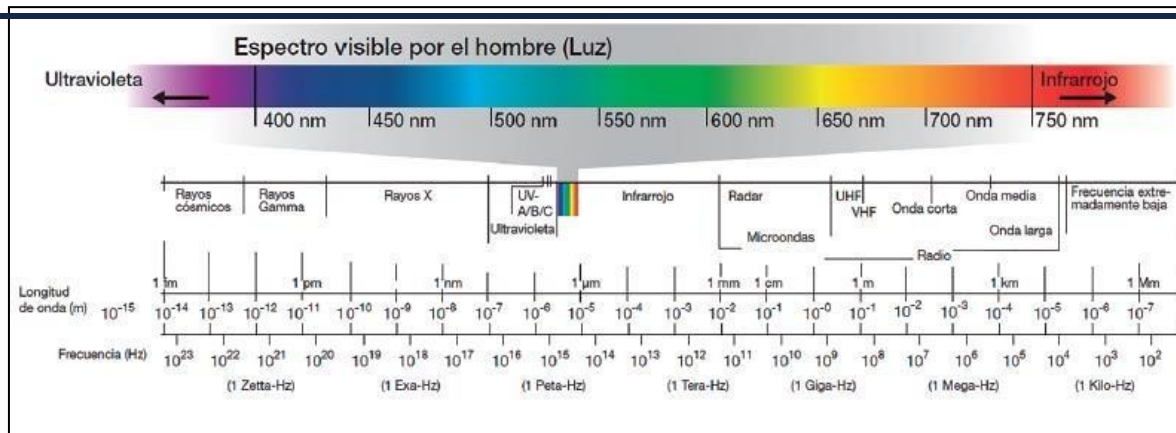


Figura 1.3.- El espectro electromagnético. *Imagen* tomada de la ChemWiki de UC Davis (Universidad de California en Davis), *CC-BY-NC-SA 3.0*.

En este sentido, la luz se manifiesta mediante longitudes de onda. En el extremo de las ondas más largas tenemos el tipo de radiación como el de las ondas de radio, y en el extremo de las ondas más cortas se encuentran los rayos gamma. Ambos extremos del espectro son invisibles para la visión humana.

Las formas en que se propaga la luz son definidas en lo que se conoce como el espectro electromagnético. La luz visible se encuentra entre la luz infrarroja y la luz ultravioleta.

Como fuente de luz nos referimos a todo lo que origina energía, ya sea en términos visibles o invisibles. Por ejemplo: el sol produce luz en forma de energía lumínica dentro del espectro electromagnético que se encuentra entre la luz visible y la luz ultravioleta, y las fuentes de alimentación que generan luz eléctrica con tecnologías de eficiencia y ahorro energético como las luces LED.

1.3 Comportamiento de la luz en la materia

La luz emitida por una fuente luminosa se comporta de manera diferente en función del medio en el que se encuentre o de la superficie a la que esté dirigida. Por este motivo, la elección de los materiales que utilizamos es igual de importante que la fuente en sí.

Cuando los rayos de luz inciden en una superficie pueden darse varios fenómenos:

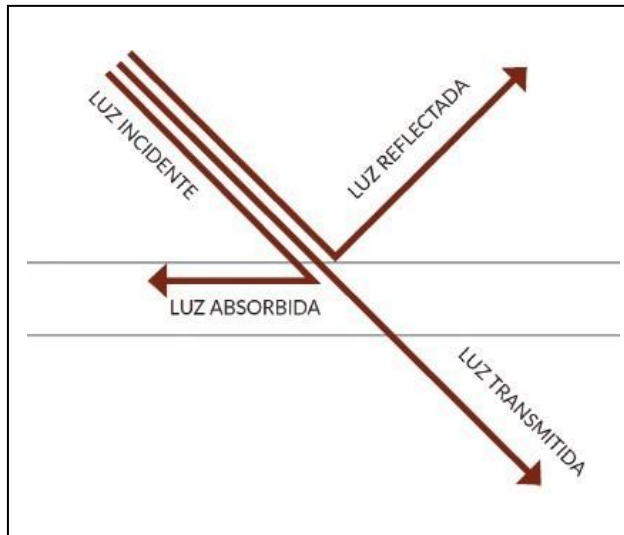


Figura 1.4.- Diferentes comportamientos de un haz de luz direccionado a un objeto.

1.3.1 Absorción

Es el fenómeno según el cual la materia absorbe toda o parte de la luz visible que incide sobre esta. Un material como el terciopelo negro absorberá gran parte de la luz, por el contrario, una pared blanca reflejará la mayoría de la radiación recibida.

1.3.2 Transmisión

Tiene lugar cuando la luz incide sobre un material y pasa a través de este. En función de la transparencia tenemos tres tipos de materiales.

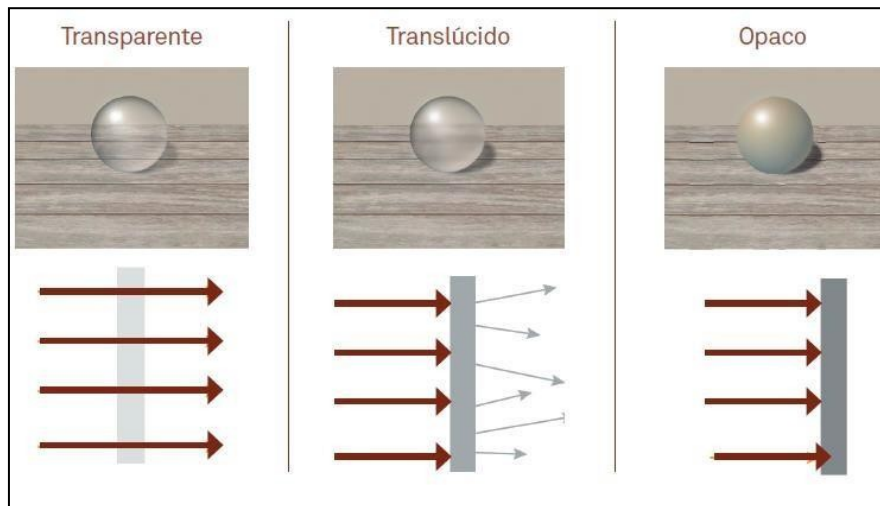


Figura 1.5.- Comportamiento de la luz en los diversos materiales.

1.3.3 Reflexión

Ocurre cuando los rayos de luz inciden sobre una superficie y tras chocar con ella, vuelven al medio del que salieron (VER FIGURA 1.5).

1.4 Luz y color

La luz blanca está formada por una mezcla de colores. La luz solar y la luz incandescente contienen todos los colores del espectro: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. La luz blanca percibida es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles. El espectro visible se puede descomponer en sus diferentes longitudes de onda mediante un prisma de cuarzo que refracta las distintas longitudes de onda selectivamente (VER FIGURA 1.6).

El color es una interpretación subjetiva psicofisiológica del espectro electromagnético visible. Las sensaciones luminosas o imágenes que se producen en nuestra retina, al enviarlas al cerebro, son interpretadas como un conjunto de sensaciones monocromáticas que constituyen el color de la luz. El sentido de la vista no analiza individualmente cada radiación o sensación cromática. A cada radiación le corresponde una denominación de color, según la clasificación del espectro de frecuencias.

Es importante indicar que distinguimos a los objetos por el color asignado según sus propiedades ópticas, pero en ellos ni se produce ni tienen color. Lo que sí tienen son propiedades ópticas de reflejar, refractar y absorber los colores de la luz que reciben, es decir: el conjunto de sensaciones monocromáticas aditivas que nuestro cerebro interpreta como color de un objeto depende de la composición espectral de la luz con que se ilumina y de las propiedades ópticas que posea el objeto para reflejarla, refractarla o absorberla.

Fue Newton el primero en descubrir la descomposición de la luz blanca en el conjunto de colores que forma el arco iris. Al hacer pasar un haz de luz blanca a través de un prisma obtuvo el efecto que se indica en la siguiente imagen.

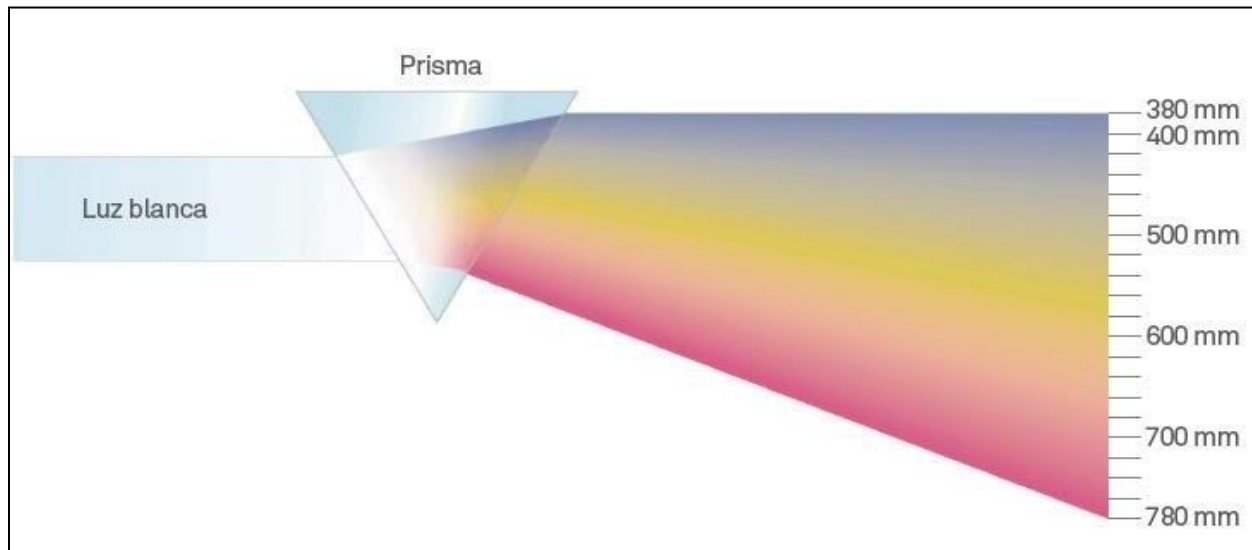


Figura 1.6.- Un rayo de luz blanca atraviesa un prisma de cristal, aparecen los colores del arcoíris.

1.5 Clasificación de los colores

La evaluación subjetiva de las superficies de los objetos, tal y como son percibidas por el ojo, se interpretan en función de los atributos o cualidades del color. Éstas son:

Claridad o esplendor: Radiación luminosa que recibimos según la iluminancia que posea el objeto. Un objeto es más claro cuanto más se aleja su color del negro en la escala de grises. Hace referencia a la intensidad.

Tono o matiz: Nombre común del color (rojo, amarillo, verde, etc.). Hace referencia a la longitud de onda.

Pureza o saturación: La proporción en que un color está mezclado con el blanco. Hace referencia a la pureza espectral.

Para evitar la evaluación subjetiva del color existe el diagrama cromático en forma de triángulo, aprobado por la C.I.E., que se emplea para tratar cuantitativamente las fuentes de luz, las superficies coloreadas, las pinturas, los filtros luminosos, etc. Todos los colores están ordenados según tres coordenadas cromáticas, x , y , z , cuya suma es siempre la unidad ($x + y + z = 1$) y cuando cada una de ellas vale 0.333 corresponde al color blanco. Estas tres coordenadas se

obtienen a partir de las potencias específicas para cada longitud de onda. Se fundamenta en el hecho de que al mezclar tres radiaciones procedentes de tres fuentes de distinta composición espectral se puede obtener una radiación equivalente a otra de distinto valor. El resultado en el que con dos coordenadas cualesquiera es suficiente para determinar el color de la radiación resultante formada por la mezcla aditiva de tres componentes.

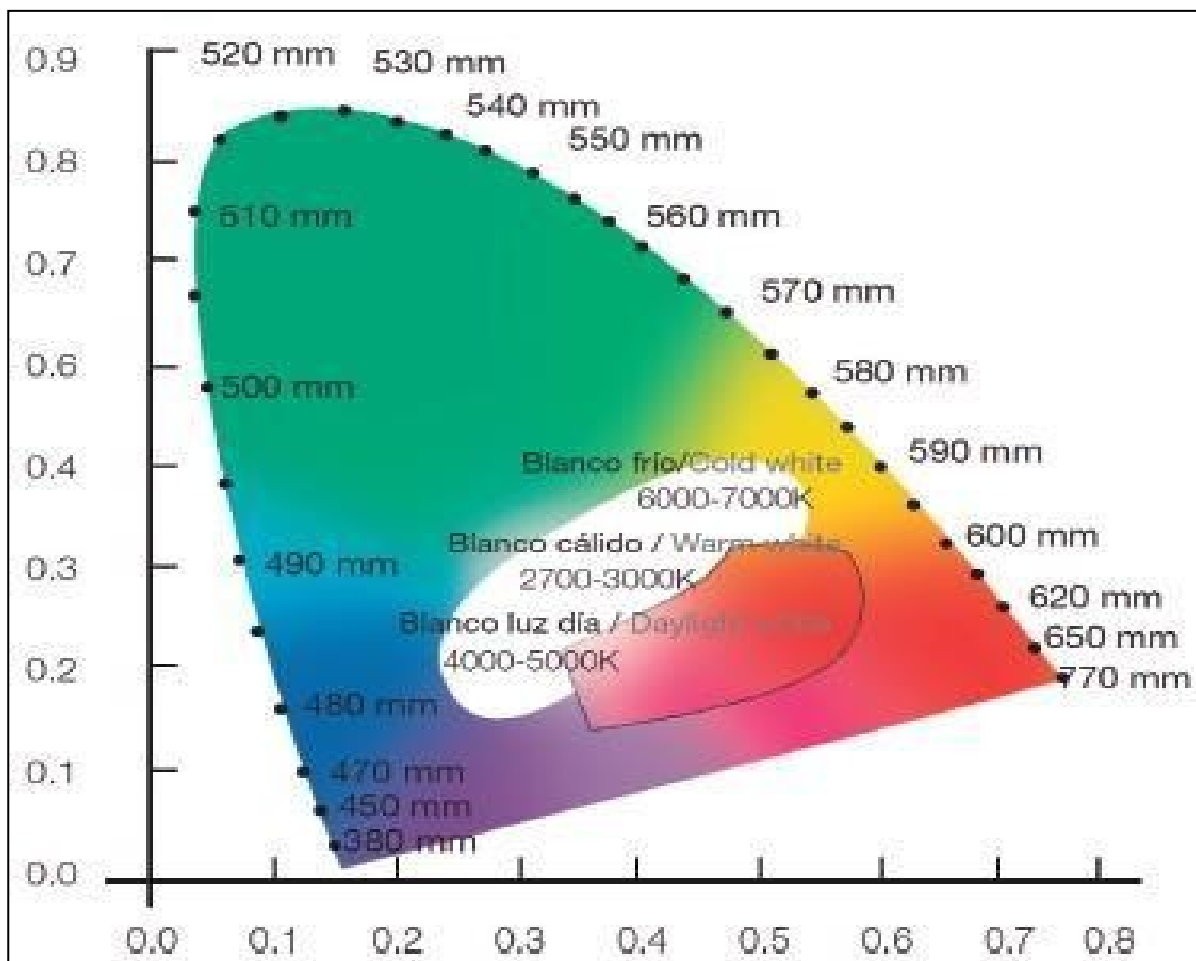


Figura 1.7.- Diagrama Cromático.

CAPÍTULO 2 CONCEPTOS TÉCNICOS DE ILUMINACIÓN

2.1 Luminotecnia

La Luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación. Sus magnitudes principales son:

- Flujo Luminoso
- Intensidad Lumínica
- Iluminancia
- Luminancia
- Deslumbramiento
- UGR
- Temperatura de Color
- CRI (Índice de Reproducción Cromática)

2.1.1 Flujo luminoso

Es la cantidad de luz irradiada por una fuente lumínica en todas las direcciones. La analogía más común que se usa para explicar el flujo luminoso es la del flujo del agua: como se vería un aspersor de jardín cuando los chorros de agua se dispersan y viajan hacia el exterior.

- Unidad de medida: lm (Lumen)
- Símbolo: ϕ (la letra griega "Phi")
- La eficacia luminosa es la relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida, y se mide en lúmenes por watt. (lm/W).

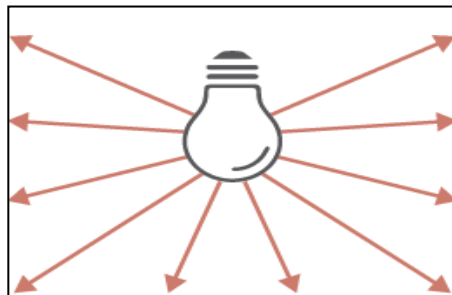


Figura 2.1.- Representación gráfica del Flujo luminoso.

2.1.2 Intensidad luminosa

Es el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Asimilándolo hidráulicamente, sería la intensidad de agua lanzada en una dirección.

- Unidad de medida: Cd (Candela)
- Símbolo: I (letra I)

En la documentación técnica del producto, está representada por la curva de distribución luminosa de intensidad.

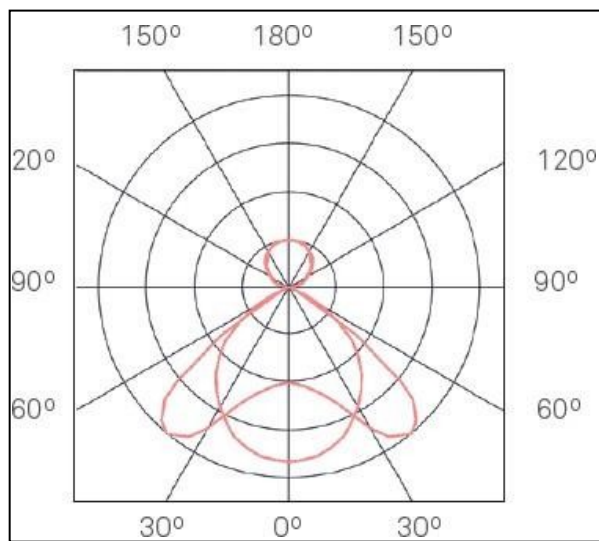


Figura 2.2.- Ejemplo de la curva de distribución luminosa de una luminaria directa/indirecta con componente indirecta asimétrica.

2.1.3 Iluminancia

Iluminancia es un término que describe la medición de la cantidad de luz cayendo de un luminario y expandiéndose en una superficie determinada

- Unidad de medida: Lux $1 \text{ Lx} = 1 \text{ lm/m}^2$
- El símbolo: letra E (Épsilon)

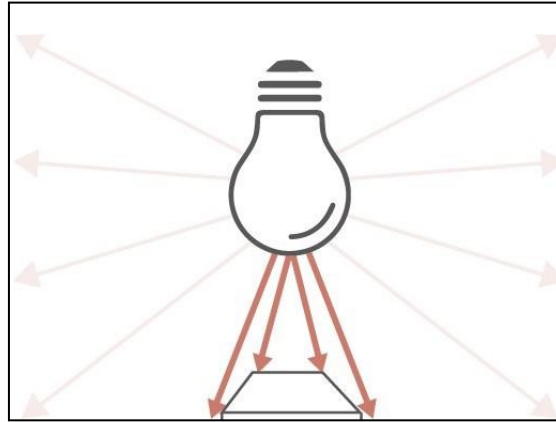


Figura 2.3.- Imagen gráfica de la iluminancia en la superficie de una mesa.

2.1.4 Luminancia

Se llama luminancia a la cantidad de flujo luminoso reflejado por una superficie u objeto que percibe el ojo humano. En cualquier caso, podemos decir que la luz que vemos es la luminancia.

Para seguir con el símil hidráulico la luminancia es como el agua que rebota en cualquier superficie, de la que dependerá del grado de absorción que tenga el material.

- Su símbolo es la letra L
- La unidad de Medida: candela por metro cuadrado (cd/m^2)

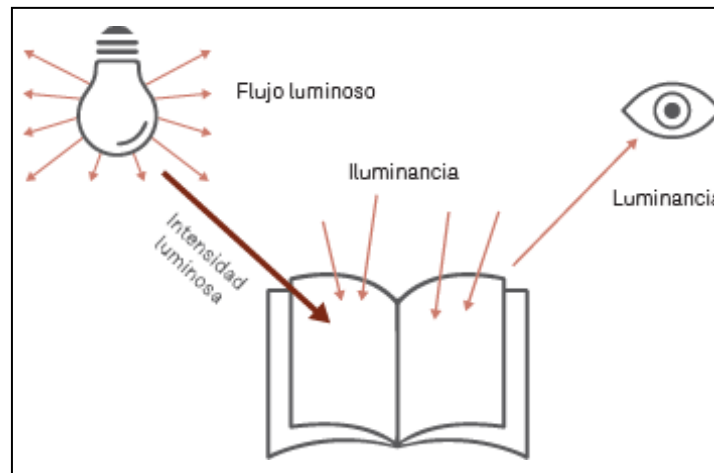


Figura 2.4.- Diferencia grafica entre la Iluminancia y Luminancia.

2.1.5 Deslumbramiento

El deslumbramiento, en términos fisiológicos de visión, se define como una pérdida de sensibilidad más o menos larga (falta de adaptación). Proviene de un exceso de luminancia y puede ser directo (visión de la fuente), reflejado (provocado por una superficie reflectante de luminancia demasiado elevada) o bien por un contraste demasiado violento.

Según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE por sus siglas en francés), el deslumbramiento puede ser de dos clases: molesto y perturbador. El deslumbramiento perturbador produce el efecto de reducir la aptitud de distinguir los objetos, mientras que el molesto, aunque permite reconocer los objetos, puede ser igualmente perjudicial al exponerse prolongadamente. Para evitarlo se requiere del equilibrio de las luminancias, en el caso de interiores estabilizando la relación entre el fondo y los espacios donde se realizan tareas específicas. En el caso de exteriores en ocasiones si se cumplen los límites del deslumbramiento molesto, el deslumbramiento perturbador puede llegar a ser admisible.

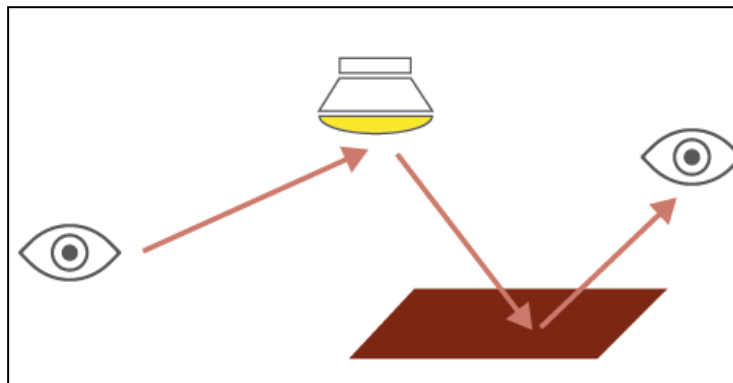


Figura 2.5.- Deslumbramiento por fuente de luz y por reflejo en superficie.

2.1.6 UGR

Desde los años 60 muchos países han empleado distintos diagramas para determinar si una determinada luminaria podía ser empleada en un determinado espacio interior sin que causara un deslumbramiento molesto, unos basados en el método Söllner y otros como El Reino Unido, Bélgica y los países escandinavos basados en un método completamente diferente llamado

“Índice de deslumbramiento IES”. En Estados Unidos usaban el sistema VCP (Visual Comfort Probability) por mencionar algunos.

En 1995 la Comisión Internacional de Iluminación (CIE por sus siglas en francés) estableció un método que tuviera la máxima aceptación en todo el mundo generando una recomendación en la que el llamado método UGR es la base de la limitación del deslumbramiento en iluminación de interior e incorporando elementos de los sistemas europeos y el método IES.

El estandarizado UGR (Unified Glare Rating) matemáticamente es sencillamente el logaritmo (en base 10) de la luminancia de todas las fuentes de luz, respecto a la del fondo.

Obteniéndose con la formula

$$UGR = \log \frac{0.25}{L_b} \sum_n \left(L_n^2 \frac{W_n}{p_n^2} \right)$$

Donde:

L_b: Iluminación del fondo

L_n: Iluminación de la fuente visible

W_n: Angulo solido de la fuente de luz visto desde el Observador

P_n: Índice de posición de Guth de cada fuente

Dentro de la ecuación de manera más práctica debemos entender que las principales variables que dan como resultado el valor UGR son:

- Las características técnicas y constructivas de la luminaria.
- El Índice de reflexión de las superficies adyacentes (suelos, techos, ventanas, superficies, mesas brillantes, espejos, etc)

- La posición y dirección específica de la vista en el observador respecto a la lumínaria (ángulo lumínico directo producido por la altura y distancia de la lámpara).

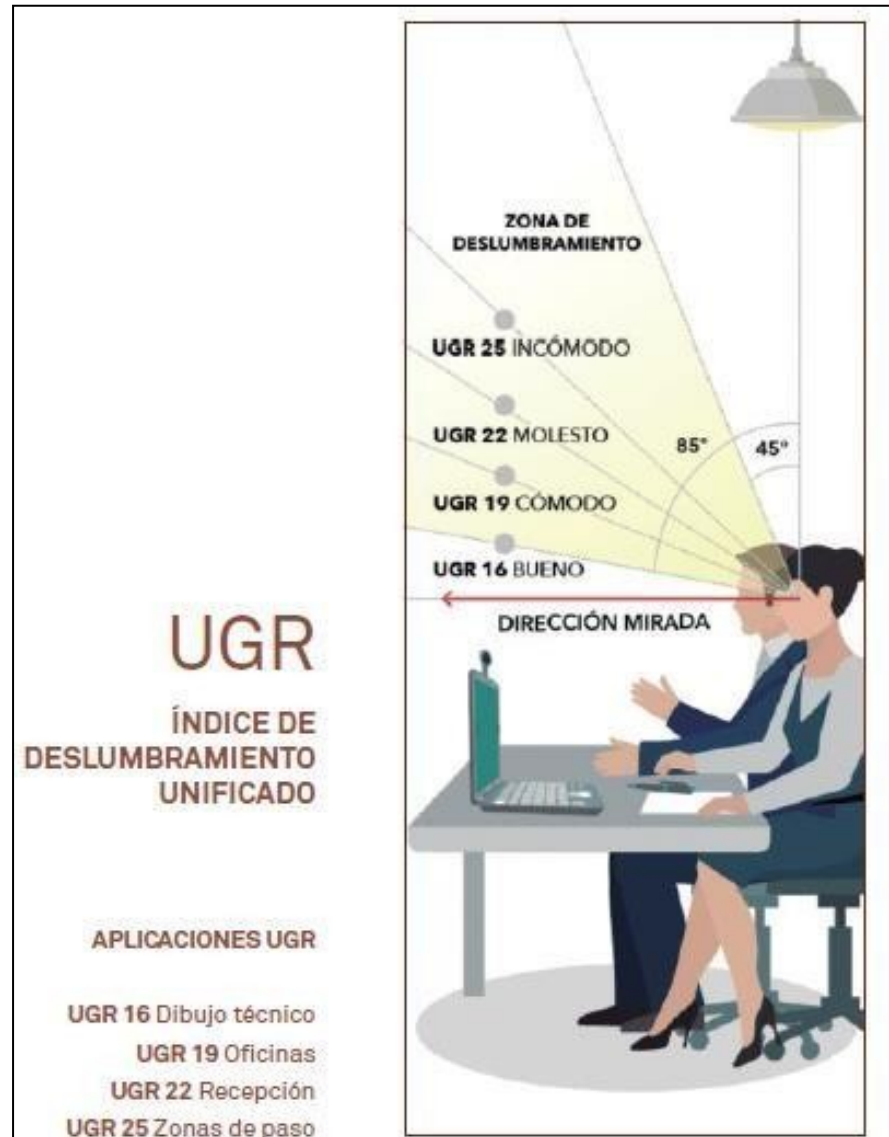


Figura 2.6.- Distintos ángulos del deslumbramiento donde se puede medir el UGR.

Obteniéndose un valor que describe el brillo molesto según la posición del observador y la dirección de la vista, cuanto mayor sea el índice de deslumbramiento unificado UGR, mayor será la sensación de deslumbramiento (menor confort) por lo tanto en función del tipo de actividad se recomienda un límite máximo para dicho índice.

Existen valores normativos que van desde un UGR de 10 a 31, siendo 16 no deslumbrante y 28 deslumbrante. Los más comúnmente utilizados son 16, 19, 22, 25 y 28. Este incremento cada tres dígitos se debe a que la variación no es perceptible a la vista de manera unitaria.

2.1.7 Temperatura de color

La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro, o sea del “radiante perfecto teórico” (objeto cuya emisión de luz es debida únicamente a su temperatura). Como cualquier otro cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura adquiriendo, al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

El color, por ejemplo, de la llama de una vela, es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1.800 K, y la llama se dice entonces, que tiene una “temperatura de color” de 1.800 K.

Las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2.700 y 3.200 K, según el tipo, por lo que su punto de color determinado por las correspondientes coordenadas queda situado prácticamente sobre la curva del cuerpo negro. Esta temperatura no tiene relación alguna con la del filamento incandescente.

Por lo tanto, la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura. Define sólo color y sólo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro.

La equivalencia práctica entre apariencia de color y temperatura de color se establece convencionalmente según la siguiente figura.



Figura 2.7.- Escala de Temperatura de color.

2.1.8 Índice de Reproducción Cromática

El dato de temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de colores. Así, dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

El Índice de Reproducción Cromático, caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El Índice de Reproducción Cromático ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

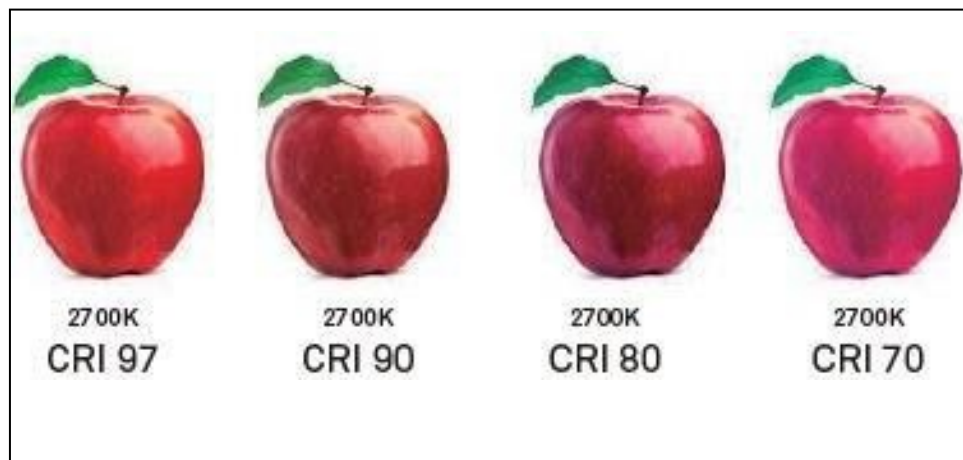


Figura 2.8.- Representación del CRI en porcentajes.

2.2 Fotometría de las luminarias

La fotometría define la forma y dirección de la distribución de la luz emitida por la lámpara en el espacio. Esta información, ya sea en forma de tablas o curvas, se utiliza para conocer de antemano como se distribuye la luz y poder hacer una correcta selección de los sistemas de iluminación en la etapa de diseño del proyecto.

Los datos fotométricos estarán proporcionados por los fabricantes, ya que su cálculo se realiza en laboratorios con aparatos específicos.

2.2.1 Curvas fotométricas

Cuando se hace referencia a las curvas fotométricas, se está hablando de unas gráficas que indican la distribución espacial de luz en un plano de coordenadas polares que cuenta con variables de distancia e intensidad luminosa. Cada luminaria cuenta con una curva de distribución particular, por este motivo, se deberá elegir la más adecuada según sea el caso de la aplicación.

Para llevar a cabo la integración del gráfico, se puede tomar como ejemplo contar con una luminaria colocada de acuerdo a la aplicación, como la luz de un techo. Si situamos un papel en posición vertical en el centro del lado superior, las líneas que se marcarán concéntricas se corresponderán con la intensidad lumínica. Cuando dos de estas mediciones coinciden, se estará hablando de una simetría de la óptica de la luminaria.

Algunos fabricantes de luminarias en la ficha técnica de sus productos hacen un apartado donde indican el modelo y tipo de curva de dicha luminaria, les dejo un ejemplo de ellas:

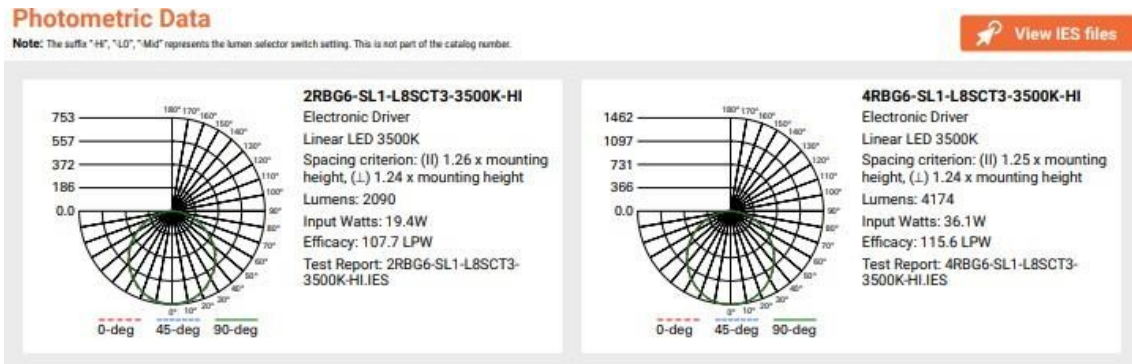


Figura 2.9.- Curva fotométrica simétrica de luz directa para empotrar en plafón de la marca Cooper Lighting.

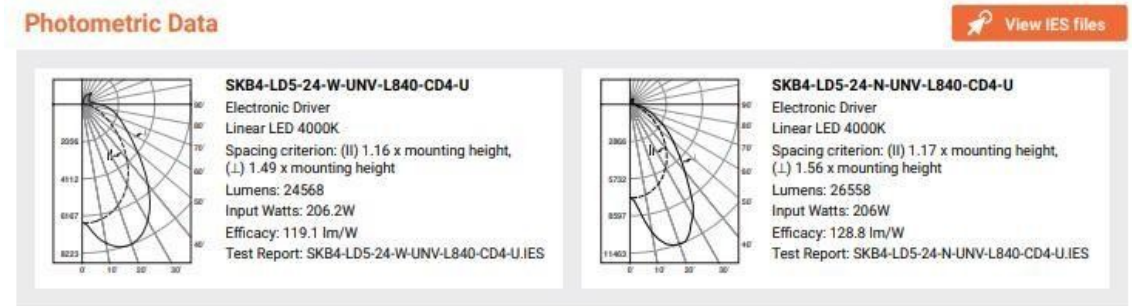


Figura 2.10.- Curva fotometría asimétrica de luz directa para sobreponer o suspender de la marca Cooper Lighting.

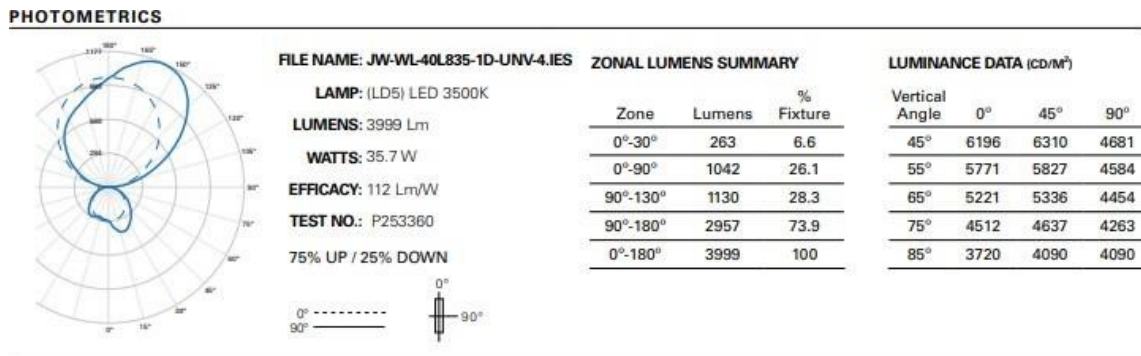


Figura 2.11.- Curva fotométrica simétrica de luz indirecta de la marca Cooper Lighting.

2.2.2 Diagrama polar

Las curvas de distribución de la intensidad luminosa están formadas por las curvas polares que se obtienen en el laboratorio. Intentan describir en qué dirección o cuál es la intensidad con la que se distribuye la luz alrededor de diversos ángulos verticales de la fuente.

Es un dibujo tridimensional que no es demasiado práctico por sí solo. Por lo general, la industria de la luminotecnía solo emplea las curvas que son obtenidas al cortar dicho sólido a través de dos planos verticales. Uno de ellos está orientado a lo largo del eje longitudinal de la luminaria. Mientras que el otro discurre por el eje transversal, y está situado en perpendicular y, en consecuencia, de modo transversal a la luminaria.

En las curvas fotométricas de distribución luminosa, la distancia de cualquiera de los puntos de la curva al centro indica la intensidad luminosa de dicha fuente en esa dirección. Así mismo, para evitar la tarea de tener que hacer un gráfico para cada lámpara o luminaria cuando la única variación es la potencia de la misma, los gráficos se estandarizan para una fuente de 1000 lúmenes, y en los que el dibujo queda expresado en $\text{cd}/1000\text{lm}$ (Candela por cada mil lúmenes). Si se quiere conocer los valores reales de las intensidades, basta con ampliar el flujo luminoso de la lámpara por la lectura en el diagrama polar, para posteriormente dividirlo por 1.000 (lm).

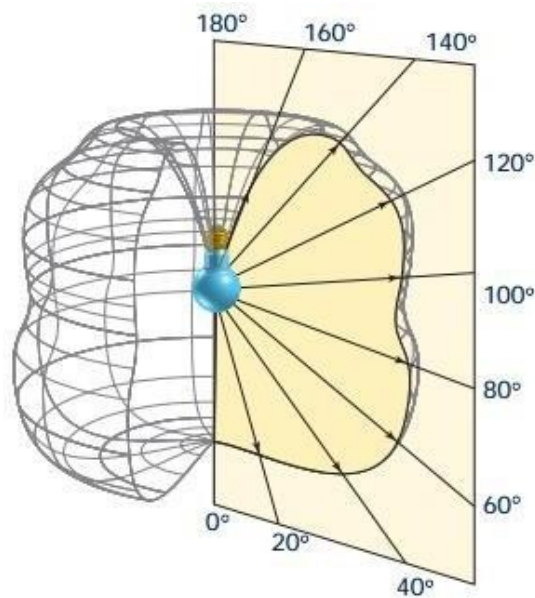


Figura 2.12.- Visualización 3D del diagrama polar.

2.2.3 Clasificación de las luminarias por fotometría

Como es complicado trabajar en tres dimensiones, para simplificar el trabajo se realizan cortes al sólido fotométrico de modo que se obtiene una curva en dos dimensiones, conocida como **curva polar**, mucho más sencilla de comprender.

Normalmente la curva polar representa los dos planos verticales: el transversal (0°) y longitudinal (90°), aunque si la intensidad máxima no está contenida en estos dos planos, se representa también la curva polar del plano que la contiene. De este modo se puede visualizar y clasificar las distintas luminarias que se encuentran en el mercado.

2.2.3.1 Luminarias de luz directa

Son aquellas luminarias cuyo flujo luminoso emitido bajo el plano horizontal que pasa por el vértice de la fuente de luz, es igual o superior al 90% del flujo luminoso útil de dicha fuente. Este sistema, proporciona los rendimientos lumínicos más elevados, ya que el aprovechamiento del flujo luminoso es máximo, proporcionando altos coeficientes de utilización. Presenta una iluminación con sombras muy duras, delimitando fuertemente las zonas de luz y sombra, y marcando mucho los relieves, pero tiene el peligro de que puede producir deslumbramientos, por lo general, estas luminarias suelen ir provistas casi siempre de difusores. No todo el flujo que proporcionan es totalmente directo, sino que también un porcentaje importante es reflejado.



Figura 2.13.- Luminaria de luz directa.

2.2.3.2 Luminarias de luz directa e indirecta

Son aquellas luminarias cuyo flujo luminoso emitido bajo el plano horizontal, que pasa por el vértice de la fuente de luz, está comprendido entre el 40% y el 60% del flujo luminoso útil. La diferencia entre estos dos tipos de luminarias estriba, en que las de radiación directa- indirecta, prácticamente no emiten luz en sentido horizontal, proyectándola preferentemente hacia arriba y hacia abajo. En la imagen se representa este tipo de luminaria. Este sistema suele presentar una iluminación agradable pero monótona, carece de sombras y por lo tanto de relieves, sin embargo, no suele producir deslumbramientos.



Figura 2.14.- Luminaria de luz directa e indirecta.

2.2.3.3 Luminarias de luz indirecta

Estas son luminarias cuyo flujo luminoso emitido bajo el plano horizontal, que pasa por el vértice de la fuente de luz, es inferior al 10% del flujo luminoso útil. Este sistema proporciona un alumbrado de una gran calidad artística y precisa que los techos y paredes sean claros. La fuente de luz, por lo general, va oculta y por ello no deslumbra. Es una iluminación cuyo rendimiento baja notablemente, pero proporciona una iluminación muy suave y sin sombras o con sombras muy débiles.

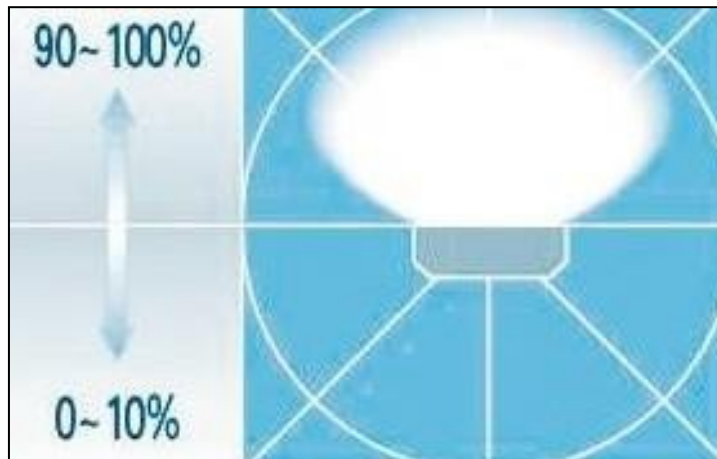


Figura 2.15.- Luminaria de luz indirecta.

2.2.4 Tipos de luminarias según su aplicación

Tiras de Led: Luminaria lineal pensada para instalaciones con medidas aleatorias. Por esta razón, éstas pueden ser instaladas en superficies con distintas medidas, según el tipo de instalación que se desee, tanto para luz directa como indirecta.

Proyectores: Luminaria integrada en carril que permite una flexibilidad en la instalación. Según modelos se puede escoger entre distintos ángulos de apertura para una mayor versatilidad de su uso.

Downlights: Luminaria integrada en techo. Su instalación puede ser empotrada o de superficie, pudiendo llegar a ser orientable.

Suspendidas: Luminaria suspendida, donde se puede regular altura. Debido a requerimientos técnicos algunas de las piezas suelen establecer límites de suspensión.

Arbotantes: Luminaria adosada en pared. Flexibilidad en altura de instalación, su ubicación habitual es a 1,80 m o 2 m respecto del suelo.

2.3 Sistemas de regulación y control de luminarias

Controlar y regular una luminaria se basa en encender, apagar, modificar la cantidad de iluminación, y en el caso que la luminaria lo permita modificar la temperatura de color o el color RGB (Red, Green, Blue).

Objetivos al incorporar control y regulación:

- Ahorro energético.
- Creación de ambientes de luz.
- Adaptación de la iluminación en función de las necesidades de cada persona o momento.
- Mantener los biorritmos del cuerpo humano (Ciclo circadiano).
- Aumento de la vida útil de las lámparas.
- Reducción de los costos en instalaciones conmutadas o de cruzamiento.

Tipos principales de sistemas de control y regulación:

- Regulación o control bajo demanda del usuario, por interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia.
- Regulación de iluminación artificial según el aporte de luz natural.
- Control del encendido y apagado según presencia en zona.
- Regulación y control por sistema centralizado de gestión.
- Regulación en función del momento del día y temperatura de color natural (Ciclocircadiano)

2.3.1 Métodos de control

Detección de movimiento: Sensor de movimiento, presencia o PIR (Passive Infrared) que responde al movimiento del calor corporal en una zona determinada, encendiendo o apagando la luz según la presencia o la ausencia de personas en movimiento. Tiene un periodo de retardo.

Regulación en función de la luz natural o diurna: Mediante un detector (fotocélula o sensor de luminosidad) en la luminaria o en el techo para medir la cantidad de luz total (natural y/o artificial) que hay en el local. Esta medición se lleva al sistema de control, que ordena la regulación del flujo de las lámparas del área controlada para mantener un nivel de iluminación constante y correcto.

Nivel de iluminancia constante: Solución incorporada en el driver o en el sistema de control para mantener un nivel de iluminación constante a lo largo de la vida útil de la lámpara. A medida que transcurren las horas de funcionamiento, el flujo luminoso disminuye y el sistema aumenta gradualmente el flujo que inicialmente había atenuado.

Control horario y por fechas: Encender, apagar y regular automáticamente en momentos determinados.

2.3.2 Sistemas de control de iluminación

En este proyecto del aeropuerto pudimos trabajar con sistemas de control para regular la iluminación los cuales fueron de lo más sencillos hasta lo más complejo, esto por el motivo de que se quiere llegar a la meta de Edificio sustentable otorgado por LEED, estos sistemas serán monitoreados y controlados desde una parte central que monitoreara todos los sistemas como por ejemplo el Sistema Eléctrico, Sistema de HVAC, Sistema Hidráulico, etc.

2.3.2.1 Sistema 0-10 V

El método de control 0-10V es uno de los más sencillos. Se trata de la variación en la corriente continua que permite la regulación del flujo lumínico entre el 1 y el 100%, a través de una señal analógica. De este modo, la iluminación controlada escala su salida, siendo 10V igual al 100% de la potencia lumínica y 0V la mínima luminosidad.

Este método permite la regulación del flujo lumínico, así como el encendido y apagado del equipo a través de un interruptor colocado en la línea de alimentación. Por tratarse de una herramienta análoga no es posible direccionarlo a través de softwares, por ello la creación de grupos se hace mediante 2 cables, este sistema se puede controlar de forma manual por medio de

botoneras o también de forma automática por medio de sensores de luz los cuales regulan la luz mediante la medición de los niveles de iluminación a nivel del plano de trabajo.

2.3.2.2 Sistema DALI

DALI es un sistema digital, no analógico como el 0-10 V, es usado para el control inteligente de iluminación LED, como es digital transmite una serie de datos a través de dos cables, comunicación tipo 0 y 1, y eso lo dota a diferencia del sistema de 0 a 10 V, de otra información que encuentra, dicha información bidireccional, esto quiere decir que la información no solo es de controlador DALI a Driver, sino también el Driver le puede mandar información al controlador como fallas, horas de funcionamiento, etc. Este tipo de funciones hacen al sistema DALI más inteligente a comparación a los sistemas analógicos.

Pero el verdadero poder está en su integración al protocolo de comunicación KNX, ya que lo dota de un nivel de inteligencia superior porque ya permite integrarse a sensores de todo tipo como por ejemplo calidad de aire, presencia, luz temperatura movimiento CO2, etc. Puede integrarlo con controles a través de pantallas táctiles, teclados de control, puede integrarlos con otros sistemas, por ejemplo, aire acondicionado, persianas, cortinas, música etc. Esa integración finalmente es la que le da un poder adicional al sistema DALI el cual se convierte útil para el edificio el cual convierte al Edificio en un Edificio Ecológico e Inteligente.



Figura 2.16.- Logotipo Oficial de los productos que cuentan con la tecnología DALI.

2.3.3 Conexiones

El control de la iluminación se implanto en la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles por la necesidad de tener obtener una certificación LEED para edificios inteligentes, este tipo de

sistemas nos ayuda mucho en lo que es el ahorro de energías que se traduce al ahorro de dinero, el control se optó por tres tipos que van desde el control más sencillo hasta el control más sofisticado en seguida explico cada sistema con su diagrama.

2.3.3.1 Sistema de control por detección de movimiento

Para este tipo de sistemas necesitamos un controlador donde la única función sea el encender y Apagar un grupo de luminarias, a este equipo se le instalaran distintos sensores los cuales mandaran la orden al equipo para que controle las luminarias, este tipo de control actúa como un apagador con accionamiento automático en base a sensores de movimiento.

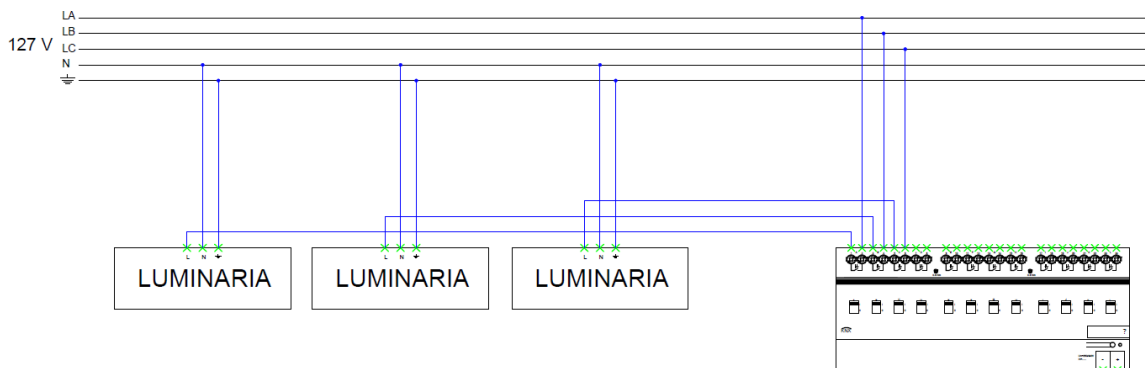


Figura 2.17.- Diagrama de conexión del sistema de control sistema On/Off.

2.3.3.2 Sistema de control DALI

Este sistema es un poco más complejo como ya se había mencionado y solo en algunas partes se utilizó únicamente el sistema DALI sin la integración de KNX, el equipo que se utiliza es programable para poder regular la iluminación de las luminarias, este equipo se programa para poder hacer la regulación de la intensidad de un grupo de luminarias, como anteriormente se había mencionado se puede programar por luminaria o por grupo de luminarias, este se le añaden dos cables los cuales comunicaran a todas las luminarias con el equipo, además se le conectaran los sensores para el mando.

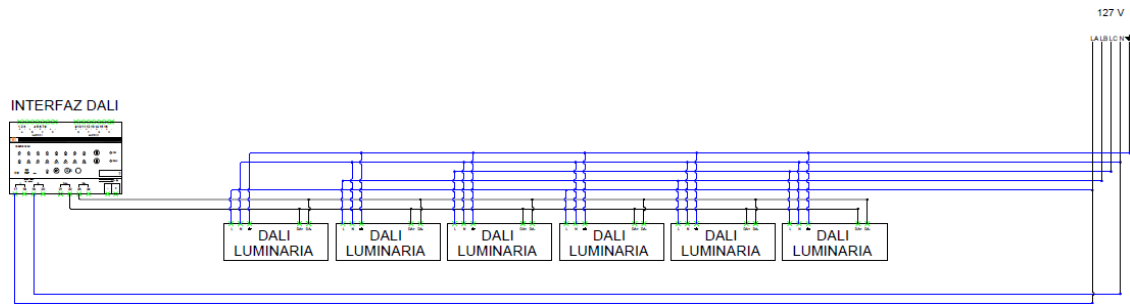


Figura 2.18.- Diagrama de conexión del sistema de control sistema DALI.

2.3.1.1 Sistema DALI con integración al protocolo de comunicación KNX

En un proyecto de gran envergadura como el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles donde se genera una cantidad inimaginable de datos, y la industria de la manufactura no es la excepción. Las demandas por saber exactamente qué pasa en las instalaciones, los consumos de agua, electricidad, iluminación, HVAC, TICS y de otros procesos son cada vez mayores.

Los BMS (Building Management Systems) son sistemas de gestión de edificios, cada vez son más usados en todo tipo de inmuebles públicos y privados. Su función es mejorar la gestión y control, avanzando hacia el concepto de edificio inteligente.

El BMS se basa en software, un servidor, una base de datos y sensores inteligentes conectados al internet. Los sensores colocados de manera estratégica alrededor del edificio recolectan datos y lo mandan al cerebro del BMS, donde es almacenado en la base de datos. A este sistema se puede meter varios controles como los que se mencionaron anteriormente, en este apartado necesitamos meter el control del sistema de iluminación que este integrado a un protocolo de comunicación que pueda comunicarse con un BMS, los sistemas de comunicación para la iluminación uno de los más usados es el de KNX para el sistema de control necesitamos tener varios elementos como un ejemplo de ello tenemos el siguiente diagrama (VER FIGURA 2.3.3.3)

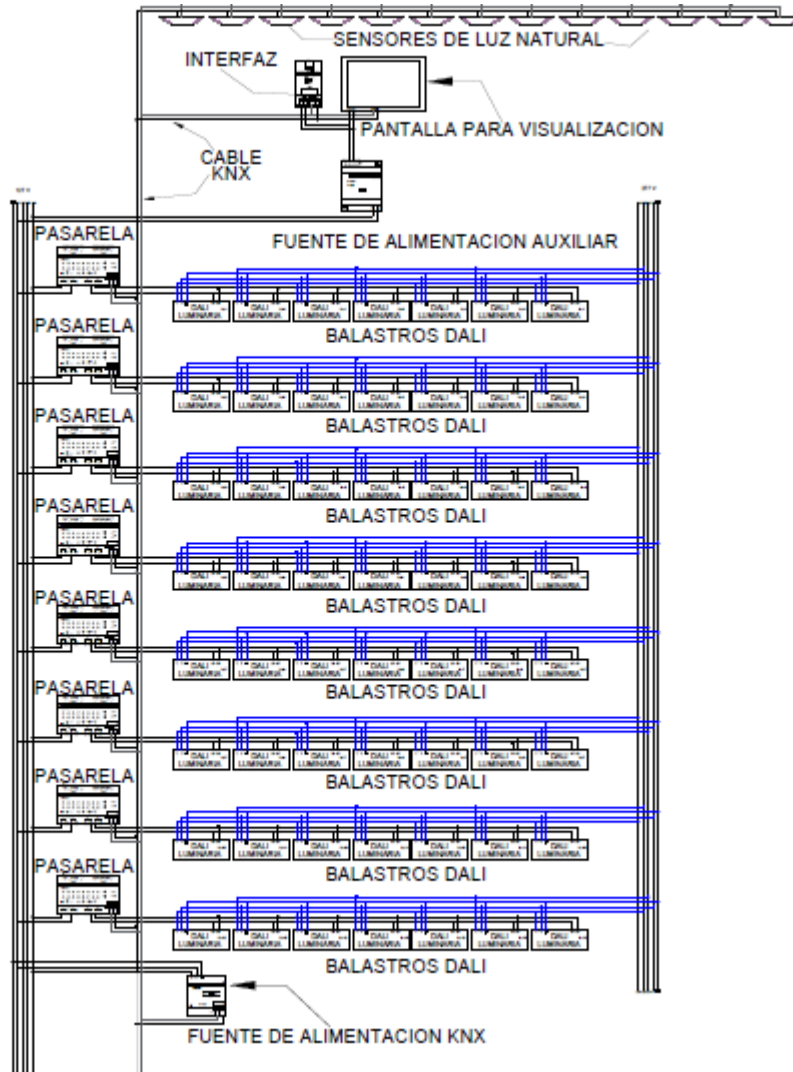


Figura 2.19.- Ejemplo de un Diagrama de elementos y conexiones de los sistemas de control DALI con protocolo de comunicación KNX con interfaz para el BMS.

CAPÍTULO 3 GENERALIDADES DEL INMUEBLE

El siguiente trabajo consiste en el diseño de un sistema de iluminación inteligente. Para el proyecto determinado aeropuerto mixto civil/militar con capacidad internacional, en el edificio determinado terminal de pasajeros, por lo que se emplearan todos los elementos necesarios para su diseño, así como para su correcta instalación.

3.1 Ubicación del nuevo aeropuerto

La construcción de dicho aeropuerto se sitúa dentro de la Base Militar No.1 ubicada en Santa Lucía municipio de Zumpango en el Estado de México.



Figura 3.1.- Vista aérea de la ubicación del nuevo aeropuerto.

3.2 Aeropuerto Internacional General Felipe Ángeles

El proyecto consta una superficie de 94,612.4499 m², en el que se construirá el inmueble, contará con 4 niveles dividido en 18 módulos (VER FIGURA 3.2), donde se controlará la iluminación de distintas formas, siempre apegado al objetivo de reducir costos energéticos:

- nivel - 2.50
- nivel +- 0.00
- nivel + 5.25
- nivel + 10.50

Todos los niveles se dividen en 18 módulos:

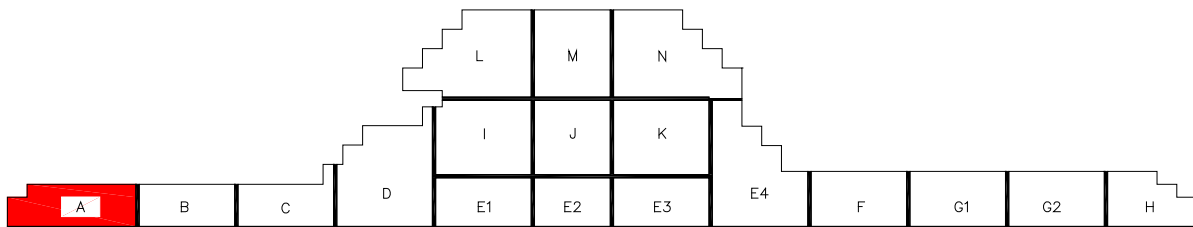


Figura 3.2.- Distribución de los módulos en toda la terminal.

3.2.1 Niveles generales y módulos:

Los módulos y niveles tienen diferentes funciones a desarrollar las cuales están divididas de la siguiente manera (VER FIGURA 3.3)

NIVELES	SERVICIOS
-2.50	Áreas de servicio, mantenimiento y cisternas
0.00	Llegadas, Oficinas administrativas, gobierno, aduana, BHS, Subestaciones eléctricas, Áreas técnicas, Áreas de espera y Salidas Nacionales.

5.25	Corredor de salidas y llegadas nacionales e internacionales, BHS, Oficinas Operador aeroportuario, Oficinas de ingeniería, Jurídico, APOC (<i>AIRPORT OPERATIONS CENTRE</i>), Servicios comerciales, Atención a clientes, Seguridad, Apoyo a dirección general.
10.50	Salidas, Comercios, Oficinas, secretaria de Relaciones Exteriores, Filtros de Seguridad, Área Administrativa, Salas de Última Espera

MODULOS A, B, C – SALAS NACIONAL (ASN)

MODULOS D, E1, E2, E3, E4, I, J, K – TERMINAL CENTRAL

(BTC) MODULOS F, G1, G2, H – SALAS INTERNACIONALES

(CSI) MODULOS L, M, N – TERMINAL PROCESADOR (DTP)

CUARTO CENTRAL DE MAQUINAS HVAC.

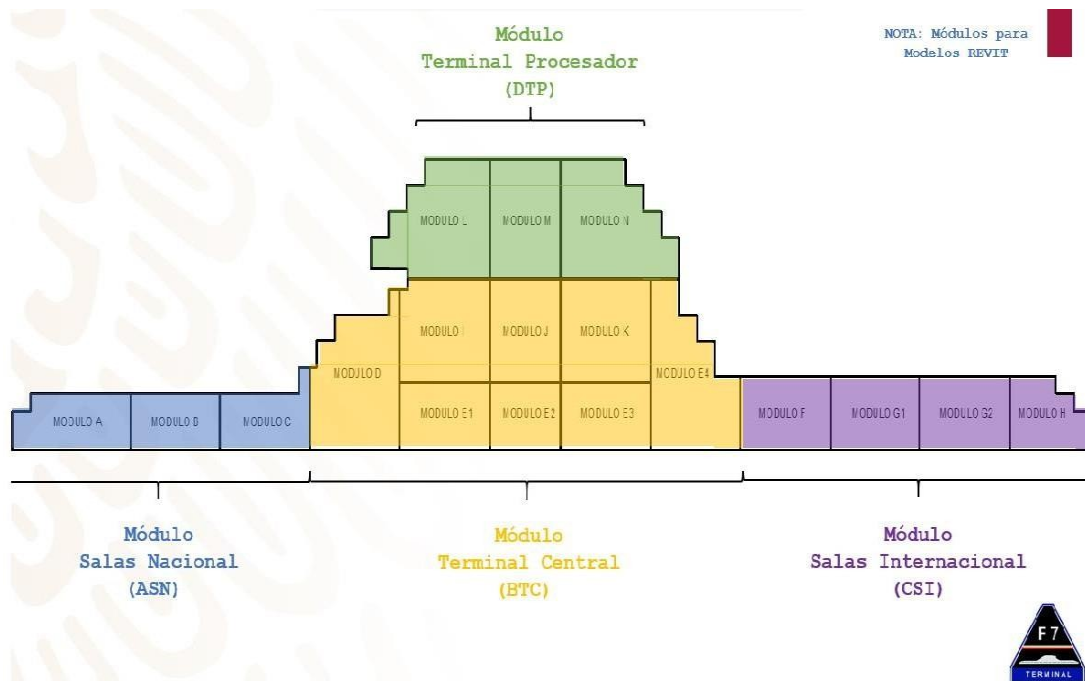


Figura 3.3.- División de módulos según sus funciones.

3.3 Funciones del nuevo aeropuerto

La función de este proyecto principalmente es aliviar la saturación que actualmente sufre el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) a través del Sistema Aeroportuario Metropolitano (SAM) conformado por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), el Aeropuerto Internacional de Toluca (AIT) y el nuevo Aeropuerto Internacional de Santa Lucía “General Felipe Ángeles” (AISL), a su vez se pretende el crecimiento económico del país, con la interacción de los sectores público y privado en ámbitos comerciales, turísticos, industriales, financieros y sociales.

En el año 2018 el presidente de México en turno el Lic. Andrés Manuel López Obrador encomendó la construcción de un nuevo Aeropuerto Internacional en Santa Lucía, Estado de México (AISL) a la Secretaría de la Defensa Nacional, a través de un agrupamiento conformado por Ingenieros Militares de todas las especialidades.

La Base Aérea Militar No. 1 Santa Lucía, Méx., cuenta con un terreno de 2,331 Ha, destinando 1,531 Ha para dicho Aeropuerto y el resto para la reubicación de las instalaciones del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos que actualmente se encuentran en esta Base Aérea Militar.

Se prevé que la construcción de este aeropuerto sea en dos fases. La primera se estima que esté en operación el 21 de marzo del 2022, atendiendo una demanda de 20 millones de pasajeros anuales, así como 350 mil ton/año de carga, con la ampliación de la pista existente y la construcción de dos pistas más, destinando una de estas para uso militar, así como calles de rodaje, plataformas, torre de control, terminal de pasajeros e instalaciones para servicios complementarios y comerciales.

La segunda y última fase, con la cual se alcanzará una capacidad de 80 millones de pasajeros anuales, se contempla la ampliación de la terminal de pasajeros, calles de rodaje, plataformas, ampliación de la zona de carga para lograr el movimiento de 700 mil ton/año e instalaciones de servicios complementarios y comerciales.

Es de gran importancia señalar que, en colaboración con diversas empresas, dependencias y organismos nacionales e internacionales se pretende dar cumplimiento a la normativa internacional de la Organización de Aviación Civil (OACI), de la cual nuestro país es un miembro, para la autorización y certificación del aeropuerto por parte de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), garantizando en todo momento la seguridad de los pasajeros y habitantes de la zona, así como al cumplimiento de estándares, normas y legislación nacional en materia ambiental, de seguridad y jurídica, entre otras.

CAPÍTULO 4 CÁLCULO TEÓRICO MÉTODO LUMEN

A continuación, se presenta un ejemplo de un cálculo del método lumen con cálculo de coeficiente de utilización por el análisis de cavidad zonal de una de las zonas donde se hizo el estudio con la finalidad de visualizar el método de cálculo que el software que utilizaremos realiza para arrojar los resultados de los niveles de iluminación que requerimos y también mostraremos el tiempo que nos puede tomar hacer un diseño de forma teórica.

Para empezar, se explica cómo es una memoria de cálculo de iluminación de un proyecto para interiores, esta memoria de cálculo es un formato que nos provee **THE IESNA LIGHTING HANDBOOK fig. 9-25. Average illuminance calculation sheet, pág. 406** (VER FIGURA 4.1), este es el formato más simple que podremos encontrar, realmente es una memoria de cálculo básica que contiene los requisitos mínimos para poder elaborar un proyecto de iluminación de interiores.

GENERAL INFORMATION

Project identification: _____
(Give name of area and / or building and room number)

Average maintained illuminance for design: _____ lux or footcandles Lamp data: _____
Type and color: _____

Luminaire data: _____ Number per luminaire: _____
Manufacturer: _____ Total lumens per luminaire: _____
Catalog number: _____

SELECTION OF COEFFICIENT OF UTILIZATION

Step 1: Fill in sketch at right:

Step 2: Determine Cavity Ratios

Room Cavity Ratio, RCR = _____

Ceiling Cavity Ratio, CCR = _____

Floor Cavity Ratio, FCR = _____

h = _____

W = _____

L = _____

h_{CC} = _____

h_{FC} = _____

ρ_{cc} = _____

ρ_{fc} = _____

CU = _____

Step 3: Obtain Effective Ceiling Cavity Reflectance (ρ_{cc})

Step 4: Obtain Effective Floor Cavity Reflectance (ρ_{fc})

Step 5: Obtain Coefficient of Utilization (CU) from Manufacturer's Data

SELECTION OF LIGHT LOSS FACTORS

<p>Nonrecoverable</p> <p>Luminaire ambient temperature _____</p> <p>Voltage to luminaire _____</p> <p>Ballast factor _____</p> <p>Luminaire surface depreciation _____</p>	<p>Recoverable</p> <p>Room surface dirt depreciation (RSDD) _____</p> <p>Lamp lumen depreciation (LLD) _____</p> <p>Lamp burnouts factor (LBF) _____</p> <p>Luminaire dirt depreciation (LDD) _____</p>
---	--

Total light loss factor, LLF (product of individual factors above) = _____

CALCULATIONS
(Average Maintained Illuminance)

Number of Luminaires = $\frac{(\text{Illuminance}) \times (\text{Area})}{(\text{Lumens per Luminaire}) \times (\text{CU}) \times (\text{LLF})}$

Illuminance = $\frac{(\text{Number of Luminaires}) \times (\text{Lumens per Luminaire}) \times (\text{CU}) \times (\text{LLF})}{(\text{Area})}$

Calculated by: _____ Date: _____

FIG. 9-25. Average illuminance calculation sheet

Figura 4.1.- fig. 9-25. Average illuminance calculation sheet, pág. 406 THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

INFORMACIÓN GENERAL

A

1.1 Identificación del proyecto: _____

1.2 Iluminancia mantenida promedio por diseño: _____ lux

Datos del luminario

1.3 Fabricante: _____

1.4 Número de catálogo: _____

Datos de la lámpara

1.5 Tipo y color: _____

1.6 Número por luminario: _____

1.7 Lumen por lámpara _____

1.8 Lumen Inicial _____

1.9 Lumen medio sostenido _____

SELECCIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

B

Paso 1. Complete la info. del diagrama

Paso 2. Determine las relaciones de cavidad

2.70 Relación de cavidad de cuarto (RCR) = _____

2.80 Relación de cavidad de cielo (CCR) = _____

2.90 Relación de cavidad de piso (FCR) = _____

2.40	C	= _____ %	2.10 h	= _____ m
Luminario		Luminario		CC
2.50	W	= _____ %	2.20 h	= _____ m
Luminario		Luminario		RC
2.60	F	= _____ %	2.30 h	= _____ m
Luminario		Luminario		FC

Plano del Luminario

Plano de Trabajo

Figura 4.2.- Primera parte de la memoria de cálculo de la fig. 9-25. Average illuminance calculation sheet, pág.406 THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

1.8 L = _____ m
 1.9 W = _____ m
 2.0 H = _____ m

Paso 3. Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de cielo (cc) _____ %
 (Dato fotométrico del fabricante-tablas) 3.00 cc = _____ %

Paso 4. Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de piso (fc) _____ %
 (Dato fotométrico del fabricante-tablas) 3.10 fc = _____ %

Paso 5. Obtener el coeficiente de utilización del luminario (CU)
 (Dato fotométrico del fabricante-tablas) 3.20 CU = _____ Dato fotométrico

C SELECCIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDA DE LUZ (LIGHT LOSS FACTOR)

No renovables	Renovables
3.30 Temperatura ambiente del luminario: _____	Depreciación por suciedad de cuarto: _____
3.40 Voltaje del luminario: _____	Depreciación de flujo de la lámpara _____
3.50 Factor del balastro: _____	Factor de quemado de lámparas _____
3.60 Depreciación por suciedad de superficie del luminario: _____	Depreciación por suciedad del luminario: _____
4.10	LLF = _____

D CÁLCULO DEL NÚMERO DE LUMINARIOS

4.20 Número de luminarios NL = $\frac{\text{ILUMINANCIA (Lux)} \times \text{Área (m}^2\text{)}}{\text{LUMEN POR LUMINARIO} \times \text{CU} \times \text{LLF}}$ = _____ Luminarios

Figura 4.3.- Segunda parte de la memoria de cálculo de la fig. 9-25. Average illuminance calculationsheet, pág.406 THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

4.1 Información general

La zona en la que haremos los cálculos empíricos es la Oficina del Jefe de Mantenimiento, ya que el plafón diseño mostrado por los arquitectos encargados de la obra lo requirieron de tal forma que solo se instalaran luminarias reticulares:



Figura 4.4.- Oficina del jefe de mantenimiento

Identificación del Proyecto: Oficina
 Iluminancia mantenida promedio por diseño: 500 lux.

Datos del Luminario

Fabricante: LITHONIA LIGHTING
 Numero de Catalogo: 2AV G 2 CF40 MDR

Datos de la lampara

Tipo y color: CFL Fluorescente 2x40w
 Numero por luminario: 2
 Lumen por Lampara: 3150
 Lumen inicial: 3150
 Lumen mantenido promedio: 3000



FEATURES & SPECIFICATIONS

INTENDED USE — The Avante 2x2 is an indoor lighting luminaire for private and open offices, circulation areas, classrooms, libraries, cafeterias, airport ticketing and waiting areas, and numerous other commercial applications. Static or air functions available. Certain airborne contaminants can diminish integrity of acrylic. Click here for Acrylic Environmental Compatibility table for suitable uses.

CONSTRUCTION — Housing is gloss white enamel on cold rolled steel. All edges hemmed or rounded.

All shieldings pivot on light traps and swing down for easy lamp access.

Molded light traps prevent light leaks between shielding and endplates.

All air and screw slot units supplied with screw-on tee bar clips. Ballast access is from below.

OPTICS — Twin matte white polyester powder paint finished reflectors provide uniform light distribution. Optional low brightness diffuse aluminum stepped reflectors available.

All diffusers control direct light distribution and glare by shielding lamps from direct view.

Metal diffuser staggered round holes (MDR) 52% open perforated metal with .075" diameter holes backed with white acrylic diffuser.

Straight blade louver (SBL) sides of perforated metal with staggered round holes and solid blade louvered center. Sides and louver backed with white acrylic diffuser.

Metal diffuser aligned mini slots (MDM) 46% open perforated metal backed with white acrylic diffuser.

Acrylic diffuser prismatic lens (ADP) extruded acrylic lens backed with white acrylic diffuser.

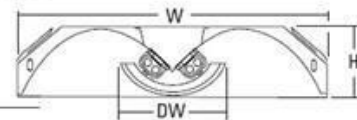
Metal diffuser with center slots (MDC). 52% open metal, .075" diameter holes, with 1" wide solid center. Slatted with 1/2"x2" open slots. Diffuser is backed with white acrylic.

Catalog Number	
Notes	Type

Avante
 Direct/indirect Lighting
2AV 2'x2'



Compact Fluorescent
 1, 2 or 3 lamps



Specifications
 Length: 24 (61.0)
 Width: 24 (61.0)

Figura 4.5.- Datos técnicos de la luminaria dados por el por el fabricante

4.2 Selección del coeficiente de utilización

Para el ejercicio, sabemos que la oficina mide 8 metros de largo por 5.5 metros de ancho y una altura de 5.25 metros, la altura del plano de trabajo es de 80 centímetros, y la altura de montaje de la luminaria es de 3.3 metros, sabiendo también que el ancho de la luminaria es de 10 centímetros tenemos que el punto de altura de luz es de 3.2 metros y la altura del montaje de la luminaria a la losa es de 1.95 metros, teniendo estos datos tenemos que seguir una serie de pasos para poder llegar a la selección del coeficiente.

4.2.1 Paso 1: Completar la Información del siguiente Diagrama:

Para poder completar el diagrama es muy importante saber los grados de Reflexión en las paredes, en el piso y en el techo. Esto quiere decir que tenemos que especificar estos valores. Los cuales tomaremos de la **Tabla 2 de la NORMA Oficial Mexicana NOM- 025-STPS-2008, Niveles máximos permisibles del factor de Reflexión (VER TABLA4.1).**

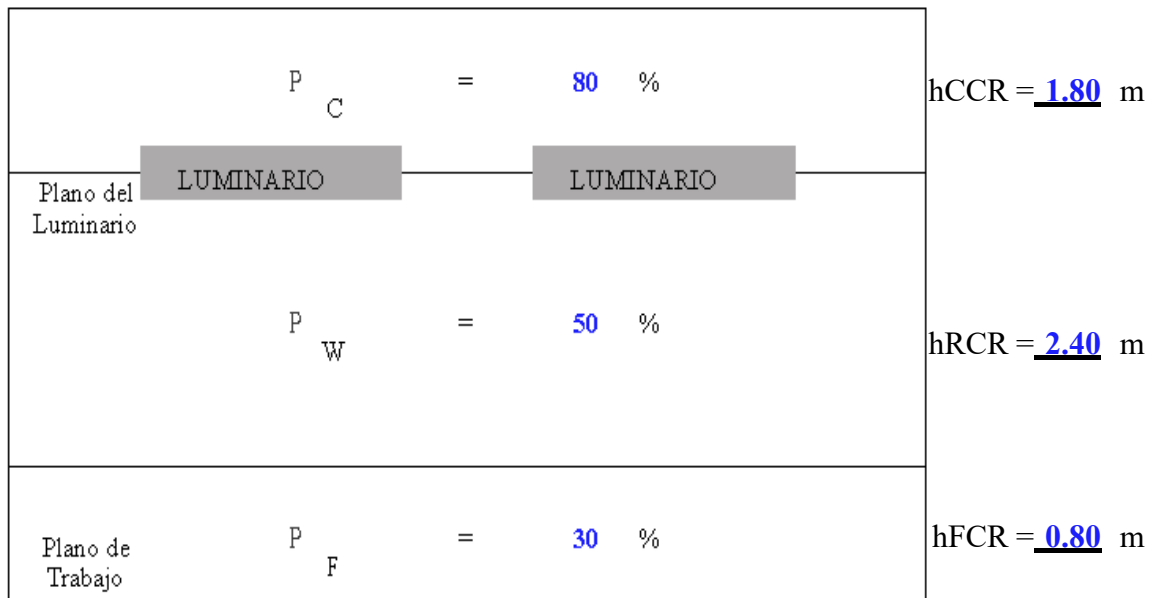
CONCEPTO	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE REFLEXION K_r
TECHOS	90%
PAREDES	60%
PLANO DE TRABAJO	50%
SUELOS	50%

Tabla 4.1.- Niveles máximos permisibles del factor de Reflexión

Para no andar midiendo la reflexión de cada material en las zonas hay una tabla que muchos expertos en diseño de iluminación ocupan por su experiencia, es una tabla de valores según el tipo de local, estos valores los toman en base a su experiencia de trabajar con varias normativas:

	%TECHO	%PAREDES	%PISO	
Valores típicos áreas comerciales	80	50	30	(%)
Valores típicos industria ligera	50	30	10	(%)
valores típicos industria pesada	0	30	10	(%)

Quiere decir, que estos valores puestos en el diagrama son los porcentajes de luz rebotada en el piso, paredes y techo, y será utilizada en el interior del recinto, ya que recordemos que la reflexión que alcanzan en estas superficies un porcentaje se ocupara mientras que el otro se perderá por la absorción de luz del material, los valores que ocupamos son los que se reflejaran sobre el material y no el porcentaje de perdida por absorción. Se selecciona la reflexión de áreas comerciales.



Donde:

- P_c : Reflectancia en techo
- P_w : Reflectancia en paredes
- P_f : Reflectancia en suelo

4.2.2 Paso 2: Determinar las relaciones de cavidad

Una vez definidos los valores anteriores, calcularemos las relaciones de cavidad por zona las cuales dividiremos en 3: Este es el método de Lumen con cálculo del coeficiente de utilización por el análisis de cavidad zonal.

4.2.2.1 Relación Cavidad del cielo

Es el volumen imaginario dentro de la nave que se forma dentro del techo o cielo y elplano del luminario o plafón, este se calcula con la siguiente formula:

$$CCR= \frac{(5) (hCCR) (W+L)}{(W) (L)}$$

En donde:

CCR= Relación de Cavidad del Cielo

hCCR= 1.8 m (La altura del

plafón al techo)W= 5.5 m

(Ancho del local)

L= 8 m (Largo del local)

Sustituimos

$$CCR= \frac{(5) (1.80m) (13.5m)}{(8m) (5.5m)} = 2.76$$

4.2.2.2 Relación Cavidad de cuarto

Es el volumen imaginario dentro de la nave que se forma dentro del plano de trabajo y laaltura del punto de luz, este se calcula con la siguiente formula:

$$RCR= \frac{(5) (hRCR) (W+L)}{(W) (L)}$$

En donde:

RCR= Relación de Cavidad de Cuarto

hRCR= 2.40 m (La altura del plano de trabajo al punto de luz)

W= 5.5 m (Ancho del local)

L= 8 m (Largo del local)

Sustituimos

$$RCR = \frac{(5) (2.40m) (8m+5.5m)}{(8m) (5.5m)} = 3.68$$

4.2.2.3 Relación Cavidad de piso

Es aquel volumen imaginario dentro de la nave que se forma dentro del plano de trabajo y el piso, este se calcula con la siguiente formula:

$$FCR = \frac{(5) (hFCR) (W+L)}{(W) (L)}$$

En donde:

FCR= Relación de Cavidad de Piso

hRCR= 0.80 m (La altura del piso al plano de trabajo)

W= 5.5 m (Ancho del local)

L= 8 m (Largo del local)

Sustituimos

$$FCR = \frac{(5) (0.80m) (8m+5.5m)}{(8m) (5.5m)} = 1.22$$

4.2.3 Paso 3: Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de cielo (Dato fotométrico del fabricante en tablas)

Para este cálculo requerimos unas tablas que el fabricante de la luminaria proporcionaba para poder sacar el valor de la reflectancia efectiva del espacio entre el plafón y la losa denominado Cielo, el valor se toma en donde se intercepta el porcentaje de la reflectancia de la pared con referencia al porcentaje de reflectancia del techo y el valor calculado de la cavidad del cielo (VER TABLA 4.2).

Reflectancia de Cielo:

Reflectancia de Cielo	ρ_C	=	80%
Reflectancia de Pared	ρ_W	=	50%
Relación de Cavidad de Cielo	CCR	=	2.76
Reflectancia Efectiva CIELO (Ver Tabla 4.2.3.1)	ρ_{cc}	=	48%

Porcentaje de reflectancia efectiva en la cavidad de piso o techo para diferentes combinaciones 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	22	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	63	56	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	

Tabla 4.2.- Tabla de porcentajes de reflectancia efectiva en cavidad del techo de la luminaria 2AV G 2 CF40 MDR de la marca LITHONIA LIGHTING.

4.2.4 Paso 4: Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad del Piso (Dato fotométrico del fabricante en tablas)

Lo mismo que hicimos en el paso anterior el fabricante de luminarias proporcionaba una tabla pero ahora para sacar la reflectancia del piso (VER TABLA 4.3)

Reflectancia de Piso:

Reflectancia de Piso	ρ_F	=	30%
Reflectancia de Pared	ρ_W	=	50%
Relación de Cavidad de Piso	FCR	=	1.22
Reflectancia Efectiva PISO	ρ_{fc}	=	27%

(Dato de Tabla 4.2.4.1)

Porcentaje de reflectancia efectiva en la cavidad de piso o techo para diferentes combinaciones 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	

Tabla 4.3.- Tabla de porcentajes de reflectancia efectiva en cavidad del piso de la luminaria 2AV G 2 CF40 MDR de la marca LITHONIA LIGHTING.

4.2.5 Paso 5: Obtener el coeficiente de utilización del Luminario (CU)

Así mismo como le hizo el fabricante con las tablas para el cálculo de las reflectancias para el cielo y el piso también proporciona las tablas para el cálculo de la reflectancia de la pared (VER TABLA 4.4)

Reflectancia de Pared:

Paso3. Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de cielo (rcc)	ρ	=	30%
Paso4. Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de Piso (rfc)	ρ	=	50%
Relación de Cavidad de Cuarto (rcr)	RCR	=	3.68
Reflectancia Efectiva PISO	ρ_{fc}	=	27%

2AV G 2 CF40 SBL, (2) 40W CF lamps, 3150 lumens per lamp, s/m 1.2 (along) 1.3 (across), test no. LTL 10020

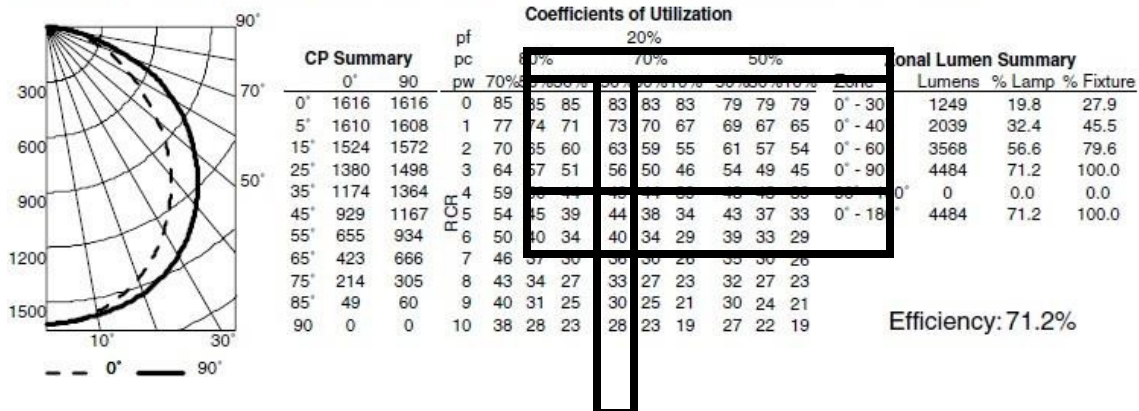


Tabla 4.4.- Coeficiente de utilización de la luminaria 2AV G 2 CF40 MDR de la marca LITHONIA LIGHTING.

El resultado que nos arrojan las tablas está en medio de dos valores, debido a que la relación de cavidad de cuarto nose presenta en la **Tabla 4.4** tendremos que hacer interpolación rápida la cual es la siguiente:

Relación de Cavidad	Coefficiente de Utilización
3	57
3.1	56.3
3.2	55.6
3.3	54.9
3.4	54.2
3.5	53.5
3.6	52.8
3.7	52.1
3.8	51.4

Relación de Cavidad	Coefficiente de Utilización
3.7	52.1
3.69	52.17
3.68	52.24
3.67	52.31
3.66	52.38
3.65	52.45
3.64	52.52
3.63	52.59
3.62	52.66
3.61	52.73
3.6	52.8

El resultado nuevamente resulto en medio de dos valores, por lo que procedimos hacer unanueva interpolación, la cual nos da como resultado el Coeficiente de Utilización:

$$CU = \underline{0.5224} \quad \text{Dato Fotométrico}$$

4.3 Paso 6. Seleccionar el Factor de Perdida de Luz (Light Loss Factor)

El factor de perdida de luz se conforma de 8 factores y representan efectos físicos independientes, por lo tanto, son multiplicativos.

$$LLF = [LBO \cdot LLD \cdot LDD \cdot RSDD] [LAT \cdot LV \cdot BF \cdot LV \cdot LSD] LLF < 1.0$$

Ningún factor debería ser ignorado (si alguno no lo encontramos debemos considerarlo igual a 1) hasta que las investigaciones lo justifiquen.

4.3.1 Factores No renovables.

Son aquellos atribuidos al equipo y a las condiciones del lugar y que no pueden ser cambiados con mantenimiento regular.

1. Luminaire Ambient Temperature [LAT] (Temperatura ambiente de la luminaria)
2. Luminaire Voltage [LV] (Voltaje de luminaria)
3. Ballast Factor [BF] (Factor del Balastro)
4. Luminaire Surface Depreciation [LSD] (Depreciación de la superficie de la luminaria)

4.3.2 Factores Renovables

Son aquellos que pueden ser cambiados por mantenimiento regular, como por ejemplo limpiando y cambiando las lámparas de las luminarias y limpiando o pintando las superficies del lugar.

5. Lamp Burnout Factor [LBO] (Factor de desgaste de la lámpara)
6. Lamp Lumen Depreciation [LLD] (Depreciación del lumen de la lámpara)
7. Luminaire Dirt Depreciation [LDD] (Depreciación por suciedad de luminarias)
8. Room Surface Dirt Depreciation [RSDD] (Depreciación de la suciedad de la superficie de la habitación)

4.3.2.1 Descripción de los factores renovables

Lamp Burnout Factor [LBO]

Las lámparas quemadas contribuyen a las pérdidas de luz. Si las lámparas no son reemplazadas rápido después de quemarse, la iluminancia promedio disminuirá proporcionalmente. El factor de lámparas quemadas es la razón del número de lámparas que permanecen prendidas sobre el total, para el máximo número de lámparas quemadas permitido.

Lamp Lumen Depreciation [LLD]

A medida que la lámpara envejece, produce cantidades cada vez más bajas de flujo luminoso en una curva previsible. Una estrategia habitual consiste en usar un valor de depreciación de lumen de lámpara medio en el 40% de su vida. Los valores válidos se encuentran entre 0 y

1. Por ejemplo, una lámpara fluorescente compacta tiene un factor LLD de 0.85, lo que indica un resultado medio del 85% de sus lúmenes iniciales, perdiendo un promedio del 15% durante su vida a medida que envejece.

$$LLD = \frac{\text{FLUJO LUMINOSO MEDIO}}{\text{FLUJO LUMINOSO INICIAL}} < 1.0$$

Típicamente el valor del LLD oscila entre 0.60 y 0.95. El flujo luminoso medio se obtiene de datos de la lámpara del fabricante.

Luminaire Dirt Depreciation [LDD]

Toma en cuenta la acumulación de suciedad en las luminarias que resulta en una pérdida en la salida de luz, y por lo tanto una pérdida en el plano de trabajo. Los valores válidos se encuentran entre 0 y 1. Por ejemplo, un valor de 0.9 indica que la instalación produce el 90% de sus lúmenes iniciales y pierde el 10% debido al polvo y la suciedad atrapados, para esto hay una serie de pasos para poder determinar el valor y es el siguiente:

Paso 1.- Definir el ciclo de limpieza de las luminarias expresando en meses el tiempo o ciclo del periodo de mantenimiento.

$$t = 6, 12, 18, 24 \text{ meses } \dots$$

Paso 2.- Definir la categoría de mantenimiento (I , II, III ó IV) de las luminarias, según la **tabla 2.2 de la IESNA (VER TABLA 4.5).**

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: Illuminag Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook"*, Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. Figura 9.9. pp 396. New York. 1995. (Traducción).

Tabla 4.5.- Tabla 2.2 extraida THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

Paso 3.- De acuerdo a la categoría de mantenimiento, se procede a definir el grado de limpieza, donde:

- VC= Muy Limpio,
- C=Limpio medianamente
- M=Limpio
- D= Sucio

Paso 4.- Se seleccionan los valores de las constantes "A" y "B" de la **tabla 2.3 de la IESNA**

(Ver Tabla 4.6):

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

Tabla 4.6.- Tabla 2.3 extraída THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

Paso 5.- Se calcula el valor del LDD, o se selecciona desde la tabla mostrada:

$$LDD = e^{-At^b} \leq 1.0$$

LDD = Factor de depreciación por suciedad del luminario

A = Constante que depende el grado de suciedad del ambiente y de la categoría de mantenimiento.

B = Constante que depende solo de la categoría de mantenimiento

T = Cuantos periodos se realizaran mantenimiento al año

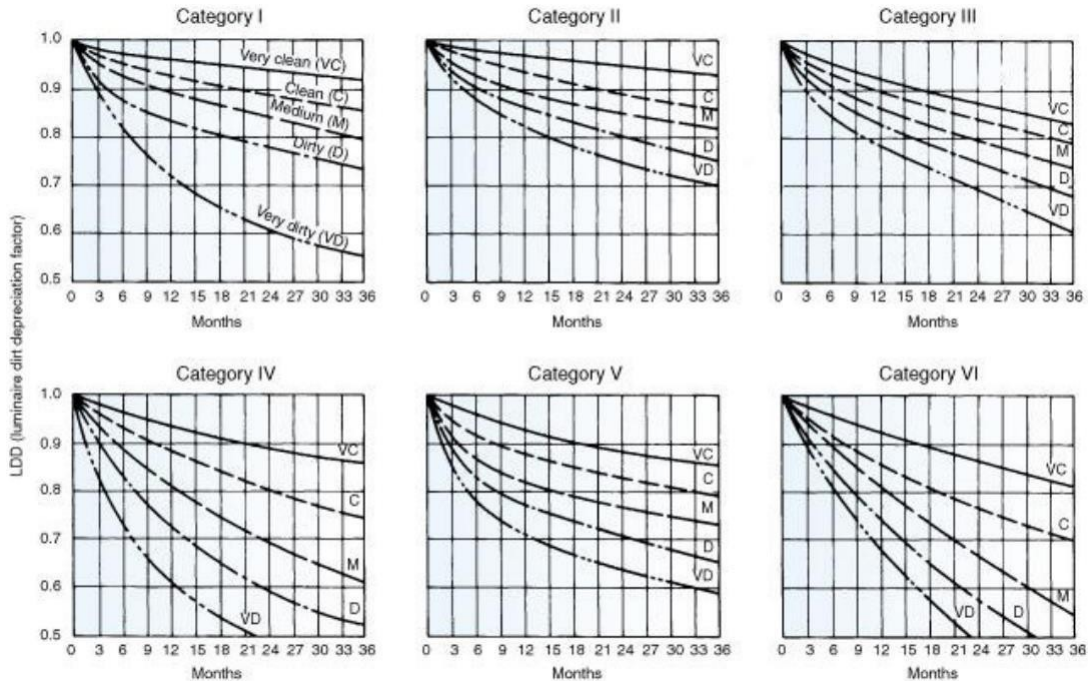


Figura 4.6.- Factores LDD para seis categorías de mantenimiento y cinco grados de limpieza del local, THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

Sabiendo todo lo necesario sobre el Factor de pérdida de luz procederemos a realizar los cálculos con los siguientes datos que tenemos del proyecto, antes que nada, calcularemos la depreciación del flujo de la lámpara.

$$\text{Depreciación de flujo de la lámpara} = \frac{\text{Lumen medio sostenido}}{\text{Lumen inicial}} = \frac{3000 \text{ lm}}{3150 \text{ lm}} = \mathbf{0.952}$$

Posteriormente calcularemos la Depreciación por suciedad del luminario aplicando los pasos que vimos anteriormente tenemos que:

- La categoría de mantenimiento es la V
- Tipo de limpieza= C (Limpio)
- De la tabla 2.3, se determinan los coeficientes A= 0.128 y B= 0.72
- t=2.0

Se calcula:

$$LDD = e^{-0.18432}$$

$$LDD = 0.831$$

Comparamos el LDD con la gráfica 4.7.

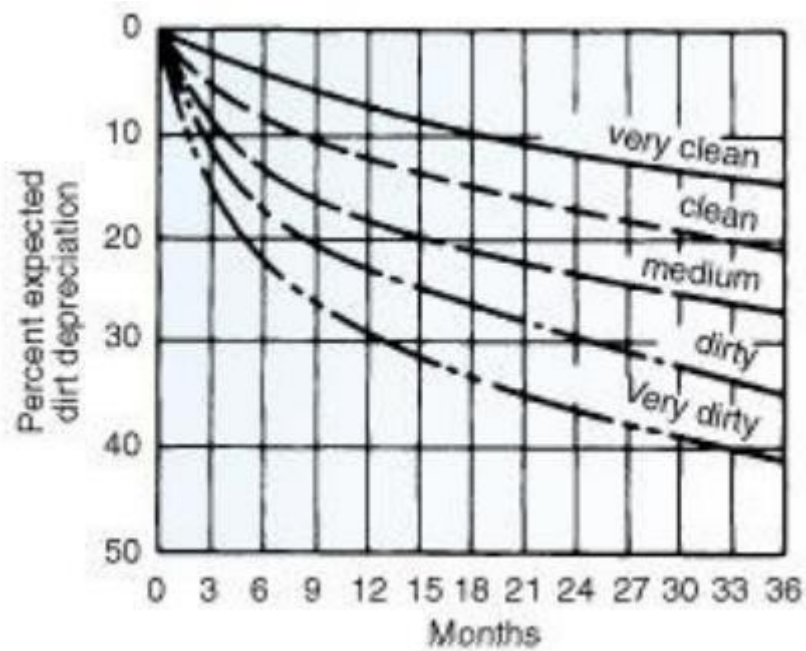


Figura 4.7.- Valores LDD gráficamente.

Percent Expected Dirt Depreciation	Luminaire Distribution Type																			
	Direct				Semi-Direct				Direct-Indirect				Semi-Indirect				Indirect			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Room Cavity Ratio																				
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

Tabla 4.7.- Porcentaje de depreciación por suciedad esperado en función del ciclo delimpieza, para varios grados de limpieza.

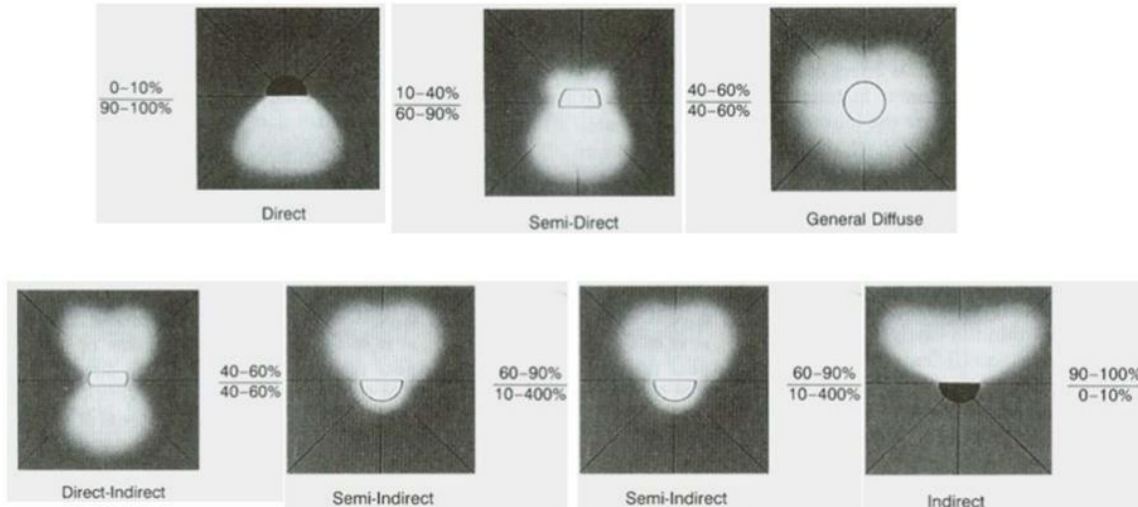


Figura 4.8.- Factor de depreciación por suciedad del cuarto.

4.4 Datos de la memoria de cálculo

Teniendo ya estos dos factores completamos los datos de la memoria de cálculo de laIESNA.

No Renovables	
Temperatura ambiente delluminario:	<u>1.0</u>
Voltaje del luminario:	<u>1.0</u>
Factor del balastro:	<u>1.0</u>
Depreciación por suciedad de superficie del luminario:	<u>1.0</u>
Renovables	
Depreciación por suciedad del cuarto	<u>1.0</u>
Depreciación de flujo de la lámpara	<u>0.952</u>
Factor de quemado de lámparas	<u>1.0</u>
Depreciación por suciedad del luminario	<u>0.831</u>

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación nos quedaría de la siguiente manera:

LLF=	(1 * 1 * 0.831 * 0.952) (1 * 1 * 1 * 1 * 1)	=	0.79
------	---	---	-------------

4.5 Cálculo del número de luminarios

Para completar la memoria de cálculo de la IESNA calcularemos el número de luminarios requeridos para esa zona, para ello aplicaremos la siguiente formula:

$$NL = \frac{[ILUMINANCIA (lux)] [Área (m^2)]}{(LUMEN POR LUMINARIO) (CU) (LLF)}$$

Sustituimos

$$NL = \frac{(500) (44)}{[2(3150)] (0.5224) (0.79)}$$

$$NL = \frac{22,000}{2,599.98} = 9$$

Con este último resultado podemos visualizar como quedaría nuestra hoja de cálculo final (VER FIGURA 4.9)

4.6 La memoria de Cálculo completa:

A INFORMACION GENERAL

1.1 Identificación del Proyecto: Oficina

1.2 Iluminancia mantenida promedio por diseño: 500 lux

Datos del Luminario

1.3 Fabricante: LITHONIA LIGHTING

1.4 Número de Catalogo: 2AV G 2 CF40 MDR

Datos de la lámpara

1.5 Tipo y Color: CFL Flourescente 2x40w

1.6 Número por luminario: 2

1.7 Lumen por lámpara: 3150

1.8 Lumen Inicial: 3150

1.9 Lumen medio sostenido: 3000

B SELECCION DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION

Paso 1. Complete la información del diagrama

Paso 2. Determine las relaciones de cavidad

2.70 Relación de cavidad de cuarto (RCR)= 3.68

2.80 Relación de cavidad de cielo (CCR)= 2.76

2.90 Relación de cavidad de piso (FCR)= 1.22

Plano del Luminario

Plano de Trabajo

2.40	C	=	80	2.10h = <u>1.8</u> m
Luminario Luminario				
2.50	W	=	50	2.20h = <u>2.4</u> m
Plano de Trabajo				
2.60	F	=	30	2.30h = <u>0.8</u> m

1.8 L= 8 m

1.9 W= 5.5 m

2.0 H= 5 m

Paso 3. Obtener la reflectancia efectiva de la cavidad de cielo (cc)
(Dato fotométrico del fabricante- tablas) 3.00 cc = 48 %

Paso 4. Obtener la Reflectancia efectiva de la cavidad de piso (fs)
(Dato fotométrico del fabricante - tablas) 3.10 fc = 27 %

Paso 5. Obtener el coeficiente de utilización del luminario (CU)
(Dato fotométrico del fabricante - tablas) 3.20 CU = 0.5224 Dato fotométrico

C SELECCION DEL FACTOR DE PERDIDA DE LUZ (LIGHT LOSS FACTOR)

No renovables	Renovables
3.30 Temperatura ambiente del luminario: <u>1</u>	3.70 Depreciación por suciedad de cuarto: <u>1</u>
3.40 Voltaje del luminario: <u>1</u>	3.80 Depreciación de flujo de la lámpara: <u>0.952</u>
3.50 Factor del balastro: <u>1</u>	3.90 Factor de quemado de la lámpara: <u>1</u>
3.60 Depreciación por suciedad de superficie del luminario: <u>1</u>	4.00 Depreciación por suciedad del luminario: <u>0.831</u>

4.10 LLF= 0.79

D CÁLCULO DEL NUMERO DE LUMINARIOS

4.20 Número de luminarios: $NL = \frac{\text{ILUMINANCIA (Lux)} \times \text{ÁREA (m}^2\text{)}}{\text{LUMEN POR LUMINARIO} \times \text{CU} \times \text{LF}} = \underline{\underline{9}}$ Luminarios

Figura 4.9.- Memoria de cálculo de la fig. 9-25. Average illuminance calculation sheet, pág.406 THE IESNA LIGHTING HANDBOOK.

CAPITULO 5 DISEÑO POR DIALUX EVO

Como vimos en el anterior capítulo, el método de Lumen es un poco extenso y para temas prácticos el proceso se agiliza mediante un software llamado DIALux Evo, este software se basa en el método que vimos en el anterior capítulo, pero este es un poco más complejo ya que nos arroja resultados más reales y aspectos técnicos que no calculamos con el método de Lumen, por ejemplo en el software se pueden visualizar el nivel de iluminación por zonas, en objetos de cálculo, UGR (Unified Glare Rating), uniformidad, consumos eléctricos, etc.

5.1 Ubicación de la zona

El diseño que haremos es el espacio de la jefatura de mantenimiento, se localiza en el Módulo F del Nivel 0.00, está ubicado enfrente de una Subestación Eléctrica dedicada exclusivamente para el Centro de Datos (Data Center) que se ubica justo a un lado de la zona a estudiar, también el módulo F cuenta con distintas áreas de apoyo y capacitación del personal a laborar en la oficina de mantenimiento, tales como 4 salones que se ocuparan para la capacitación del personal, baños con regaderas y vestidores, así como también un pequeño comedor y una área específicamente para la administración de los combustibles que se van a estar manejando dentro de todo el aeropuerto tal (VER FIGURA 5.2).

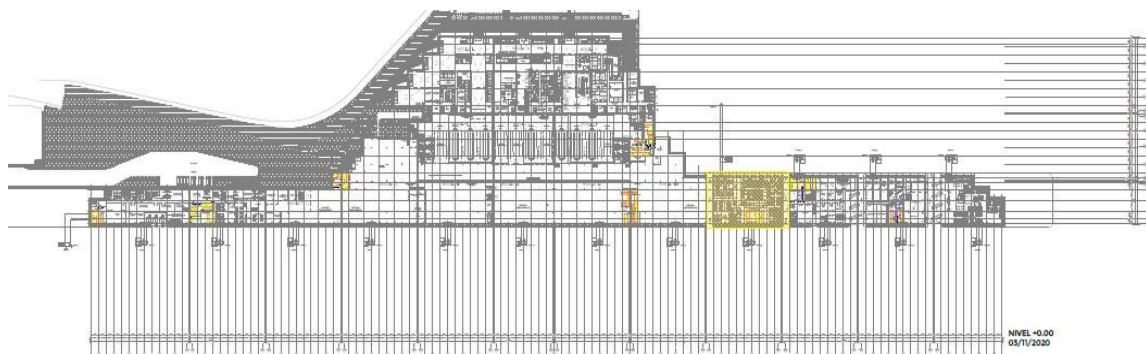


Figura 5.1.- Localización del Módulo F en el Nivel 0.00

5.1.1 División del área de la jefatura de mantenimiento

La Jefatura del Área de Mantenimiento está dividida en seis zonas:

- Sala de juntas
- Oficina del jefe de mantenimiento
- Dormitorio
- Baño
- Sala de espera
- Oficina general



Figura 5.3.- Vista general de la jefatura de mantenimiento

5.1.2 Funciones a realizar dentro del área de mantenimiento.

El jefe de mantenimiento es la persona responsable de garantizar la seguridad de los usuarios dentro de las instalaciones del aeropuerto. Se encarga también de la supervisión, control y vigilancia de las terminales, la plataforma de aeronaves y los accesos al aeropuerto. Se trata de un cargo con mucha responsabilidad, entre las funciones que realiza en su área destacan las siguientes:

1. Vela por la seguridad de las personas que transitan por el aeropuerto.
2. Se informa de todo lo que sucede en el recinto aeroportuario. Este profesional debe tener un conocimiento actualizado de los servicios, operaciones y tareas que se desarrollan en el aeropuerto, así como de su estructura y peculiaridades.
3. Supervisa que los dispositivos de seguridad que se aplican en el aeropuerto estén en perfecto funcionamiento: cámaras de vídeo, salidas de emergencia, extintores, etc.
4. Inspecciona las tareas del servicio de mantenimiento y de construcción del aeropuerto.
5. Se encuentra en comunicación directa con los cuerpos de seguridad del estado y también con el personal encargado del aeropuerto.
6. Controla que únicamente las personas autorizadas accedan a las zonas de accesos restringidos.
7. Supervisa las tareas de mantenimiento de los controles de acceso y de seguridad. Esto incluye la revisión de las tarjetas magnéticas, las autorizaciones y pases, el circuito cerrado de televisión, los sistemas detectores, etc.
8. Gestiona las autorizaciones del personal y de los vehículos.

9. Establece procedimientos y normativas de seguridad relativas al aeropuerto. Estas deben ser compatibles con los programas de seguridad de las compañías aéreas y operadores que hay en el aeropuerto.
10. Mantiene una vigilancia proactiva de las instalaciones y dependencias del aeropuerto, avisando de cualquier incidencia a la persona responsable.
11. En algunos casos cambia el plan de contingencia establecido.
12. Verifica que todos los aspectos de seguridad están de acuerdo con las reglamentaciones locales e internacionales.
13. Se asegura que el personal de seguridad está preparado e informado adecuadamente.
14. Coordina aspectos de seguridad con los estamentos oficiales.

5.2 Datos Preliminares

5.2.1 DIALUX EVO 9.0

Para el Estudio de la iluminación trabajaremos con un Software especializado en iluminación llamado DIALux EVO 9.0, este Software nos ayudara a dar un perfil de estudio a cada zona, cumpliendo siempre las normativas europeas, las cuales son un poco más exigentes que las Normativas Mexicanas, las normativas a cumplir son basadas en aspectos técnicos que al principio de este trabajo mencionamos, Niveles de iluminación, Factores de Deslumbramiento, Eficiencia Energética del Alumbrado (DPA), etc. También en este Software manejaremos conceptos técnicos básicos utilizados para las luminarias, por ejemplo: Curvas fotométricas, Flujos luminosos, Potencia, tipos de difusores, etc.

Para poder empezar a simular la iluminación de la zona será necesario tener el plano arquitectónico en formato DWG en él se tiene la información necesaria para iniciar con el estudio, pues será el punto de inicio para el trazo de los espacios y áreas dentro o fuera del edificio y además debemos contar con los archivos, IES (fotometría del luminario) los cuales son compatibles con el software DIALux EVO 9.0, en ellos se encuentra características y datos luminotécnicos sobre una luminaria, de los cuales serán de gran importancia y servirán para

simular el efecto y desempeño de las luminarias en una escena realista. Con estos dos archivos se trabajará en para satisfacer la necesidad de iluminación requerida por las normas y el proyecto.

5.2.2 Normativas y Perfiles empleados en el estudio de las Diferentes Áreas de la Jefatura de Mantenimiento

Para poder tener una noción de las normativas que usaremos y a las cuales nos apegaremos citaremos algunas partes de las normativas aplicadas.

5.2.2.1 NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo

a) Objetivo de la norma es establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

b) Para efectos de esta Norma, se establecen las definiciones siguientes:

- Área de trabajo: es el lugar del centro de trabajo donde normalmente un trabajador desarrolla sus actividades.
- Brillo: es la intensidad luminosa que una superficie proyecta en una dirección dada, por unidad de área. Se recomienda que la relación de brillos en áreas industriales no sea mayor de 3:1 en el puesto de trabajo y en cualquier parte del campo visual no mayor de 10:1.
- Centro de trabajo: todos aquellos lugares tales como edificios, locales, instalaciones y áreas, en los que se realicen actividades de producción, comercialización, transporte y almacenamiento o prestación de servicios, o en el que laboren personas que estén sujetas a una relación de trabajo.
- Condición crítica de iluminación: deficiencia de iluminación en el sitio de trabajo o niveles muy altos que bien pueden requerir un esfuerzo visual adicional del trabajador o provocarle deslumbramiento.
- Deslumbramiento: es cualquier brillo que produce molestia y que provoca interferencia a la visión o fatiga visual.

Esta normativa mexicana nos adentraremos básicamente en la siguiente tabla (VER TABLA 5.1)

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles mínimos de iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500

de instrumentos y equipo de laboratorio.		
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e	Proceso: ensamble e inspección de	1,000
Inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos	piezas complejas y acabados con pulidos finos.	
Alto grado de especialización en ladistinción de detalles.	Proceso de gran exactitud ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000

TABLA 5.1 Niveles de Iluminación permitidos en interiores Norma Oficial Mexicana 025-STPS-2008

5.2.2.2 ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, 9. Lighting

Muchos estados aplican ASHRAE 90.1 a los edificios en construcción o en renovación. La mayoría de los estados aplican los estándares estándar o equivalentes para todos los edificios comerciales. Otros aplican los estándares estándar o equivalentes para todos los edificios gubernamentales. Hay algunos estados que usan otros estándares de conservación de energía para todos los edificios comerciales y algunos otros estados que usan una combinación del estándar

ASHRAE 90.1 para todos los edificios gubernamentales y usan otros estándares de conservación de energía para sus edificios comerciales. Algunos estados no aplican ningún estándar de conservación de energía para sus edificios gubernamentales y comerciales.

En la norma más hay un apartado en el tema de iluminación lo cual es los límites permisibles de las Densidades de potencia de iluminación (LPD por sus siglas en inglés) se redujo ligeramente en promedio. Se agregaron requisitos de iluminación natural y control de iluminación asociado. Se agregaron muchos requisitos de control de iluminación, incluidas las pruebas funcionales independientes de los controles de iluminación, los controles de ocupación y desocupación, los controles de iluminación exterior y el cierre de todo el edificio, pero nosotros nos basaremos en la siguiente tabla (VER TABLA 5.2).

TABLE 9.6.1 Lighting Power Densities Using the Space-by-Space Method

Common Space Types ^a	LPD, W/ft ²	RCR Threshold
Atrium		
First 40 ft in height	0.03 per ft (height)	NA
Height above 40 ft	0.02 per ft (height)	NA
Audience/Seating Area—Permanent		
For auditorium	0.79	6
For Performing Arts Theater	2.43	8
For Motion Picture Theater	1.14	4
Classroom/Lecture/Training	1.24	4
Conference/Meeting/Multipurpose	1.23	6
Corridor/Transition	0.66	Width < 8 ft
Dining Area	0.65	4
For Bar Lounge/Leisure Dining	1.31	4
For Family Dining	0.89	4
Dressing/Fitting Room for Performing Arts Theater	0.40	6
Electrical/Mechanical	0.95	6
Food Preparation	0.99	6
Laboratory		
For Classrooms	1.28	6
For Medical/Industrial/Research	1.81	6
Lobby	0.90	4
For Elevator	0.64	6
For Performing Arts Theater	2.00	6
For Motion Picture Theater	0.52	4
Locker Room	0.75	6
Lounge/Recreation	0.73	4
Office		
Enclosed	1.11	8
Open Plan	0.98	4
Restrooms	0.98	8
Sales Area (for accent lighting, see Section 9.6.2(b))	1.68	6
Restrooms	0.98	8
Sales Area (for accent lighting, see Section 9.6.2(b))	1.68	6
Stairway	0.69	10
Storage	0.63	6
Workshop	1.59	6
Building-Specific Space Types	LPD, W/ft ²	RCR Threshold
Automotive		
Service/Repair	0.67	4
Bank/Office		
Banking Activity Area	1.38	6
Convention Center		

TABLE 9.6.1 Lighting Power Densities Using the Space-by-Space Method (continued)

Building-Specific Space Types	LPD, W/ft ²	RCR Threshold
Audience Seating	0.82	4
Exhibit Space	1.45	4
Courthouse/Police Station/Penitentiary		
Courtroom	1.72	6
Confinement Cells	1.10	6
Judges' Chambers	1.17	8
Penitentiary Audience Seating	0.43	4
Penitentiary Classroom	1.34	4
Penitentiary Dining	1.07	6
Dormitory		
Living Quarters	0.38	8
Fire Stations		
Engine Room	0.56	4
Sleeping Quarters	0.25	6
Gymnasium/Fitness Center		
Fitness Area	0.72	4
Gymnasium Audience Seating	0.43	6
Playing Area	1.20	4
Hospital		
Corridor/Transition	0.89	Width < 8 ft
Emergency	2.26	6
Exam/Treatment	1.66	8
Laundry/Washing	0.60	4
Lounge/Recreation	1.07	6
Medical Supply	1.27	6
Nursery	0.88	6
Nurses' Station	0.87	6
Operating Room	1.89	6
Patient Room	0.62	6
Pharmacy	1.14	6
Physical Therapy	0.91	6
Radiology/Imaging	1.32	6
Recovery	1.15	6
Physical Therapy	0.91	6
Radiology/Imaging	1.32	6
Recovery	1.15	6
Hotel/Highway Lodging		
Hotel Dining	0.82	4
Hotel Guest Rooms	1.11	6
Hotel Lobby	1.06	4
Highway Lodging Dining	0.88	4
Highway Lodging Guest Rooms	0.75	6
Library		
Card File and Cataloging	0.72	4
Reading Area	0.93	4
Stacks	1.71	4

TABLA 5.2 DENSIDAD DE POTENCIA MAXIMOS EN INTEIORES ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, 9. Lighting

5.2.2.3 UNE-EN 12464-1 Iluminación de los lugares de trabajo en interiores

Esta normativa es europea, pero la aplicaremos en el estudio ya que es la que trae por defecto el software de DIALux Evo 9.0 pero la menciono para hacer referencia en ella, ya que haremos una comparación a la hora que nos arroje los resultados todos los estudios de iluminación que hagamos en la zona de la jefatura de mantenimiento (VER TABLA 5.3).

3 Oficinas

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
3.1	Archivo, copias, etc.	300	19	80	
3.2	Escritura, escritura a máquina, lectura, tratamiento de datos	500	19	80	Trabajo en EPV: véase el apartado 4.11
3.3	Dibujo técnico	750	16	80	
3.4	Puestos de trabajo de CAD	500	19	80	Trabajo en EPV: véase el apartado 4.11
3.5	Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
3.6	Mostrador de recepción	300	22	80	
3.7	Archivos	200	25	80	

7.1 Salas para uso general

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
					Todas las iluminancias a nivel del suelo
7.1.1	Salas de espera	200	22	80	
7.1.2	Pasillos, durante el día	200	22	80	
7.1.3	Pasillos: durante la noche	50	22	80	
7.1.4	Salas de día	200	22	80	

1.2 Salas de descanso, sanitarias y de primeros auxilios

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
1.2.1	Cantinas, despensas	200	22	80	
1.2.2	Salas de descanso	100	22	80	
1.2.3	Salas para ejercicio físico	300	22	80	
1.2.4	Vestuarios, salas de lavado, cuartos de baño, servicios	200	25	80	
1.2.5	Enfermería	500	19	80	
1.2.6	Salas para atención médica	500	16	90	T _{CP} ≥ 4 000 K

Tabla 5.3.- Niveles de iluminación para oficinas según el uso de ellas.

5.2.3 Archivo DWG

Un archivo con la extensión .dwg es un archivo de base de datos de dibujo de AutoCAD. Almacena metadatos y dibujos de imágenes vectoriales en 2D o 3D que se pueden utilizar con programas CAD.

Los archivos DWG son compatibles con muchos programas de dibujo 3D y CAD, lo que facilita la transferencia de dibujos entre programas. Sin embargo, debido a que existen numerosas versiones del formato, algunos ordenadores de DWG no pueden abrir todos los tipos de archivos DWG.

Este tipo de archivos son muy útiles a la hora de realizar cualquier tipo de plano o dibujo estetipo de archivos son un desarrollo tecnológico del dibujo técnico en épocas pasadas.

5.2.4 Archivo IES

Los archivos de datos que se crean mediante el IES (Illuminating Engineering Society) formato fotométrico estándar se llaman archivos IES; razón por la cual se consideran archivos IES fotométricos IES Archivos de datos. Estos archivos guardan las mediciones de intensidades luminosas por cantidades angulares de las luminarias, las mediciones de intensidades luminosas por unidades angulares de las luminarias, por lo que son útiles para la simulación de sistemas de iluminación antes de ser instalados.

Dado que tratan principalmente de la iluminación y los datos fotométricos, muchos programas de 3D utilizan este formato de archivo, así como la mayoría de los fabricantes de iluminación publican este archivo formato. Archivos IES se suelen abrir y ver con el uso de Autodesk Revit Architecture 2013, una aplicación más utilizada por diseñadores y arquitectos.

Permite a los usuarios crear diseños arquitectónicos de la más alta calidad y precisión. Esta aplicación se ejecuta en un sistema operativo de Windows. Los archivos IES también se pueden abrir con el uso de otras aplicaciones como AutoDesSys RenderZone, LTI Óptica Photopia y Musco Sports Lighting lumen Micro DIALux EVO 9.0 que es el software en el que realizaremos el diseño de iluminación.

Este tipo de archivos contienen todos los datos que en el anterior capítulo usamos en forma de tablas para el cálculo de cavidades zonales diagrama polar, flujo luminoso, consumo, potencia, etc.

5.3 Inicio del diseño de iluminación.

5.3.1 Construcción del Edificio

Se inicia abriendo el software DIALux Evo en su versión 9.0 (VER FIGURA 5.4), e inmediatamente se tiene una ventana con algunas opciones de diseño de la cual se toma la segunda opción: Importar archivo IFC pues se cuenta con el plano arquitectónico en formato dwg; después se selecciona el archivo (VER FIGURA 5.5).

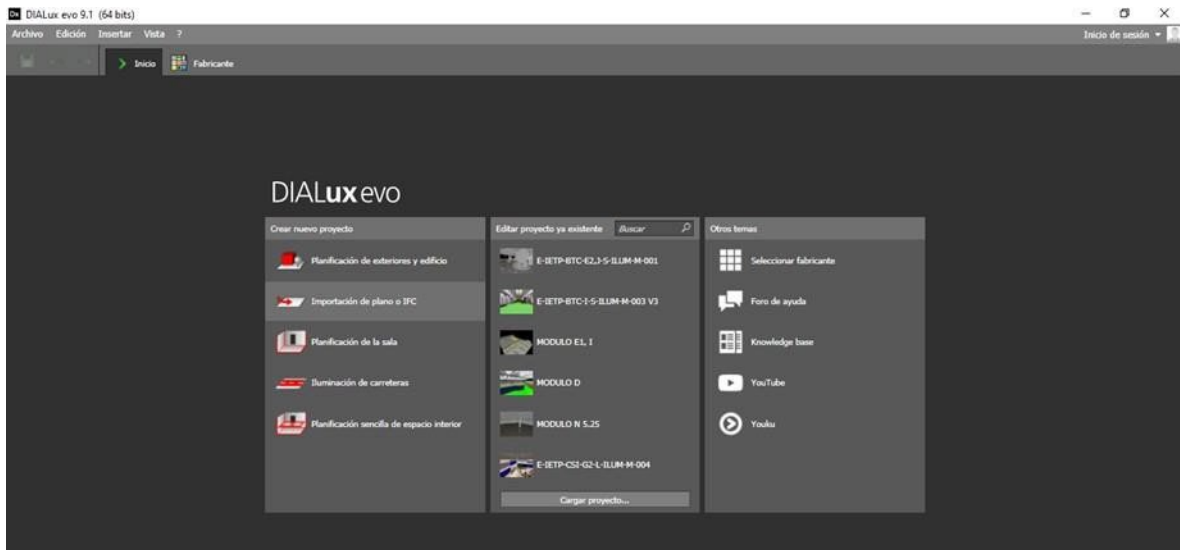


Figura 5.4.- Inicio del software DIALux Evo.

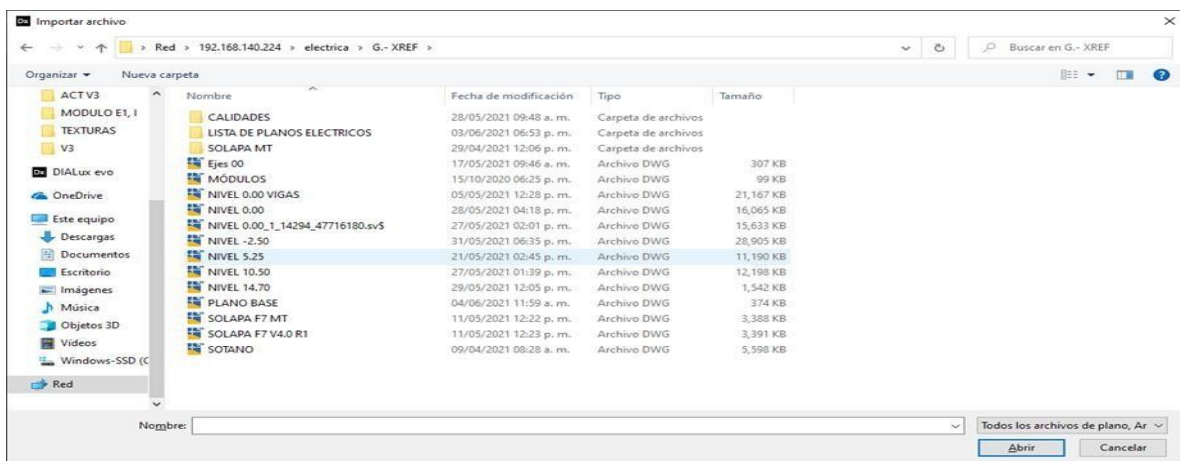


Figura 5.5.- Selección del Archivo DWG.

Una vez cargado el archivo se debe trazar una línea cuyo punto inicial servirá como punto de origen de las coordenadas, posterior se deberá asignar la escala para el proyecto, se elige la escala en metros para que coincida con la escala del archivo DWG.

De esta forma se tiene el archivo cargado correctamente en la pantalla principal del programa DIALux con la cual se inicia con el diseño.

De forma general se muestran el menú la parte superior de la pantalla de la cual se ingresa al submenú “Proyecto” para nombrar el proyecto y dar una descripción del mismo, además de la fecha y el nombre del proyectista (VER FIGURA 5.6).

En la opción “Construcción” se realizará el modelado del edificio y los cuartos además de los acabados en colores y texturas.

Dentro del submenú de construcción se tiene unas diversas opciones de las cuales se trabajarán de forma ordenada. Se selecciona la opción de “Terreno” en la cual se traza el contorno del área del edificio en donde se hallará el cuarto al cual se diseñará la iluminación. Para trazar el edificio se selecciona la opción “Dibujar nuevo edificio”, se asigna un nombre y se traza el edificio considerando el contorno exterior de los muros. Posterior se asigna una altura a la planta del edificio. (VER FIGURA 5.6).

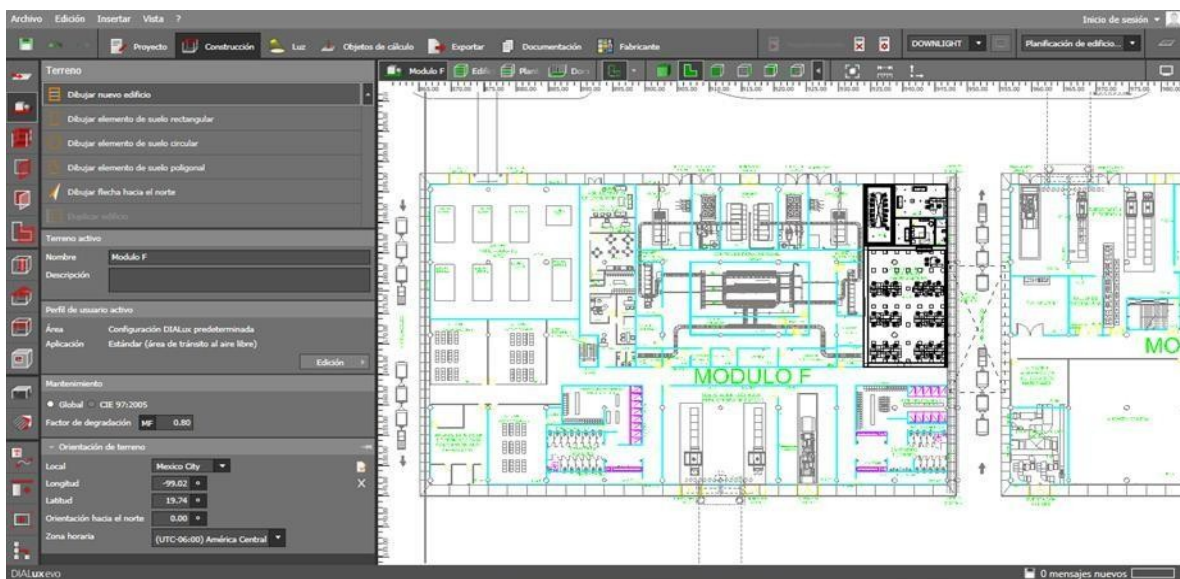


Figura 5.6.- Opciones del submenú de dibujar nuevo edificio.

5.3.2 Construcción de Locales

Una vez terminado el edificio se procede con la siguiente opción del menú construcción “Construcción de plantas y edificio” (VER FIGURA 5.7), en esta opción se define la altura de la planta y se crea la sala para oficinas generales. Para ello se selecciona la opción “Crear sala nueva” y se asigna nombre a la sala como “Oficinas Generales” y se procede a trazar la superficie de la sala tomando como limites el interior de los muros en la planta arquitectónica.

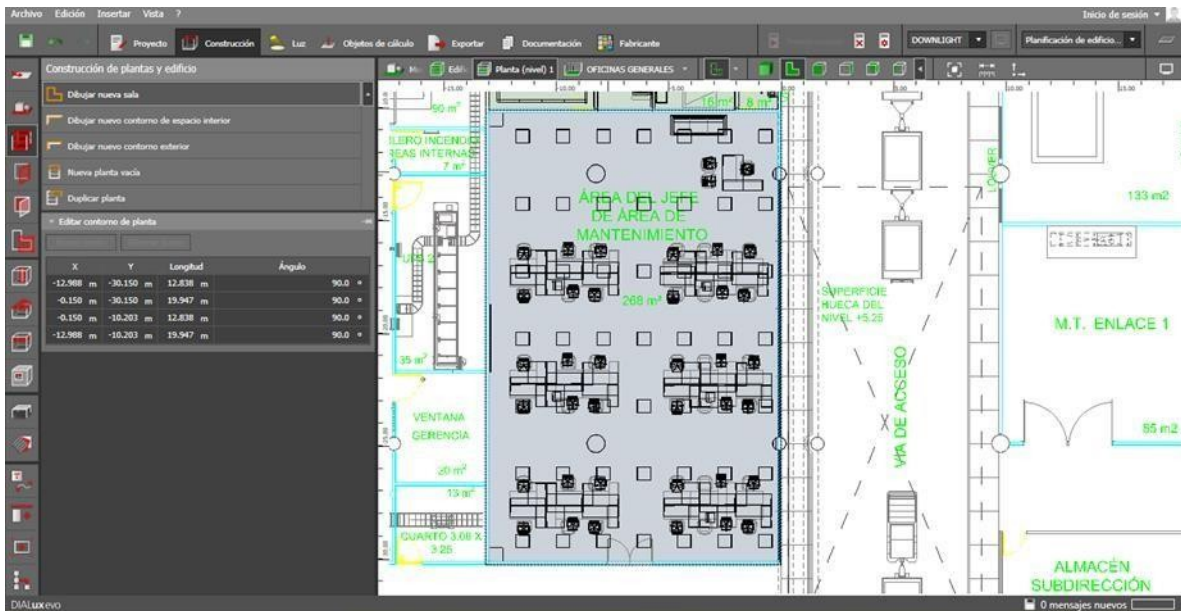


Figura 5.7.- Submenú Construcción de plantas y edificio.

Después de tener la sala de Oficinas Generales se continua con la construcción definiendo las ventanas o ventanales de la sala, para ello se toma la opción de “Abertura de edificio” (VER FIGURA 5.8) y se selecciona “Dibujar nueva abertura de edificio” se debe definir los parámetros de la abertura tales como altura de ventana, parapeto, anchura; una vez definidos los parámetros se posiciona el puntero en la posición inicial de la abertura sobre la línea de contorno interior de la sala y se realiza el trazo.

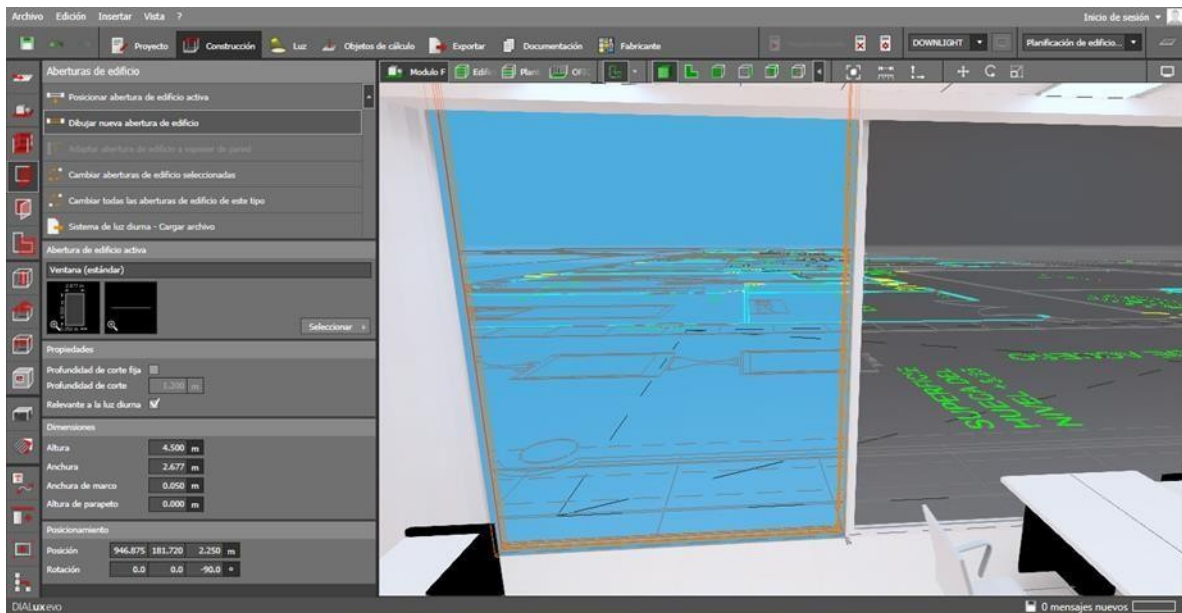


Figura 5.8.- Submenú Abertura de edificio

Después de realizar todas las aberturas de la sala se continua con siguiente submenú “Áreas” (VER FIGURA 5.9) este menú servirá para definir el **perfil de usuario activo** de las salas que se han creado en este caso las “Oficinas Generales”; con el submenú de áreas seleccionado a continuación se seleccionará en planta la sala antes mencionada y con ello se tendrá una ventana en donde se ubica el submenú, en esta ventana se deberán llenar los datos del perfil de usuario activo.

Esta información depende del proyecto, y de lo marcado por la **NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008**, ya que como ya lo había dicho el programa tiene como predeterminada la normativa **UNE-EN 12464-1** y en algunos casos puede variar ya que la normativa europea es un poco más estricta y solo es cuestión de revisar que entre en la normativa mexicana. En este caso el proyecto arquitectónico indica que la sala se destinara para oficinas en las cuales se desarrollaran trabajos de lectura, escritura y tratamiento de textos. Tomando en cuenta la referencia que marca la norma en la tabla 1, se considera el área de trabajo como “áreas de precisión, salas de cómputo y de dibujo” por lo cual la norma exige un nivel de iluminación mínimo promedio de **500 luxes** y por lo tanto la normativa europea entra en los estándares que marca la **NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008**.

En la ventana desplegada se deberá seleccionar el botón de “Edición” tras esa acción se desplegará una nueva ventana

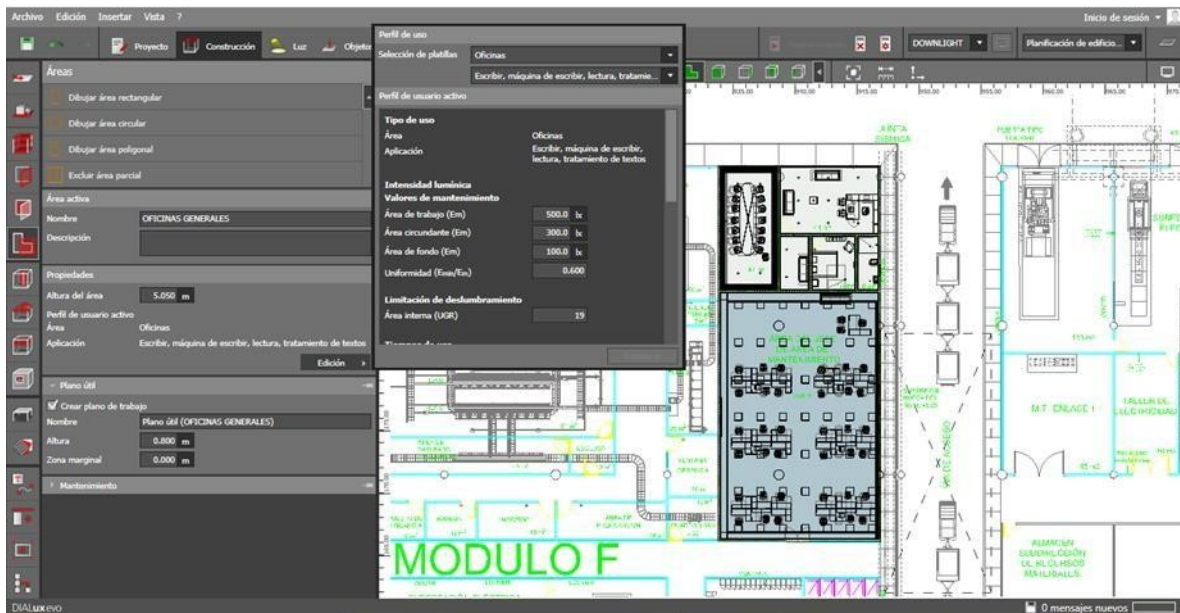


Figura 5.9.- Submenú Áreas

En esta nueva ventana se debe seleccionar la plantilla del perfil de usuario, y en este caso se elige la plantilla de oficinas, y posterior en la segunda pestaña de opciones se elige “Escribir, máquina de escribir, lectura, tratamiento de textos”.

El Software DIALux Evo en su versión 9.0 tiene las plantillas precargadas con base la norma **UNE-EN 12464-1** con los niveles de iluminación permitidos, además de niveles de deslumbramiento y altura de plano útil. Por lo que solamente se debe seleccionar la opción adecuada y después de perfilar el área se deben corroborar los valores de niveles de iluminación, nivel de deslumbramiento y altura del plano útil con base en la norma mexicana.

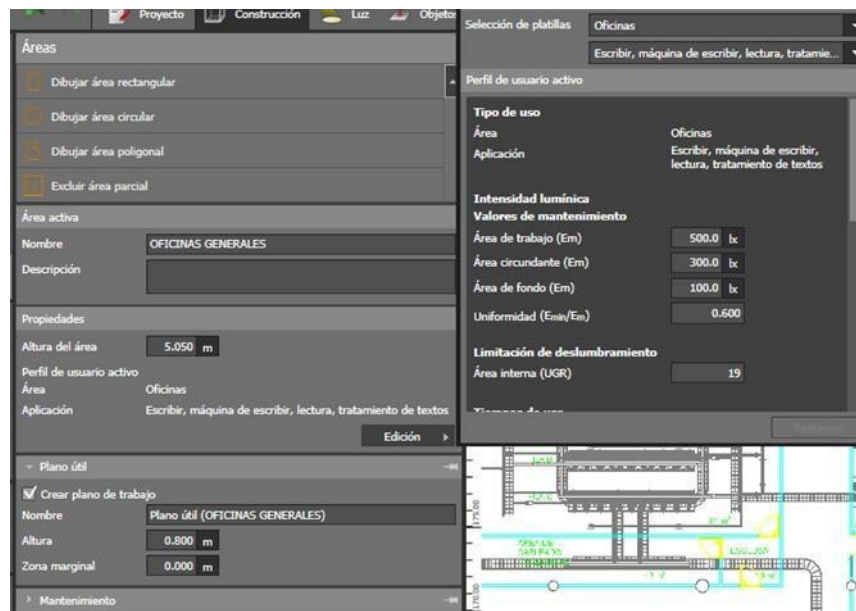


Figura 5.10.- Parámetros luminotécnicos para oficinas.

5.3.3 Construcción de plafones

Después se construirá el techo del local usando el submenú “Techo” (VER FIGURA 5.11) según información complementaria del proyecto se entiende que el techo del local para oficinas está diseñado a base de plafón modular en el centro el plafón liso en las orillas separados por una distancia de alrededor de 30 cm, la abertura por la cual se instalará iluminación indirecta a base de luminarias de tipo led.

Por lo anterior se construirá el techo en dos secciones, el plafón central reticular en un techo y el plafón liso perimetral en otro techo. Para dimensionar el plafón central es preciso trazar una cuadrícula en el área del local para ubicar la posición precisa del centro geométrico del local, a partir del cual partirán las cuadrículas a los cuatro lados ortogonales considerando cuadrículas de 0.6 m x 0.6 m hasta abarcar el área total del local.

Para el trazo de la retícula cuadricular se ocupa el menú de “trazos” en el seleccionamos la opción de insertar retícula, tras la selección se abrirá una ventana en donde se configura los parámetros de la retícula, largo y ancho y en estas opciones se define a 0.6 m, en la vista de

planta se traza el área sobre la cual se dibujará la retícula. Una vez trazada la retícula se debe corroborar que el centro geométrico del área coincida con un vértice de la retícula.

Una vez terminado el trazo se procede a insertar el techo, se selecciona la opción de insertar techo en el menú de techos y luego se traza el área del techo sobre la retícula para asegurar que el techo tenga la medida exacta múltiplo de 0.6 para que se perciban los módulos completos. En la ventana de configuración del techo se define la altura del techo al nivel de piso en la cual se define a 3.20m la altura del plafón. Se revisa el plafón en la vista 3D.

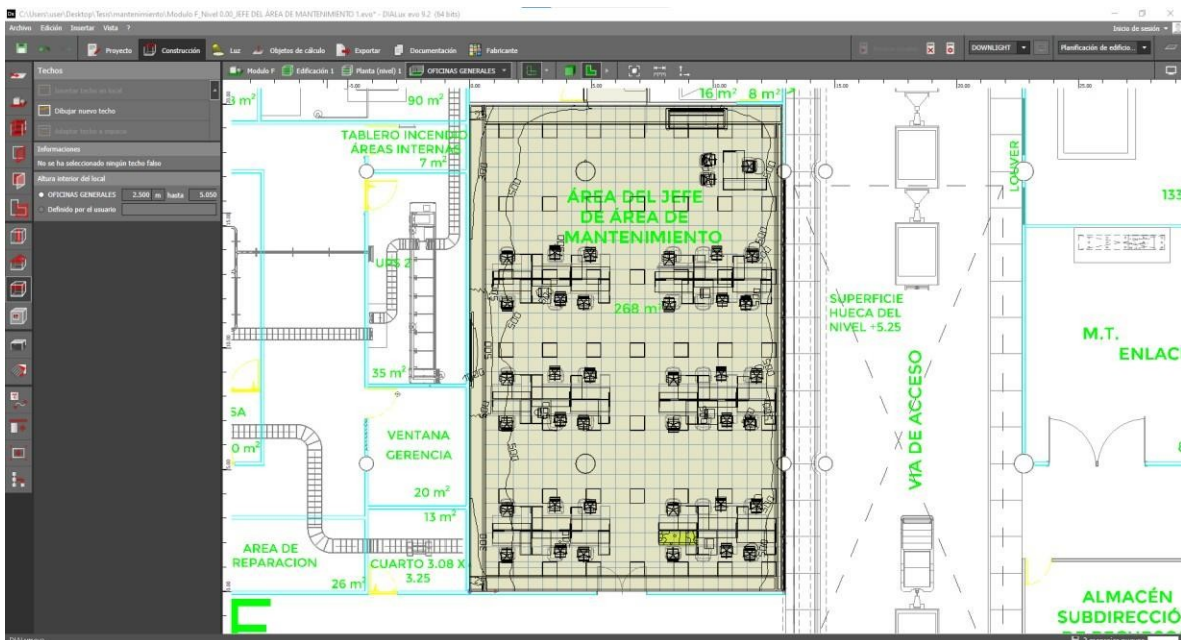


Figura 5.11.- Submenú Techos.

5.3.4 Mobiliario y Texturas

En el siguiente paso se insertan los muebles y objetos que se tienen en el proyecto arquitectónico, para ello buscamos en el catálogo que tiene precargado el software, en el menú de “muebles y objetos” (VER FIGURA 5.12) en la opción de “insertar” seleccionamos de la ventana emergente del catálogo de muebles las opciones de muebles. En ella se seleccionan el tipo de muebles que se tienen en el proyecto, en este caso se ocupan mesas y sillas para oficina. Después de seleccionar el mueble deseado se continua en la vista de planta para ubicar el mueble.

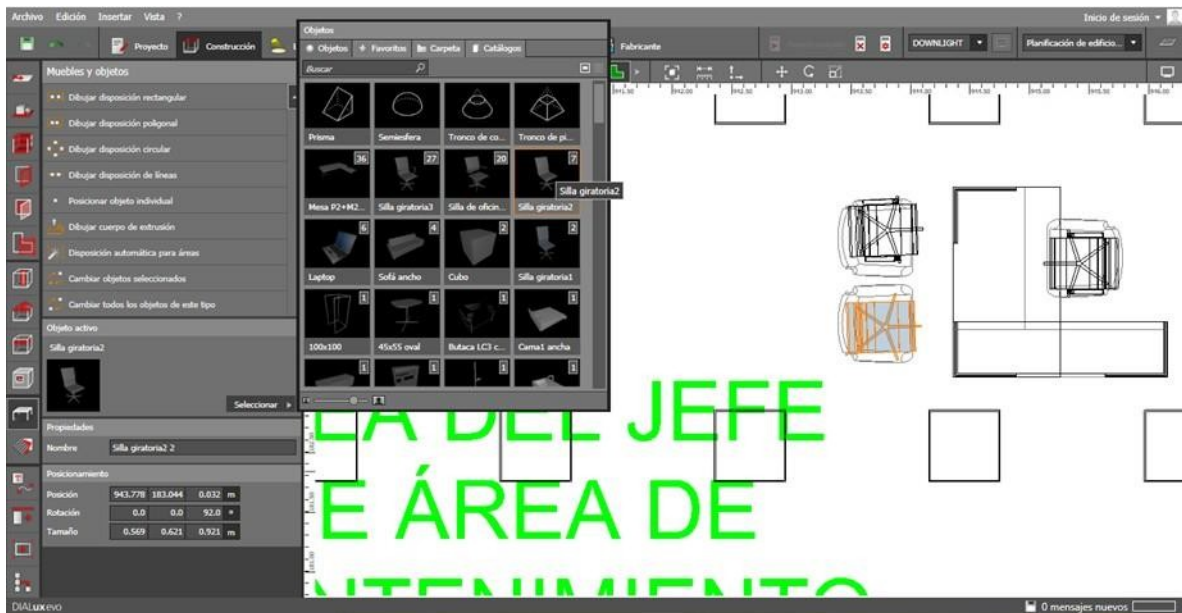


Figura 5.12.- Submenú muebles y objetos.

Una vez sembrados todos los muebles proyectados el siguiente paso en el diseño y la construcción de la sala es darles colores y texturas a todas las superficies modeladas dentro del área útil del local.

Es necesario contar con información adicional del proyecto, se requiere contar con el tipo y color de pinturas que llevaran los muros y plafones en caso de que sea pintura el acabado o en su defecto el código de color RGB (Red, Green, Blue); en otro caso en donde el acabado de los pisos o muros sea otro tipo de material tal como loseta, mármol, porcelanato, ect. Se precisa la textura del material en una imagen formato .png o jpg. Además, el color o la textura de los muebles.

En el menú de “materiales” (VER FIGURA 5.13) se selecciona la opción “crear material de textura” y se abre una ventana para seleccionar el archivo en formato de imagen .jpg o .png después de seleccionarlo se tiene la ventana del menú de materiales en la cual se configura las medidas de la modulación de la textura, y posterior se insertará la textura directamente en la superficie a pintar.

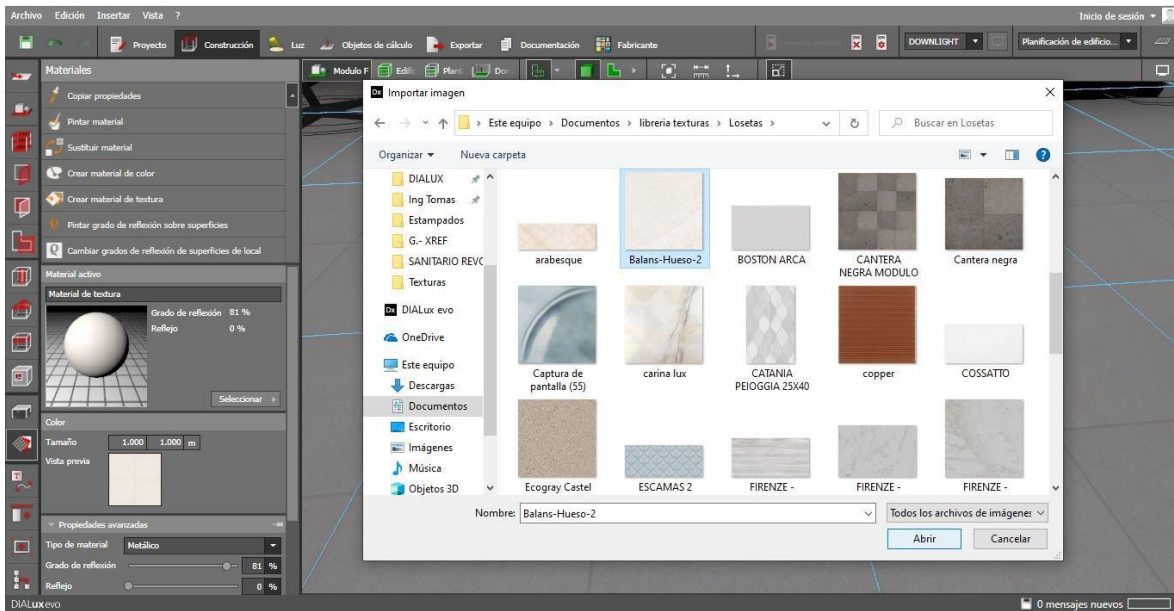


Figura 5.13.- Submenú Materiales.

Se repite este proceso para todas las superficies diferentes que tenemos en el modelo de forma que las texturas y materiales definidos en el modelo emulen las características físicas reales de los materiales.

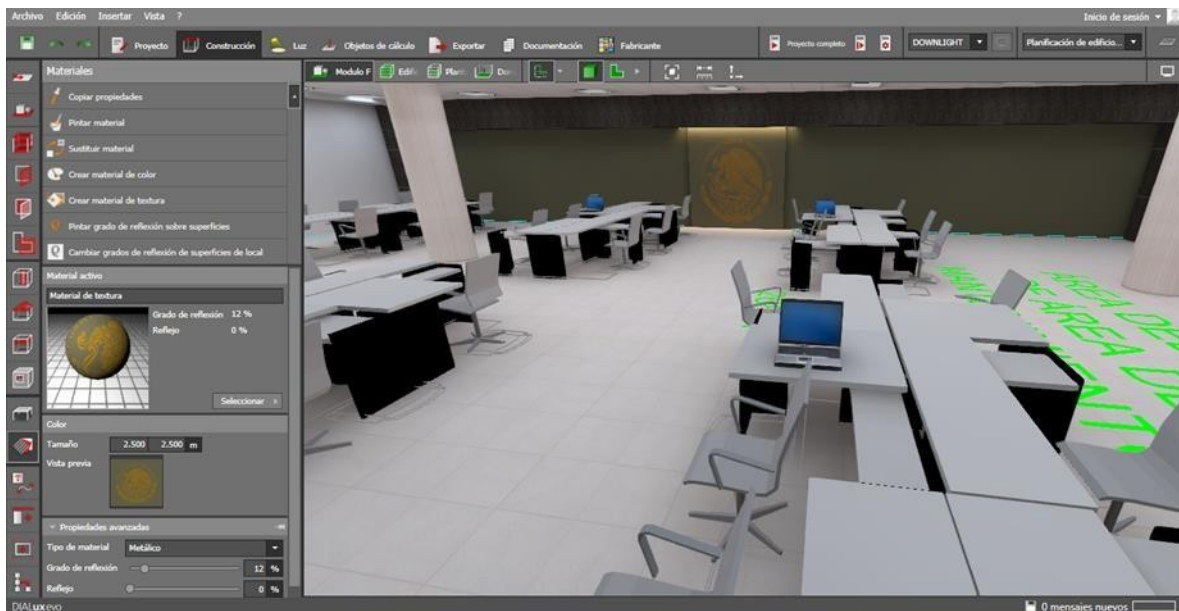


Figura 5.14.- Simulación de los muebles dentro de las Oficinas generales.

5.4 Diseño de Iluminación

Una vez concluido con el proceso de modelado de la oficina se continua con la iluminación. En este punto del diseño es conveniente retomar los documentos de referencia para tener en cuenta los requerimientos mínimos que se deben cumplir. Para este caso el proyecto de iluminación debe cumplir con los estándares de la certificación internacional LEED **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010**, además de la norma oficial mexicana **NOM- 025-STPS-2008**.

Para cumplir los requerimientos de la certificación LEED que consisten en lo siguiente

- Se debe ocupar tecnología LED en todas las Luminarias
- El Tiempo de vida útil de las luminarias debe ser mayor a 2500hrs
- El nivel de DPEA debe cumplir con lo indicado
ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010

5.4.1 Sembrado de luminarias

Dado a lo anterior y considerando el diseño de la oficina, se propone una luminaria empotrable para instalarse en plafón modular. Se plantea la opción de la luminaria:

En el menú de “Luz” se abre el submenú de “luminarias” (VER FIGURA 5.15) y se selecciona la opción de insertar luminaria, se abre una ventana en la cual se ubicará el archivo, ies de la luminaria. Después de esta acción ya se tiene cargada la luminaria en el software, se continúa con el sembrado de la iluminación para lo cual se elige la opción de “ubicación automática por áreas” después se seleccionará en el plano en planta el local al cual vamos a sembrar las luminarias y en automático el software hará un sembrado pre estimativo de la cantidad y disposición de luminarias, la cual como vimos en el anterior capítulo es un cálculo por el método de lumen, sin embargo esta disposición no va acorde con el plafón modular, así que se redistribuirá la posición del sembrado de tal forma que las luminarias queden en la posición correcta de cada módulo del plafón.

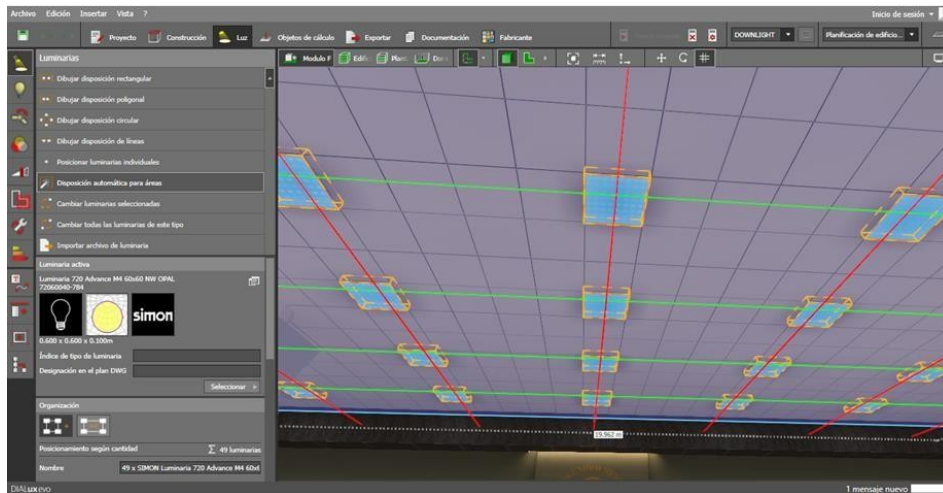


Figura 5.15.- Submenú de luminarias

Para el caso de esta oficina solo se ocupó un solo modelo de luminaria pues la necesidad del área de trabajo requiere que la iluminación sea uniforme en todos los puntos.

Para revisar el nivel de iluminación de un local se configura primero el plano útil, el cual se asigna de forma automática al área cuando se perfila el uso del mismo. Además, se determina la altura y las características graficas de plano tales como las isolíneas, los colores falsos y los niveles de iluminación.

En el menú de “Objetos de Calculo” (VER FIGURA 5.16) en la pestaña de “Plano Útil” se despliegan las opciones que se mencionaron antes y se seleccionan las opciones de interés.

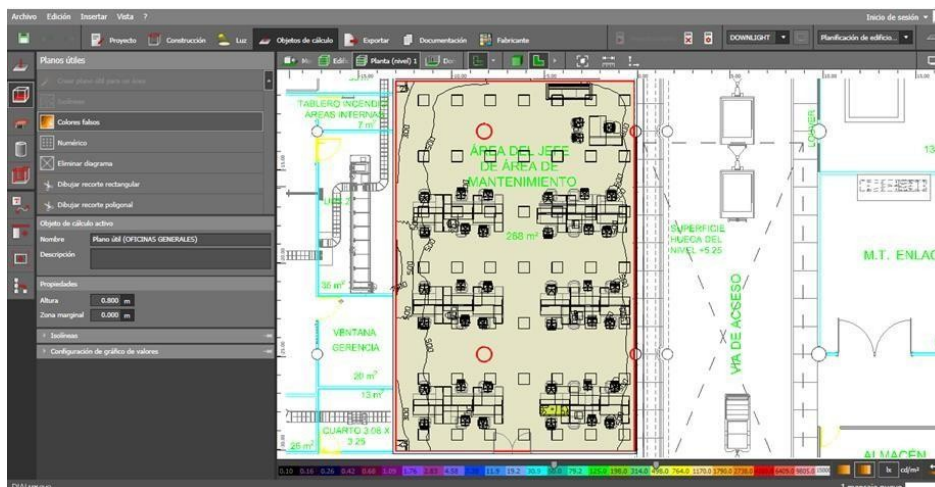


Figura 5.16.- Menú Objetos de Calculo.

Sin embargo, se requiere analizar otro parámetro además del nivel de iluminación, en este caso se requiere conocer el UGR (Unified Glare Rating) para ello se inserta un objeto de cálculo seleccionando la opción del “insertar objeto de cálculo poligonal” (VER FIGURA 5.17) después se realiza el trazo del área del local cuyo perímetro corresponda exactamente al perímetro del plano útil del local. El Objeto de cálculo también tendrá un plano grafico el cual se deberá configurar igual forma que el plano útil.

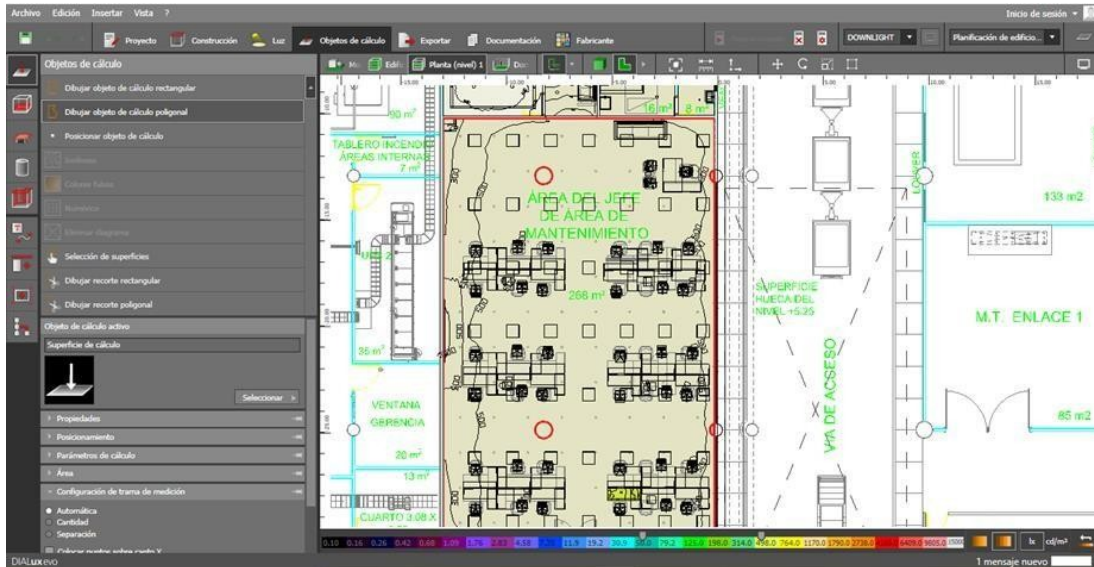


Figura 5.17.- Configuración del parámetro del UGR.

5.4.2 Primer Diseño

De esta forma se concluye el modelado y la proyección de iluminación del local para oficinas. Lo siguiente es iniciar el cálculo de los niveles de iluminación (VER FIGURA 5.18). Para ello seleccionamos la opción que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla “Proyecto completo”, acción tras la cual iniciara el proceso de cálculo y renderización.

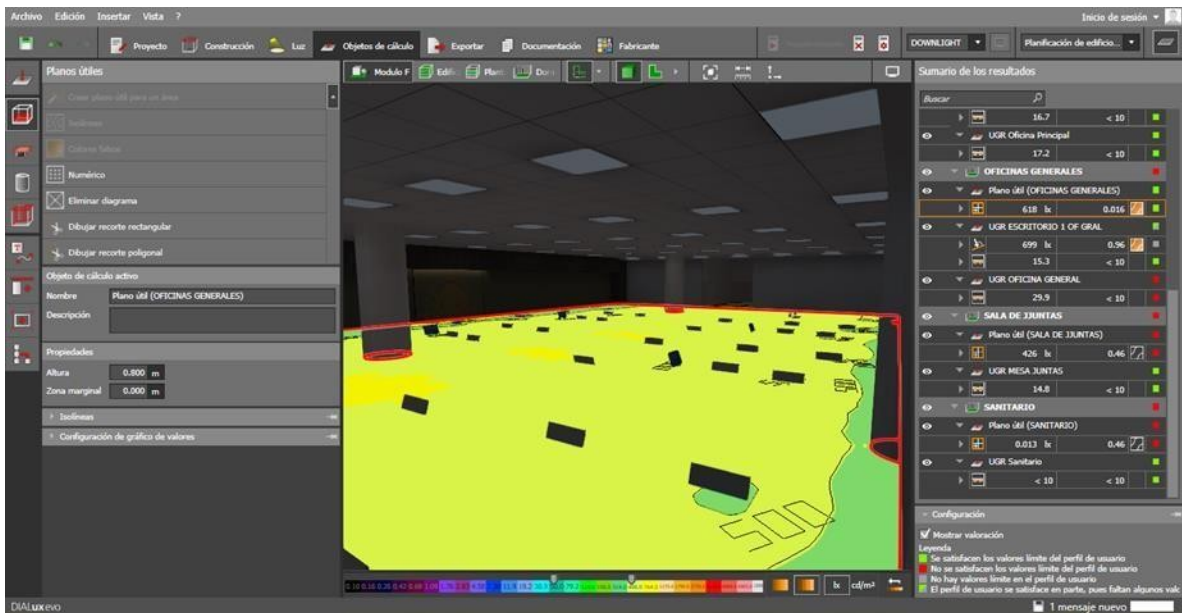


Figura 5.18.- Resultados del cálculo de iluminación.

Una vez terminado el proceso de cálculo y renderización en la parte derecha de la pantalla se desplegará el “Sumario de resultados” (VER FIGURA 5.18) en esta ventana se encuentran los resultados resumidos de los cálculos realizados, ordenados con base en la distribución de edificio, nivel y salas se agrupan los planos útiles y objetos de cálculo que se encuentran en un solo cuarto. En el cuarto de oficinas se tiene dos resultados: el nivel de iluminación del plano útil, y el resultado de nivel de deslumbramiento. Los resultados están calificados en un recuadro de color rojo si el nivel está por debajo o verde si cumple con lo requerido el perfil de uso de acuerdo con la norma.

Los resultados que se tuvieron **no son aprobatorios** por lo tanto la iluminación planteada para esta oficina cumple con ciertos parámetros como los niveles mínimos de iluminación, pero no el UGR y los DPA por los cuales se tendrá que hacer un nuevo diseño.

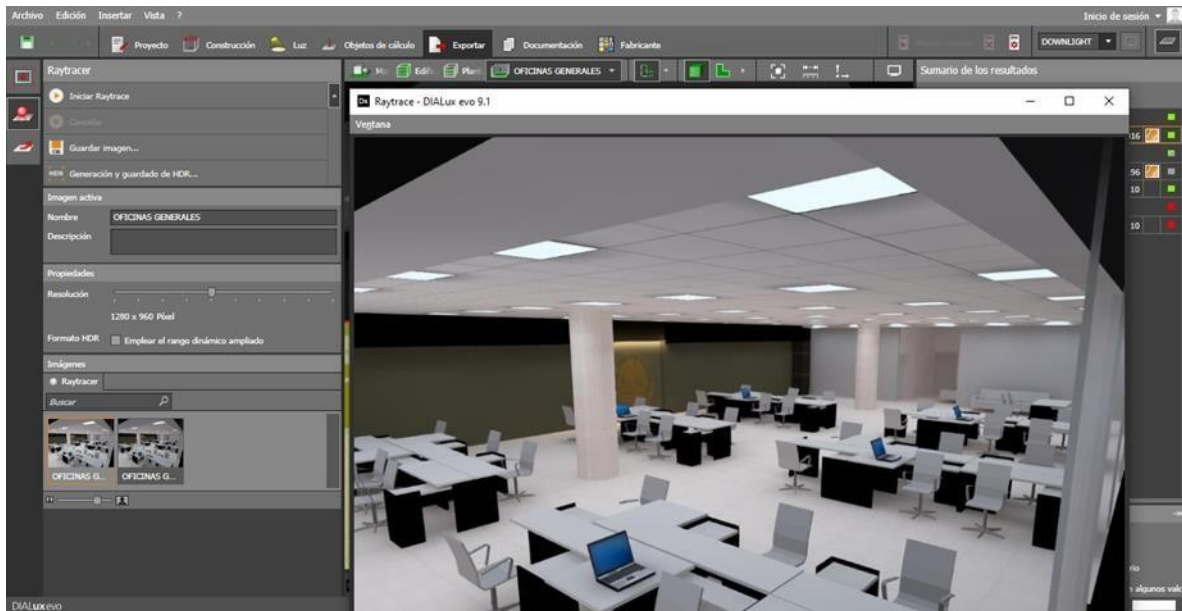


Figura 5.19.- Vista y resultados del modelado de las oficinas generales del primer diseño.

5.4.3 Segundo diseño

En el segundo diseño fue un cambio radical en el logotipo que se iba a plasmar en la pared y además un cambio al diseño del plafón por parte de los arquitectos, ya que el plafón ahora cuenta con dos cajillos, una parte con retículas de 60 x 60 cm al centro y se requiere resaltar el logotipo pegado en la pared, para todos estos cambios fue requerido utilizar más tipos de luminarias, como lo fueron las tiras de led pero se revisaron muy bien sus curvas fotométricas ya que se requieran una con un haz de luz más cerrado seleccionamos una con un ángulo de abertura de 8° y otra para utilizar en los cajillos centrales y luminarias tipo Down light, se hicieron todos los pasos anteriores y quedo de la siguiente manera.

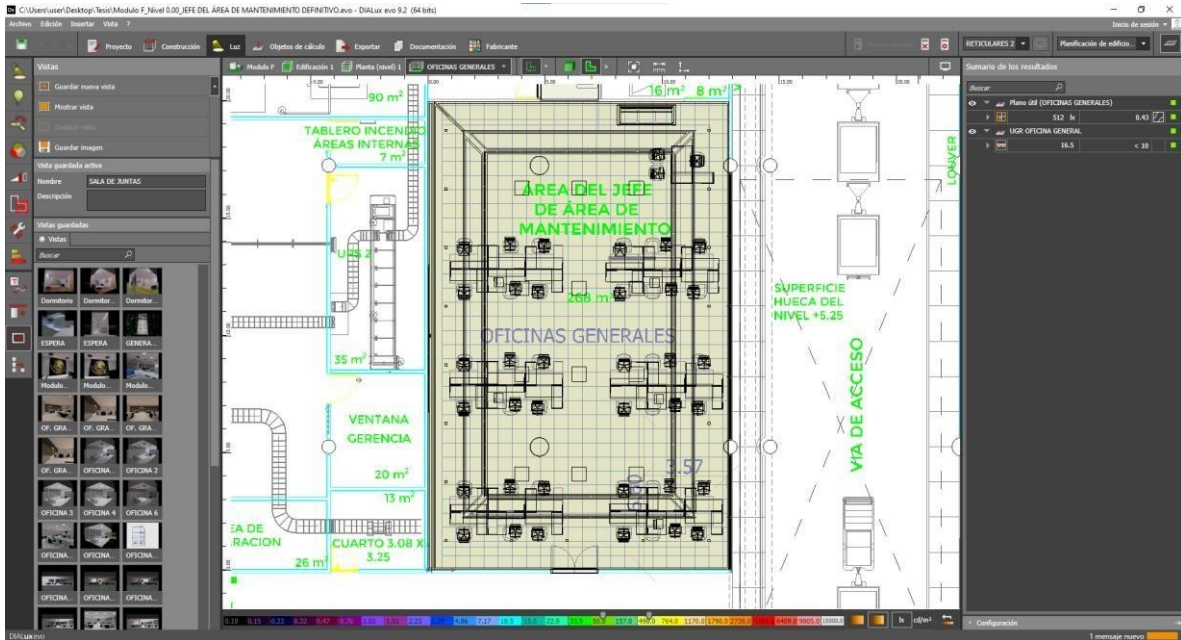


Figura 5.20.- Vista y resultados del modelado de las oficinas generales del segundo diseño.

En este segundo proyecto vemos que todos los parámetros ahora si están dentro de los límites marcados por las normas. (VER FIGURA 5.22)

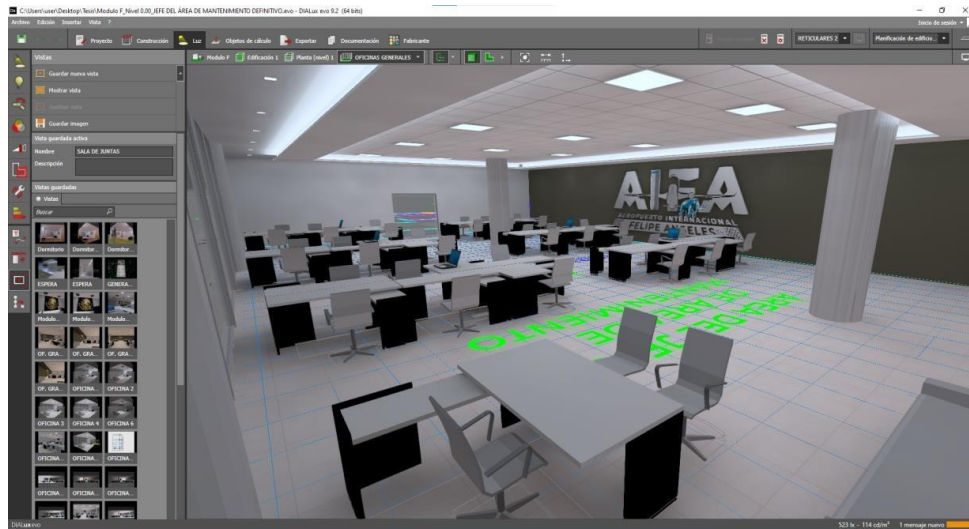


Figura 5.21.- Vista del interior de las oficinas generales.

5.5 Memoria de Calculo

El proyecto se entrega en tres partes:

- El proyecto de iluminación en formato EVO, El mismo que se desarrolló con el software y se trabajó.
- El plano de sembrado de luminarias en formato DWG este se exporta del archivo. evo sobre el que se desarrolló el proyecto. En el menú de “Exportar” en la pestaña de “Planos” se eligen las características del plano para exportar y el software genera el archivo en formato DWG cuyo contenido es el sembrado de luminaria en la sala correspondiente al modelo.
- Por último, se entrega también la memoria técnica descriptiva del estudio de iluminación, la cual el mismo software genera en el menú de “documentación”, y contiene toda la información del proyecto, tal como características de materiales y texturas de muros, índices de reflexión; planos de resultados con isolíneas, imágenes fotos realistas, resumen de los resultados importantes, nivel de iluminación, UGR, DPA; una lista de luminarias basada en el sembrado de las mismas.

Todos los pasos que se mencionaron se aplicaron para obtener el estudio de iluminación de todos los demás locales que están dentro de la jefatura de mantenimiento los cuales todos están dentro de las normativas que vimos anteriormente, Los resultados obtenidos se verán en el siguiente capítulo.



Figura 5.22.- Resultados del modelado de todas las zonas de la jefatura de mantenimiento.

CAPITULO 6 RESULTADOS DEL DISEÑO DE ILUMINACION

La zona del jefe de mantenimiento del módulo F Nivel 0.00 se dividió en seis zonas, la razón fue porque a cada zona se le debe aplicar un criterio de evaluación de niveles de iluminación distinto de acuerdo a las actividades que se realizaran, siempre basándonos en la **NOM-025-STPS-2008** y también se procuró no sobrepasar los niveles máximos permitidos de DPA (Densidad de Potencia por Área) de la normativa **ASHRAE 9000.1** para la certificación LEED de todo la terminal.

Las zonas fueron las siguientes: Sala de juntas, Oficina, Sala de espera, Dormitorio, Baño y Oficinas generales, hablando específicamente del diseño de la Oficina el cálculo teórico se utilizó una luminaria de tubos fluorescentes solo para poner un ejemplo de cómo se realizaba el cálculo teórico el cual se basa el software para calcular y simular.

No se podrá realizar una comparación real de cuantas luminarias nos arrojará el diseño mediante el software ya que el modelo de luminaria que se ocupó para el cálculo teórico no cuenta con el archivo IES con el cual podríamos simularlo en el software para, por tal motivo todos los resultados mostrados a continuación se realizaron con su respectivo archivo IES.

Los resultados se colocaron en orden como nos los arroja la tabla de resultados dada por el software: espacio de estudio, luminarias seleccionadas, sembrado o distribución de las luminarias, parámetros calculados y uniformidad.

6.1 Sala de juntas

6.1.1 Selección de luminarias

Tira led:

- Marca: Lamp S.A.
- Modelo: FINE LEDS STRIP
- Su montaje debe ser con regleta para sobreponer.
- El Flujo luminoso de 1325 lúmenes.
- 21.4 w por cada metrolineal
- 30,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V

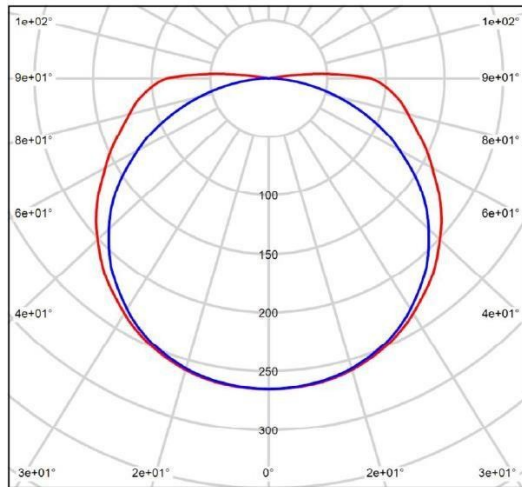


Figura 6.1.- Fotometría de la Tira Led

Luminaria Modular:

- Marca: Cooper Lighting
- Modelo: Metalux 22FP2540HE
- Medidas: 60 cm x 60 cm
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo luminoso 2550 lúmenes.
- 19.6 w.
- 50,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V.
- El balastro cuenta con tecnología DALI para su control inteligente.

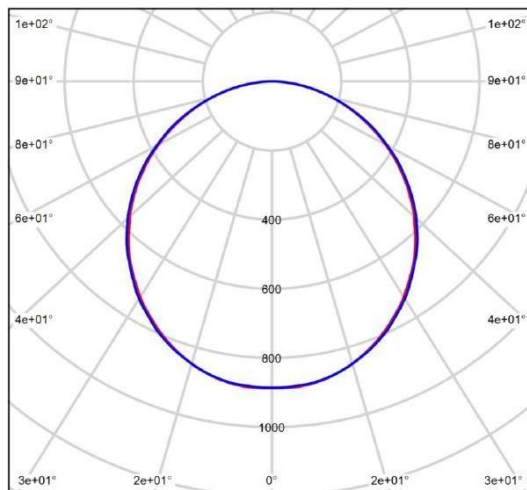


Figura 6.2.- Fotometría de Luminaria Modular.

6.1.2 Sembrado de luminarias

La distribución de luminarias automáticamente la realiza el Software DIALux EVO 9.0 lo cual nos arroja un resultado de que se requieren 6 luminarias reticulares, las cuales van a ir empotradas al plafón de tipo retícula a una altura de 3.297 m, como también el diseño del plafón que propusieron para esta zona lleva un pequeño cajón o cajillo como comúnmente se le conoce, en este llevaremos 26 m de tira de led montada sobre una regleta dirigida hacia arriba del cajillo y su haz de luz hará una reflexión hacia el para dirigirse hacia nuestro plano útil de trabajo de forma indirecta, la altura de montaje sobre el cajillo va hacer de 3.135 m, todo esto para poder alcanzar el nivel de iluminación adecuado. (VER FIGURA 6.3).

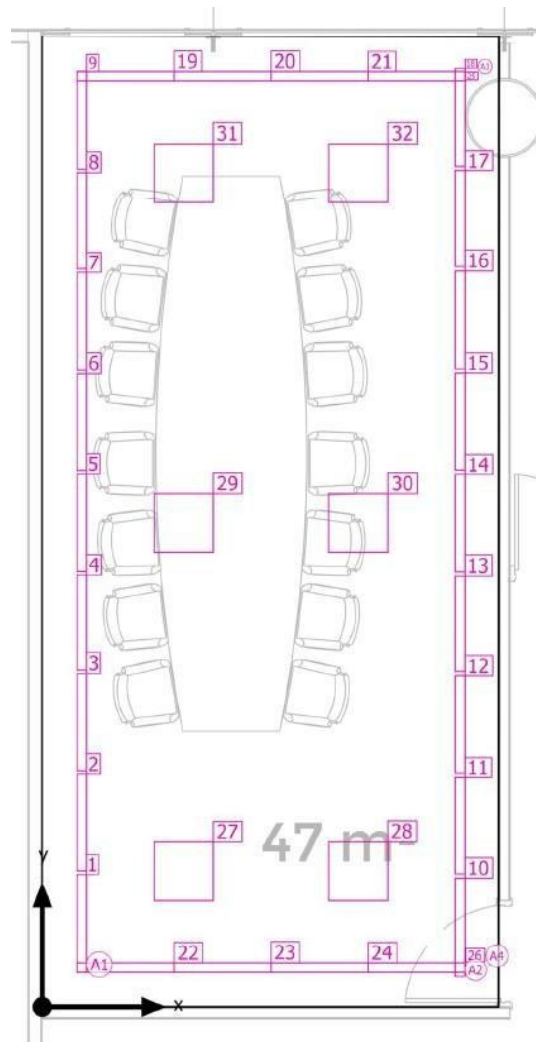


Figura 6.3.- Distribución de Luminarias de la Sala de Juntas.

6.1.3 Resultados

Perfil de uso puesto en DIALUX:

Área: **Oficina.**

Aplicación: **Sala de conferencias y Reuniones.**

Calculado por DIALUX EVO	UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.	NOM-025-STPS: 2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	NIVEL DE ILUMINACION DE	NIVEL DE ILUMINACION
539 lx	≥ 500 lx.	≥ 500 lx.

Deslumbramiento (UGR) $10 > 19$
10.2

Calculado por DIALUX EVO	ASHRAE 90.1: 2010 densidades de potencia	NOM-007-ENER: 2014, Eficiencia Energética para sistemas de alumbrado de edificios no residenciales
Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)
14.32 w/m².	≤ 13.24 w/m ² .	—

El DPA calculado es un poco mayor a lo que nos pide la normativa ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 para la certificación LEED debido a que las luminarias se calcularon estando encendidas al 100%, pero podremos bajar el valor del DPA poniendo un sistema de control que atenúen las luminarias de un 70% - 80%.

OTROS DATOS		UNIFORMIDAD (Nivel de Iluminación Mínimo/Nivel de iluminación promedio) ≥ 0.6	No hay
PLANO UTIL DE TRABAJO	0.80 m		
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	539 lx		
NIVEL DE ILUMINACION MINIMO	277 lx		
NIVEL DE ILUMINACION MAXIMO	715 lx	0.51	

ninguna normativa rigiendo el valor de la uniformidad, lo ideal es que sea ≥ 0.6 , en algunos casos no nos será posible llegar al valor deseado, debido a que el programa no desprecia la **zona marginal**, que es el área próxima a las paredes, por lo tanto despreciaremos esa zona ya que no hay ningún trabajo o actividad importante y nos servirá para tener una uniformidad adecuada donde lo más importante será que en la zona de trabajo donde el nivel de iluminación sea constante, es por ello que me di a la tarea de tener el valor cercano al 0.6 (VER FIGURA 6.4).

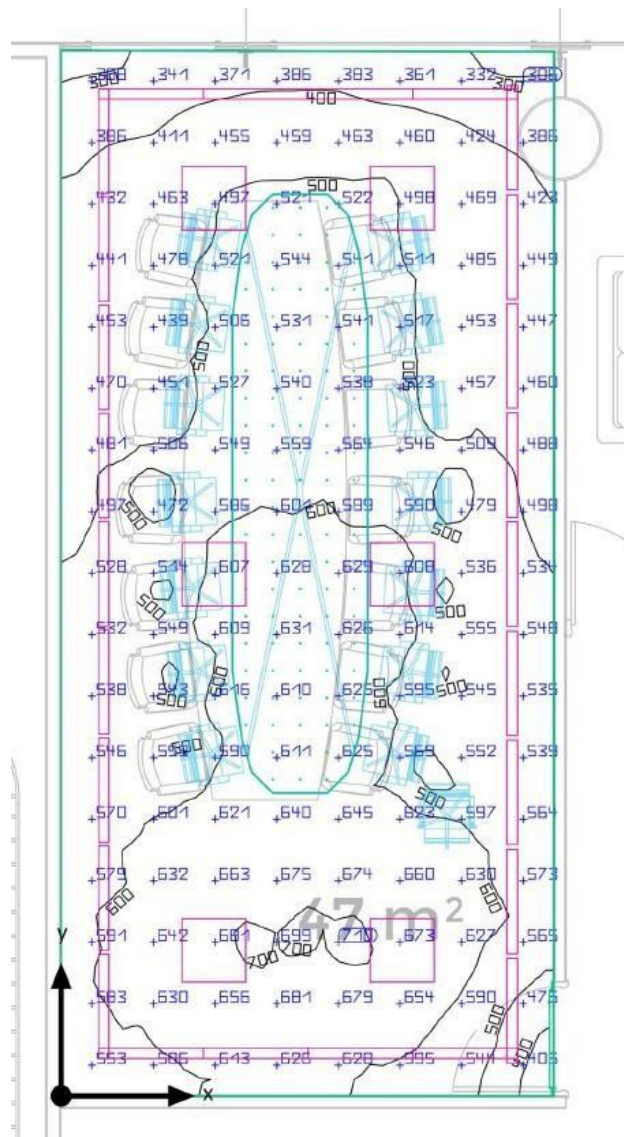


Figura 6.4.- Isocuantas de los niveles de iluminación de la Sala de juntas.

6.1.4 Vistas renderizadas



Figura 6.5.- Vista Virtual de la Sala de Juntas.



Figura 6.6.- Distribución de luminarias Sala de Juntas.

6.2 Oficina

6.2.1 Selección de luminarias

Luminaria Modular:

- Marca Cooper Lighting
- Modelo: Metalux 22FP3240HE
- Medidas: 60 cm x 60 cm
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo luminoso 3559 lúmenes.
- 30.1 w.
- 50,000 hrs. De vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V
- El balastro cuenta con tecnología DALI para su control inteligente.

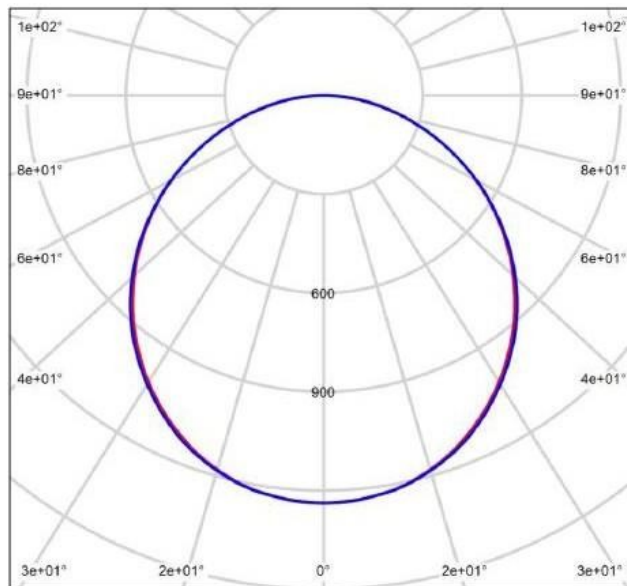


Figura 6.7.- Fotometría Luminaria modular.

6.2.2 Sembrado de luminarias

La distribución de luminarias automáticamente nos arroja un resultado de que se requieren nueve luminarias reticulares para poder alcanzar el nivel de iluminación adecuado, las cuales van a ir empotradas al plafón de tipo retícula a una altura de 3.297m (VER FIGURA 6.8).

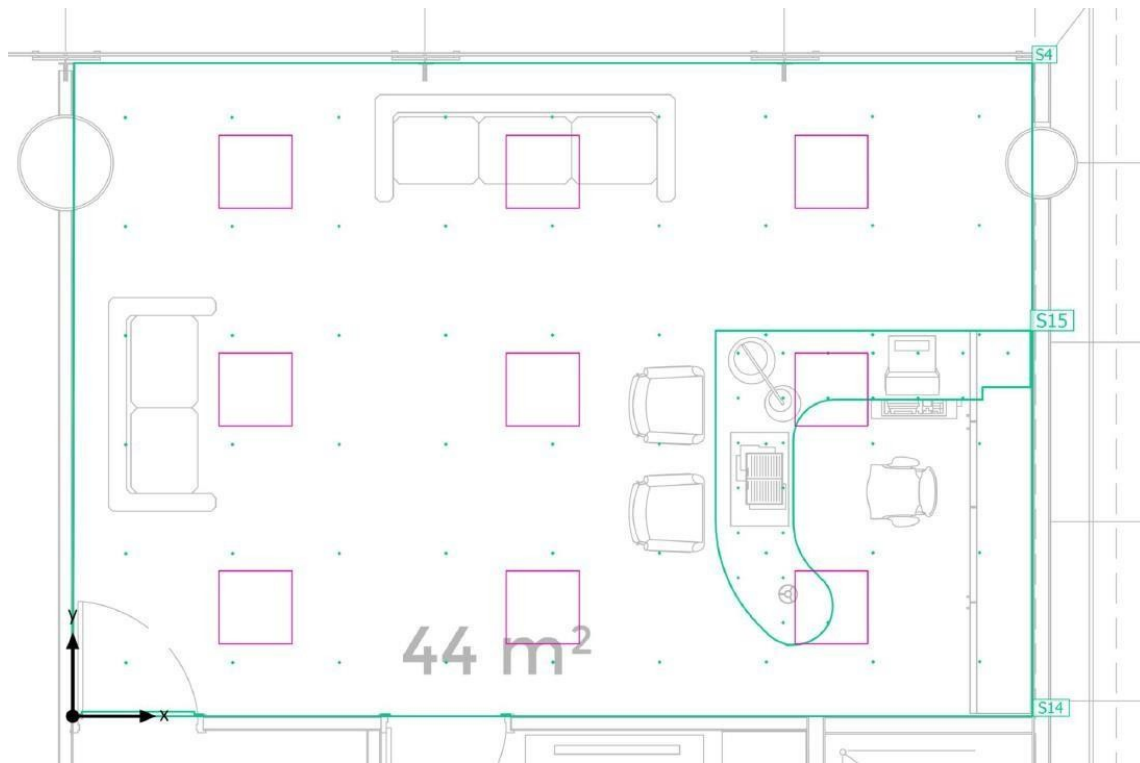


Figura 6.8.- Distribución de Luminarias de la Oficina del jefe de mantenimiento.

6.2.3 Resultados

Perfil de uso puesto en DIALUX:

Área: **Oficinas.**

Aplicación: **Escribir, máquina de escribir, lectura y tratamiento de textos.**

Calculado por DIALUX EVO	UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.	NOM-025-STPS: 2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	NIVEL DE ILUMINACION	NIVEL DE ILUMINACION
608 lx	≥ 500 lx.	≥ 500 lx.

Deslumbramiento (UGR) $10 > 19$
16.1

Calculado por DIALUX EVO	ASHRAE 90.1: 2010 densidades de potencia	NOM-007-ENER: 2014, Eficiencia Energética para sistemas de alumbrado de edificios no residenciales
Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)
6.19 w/m².	$\leq 11.95 \text{ w/m}^2.$	$\leq 12 \text{ w/m}^2.$

OTROS DATOS		UNIFORMIDAD (Nivel de Iluminación Mínimo/Nivel de iluminación promedio) ≥ 0.6
PLANO UTIL DE TRABAJO	0.80 m	
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	608 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MINIMO	311 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MAXIMO	771 lx	0.51

El resultado de la uniformidad fue lo más próximo al 0.6 debido a que el software no desprecia la zona marginal.

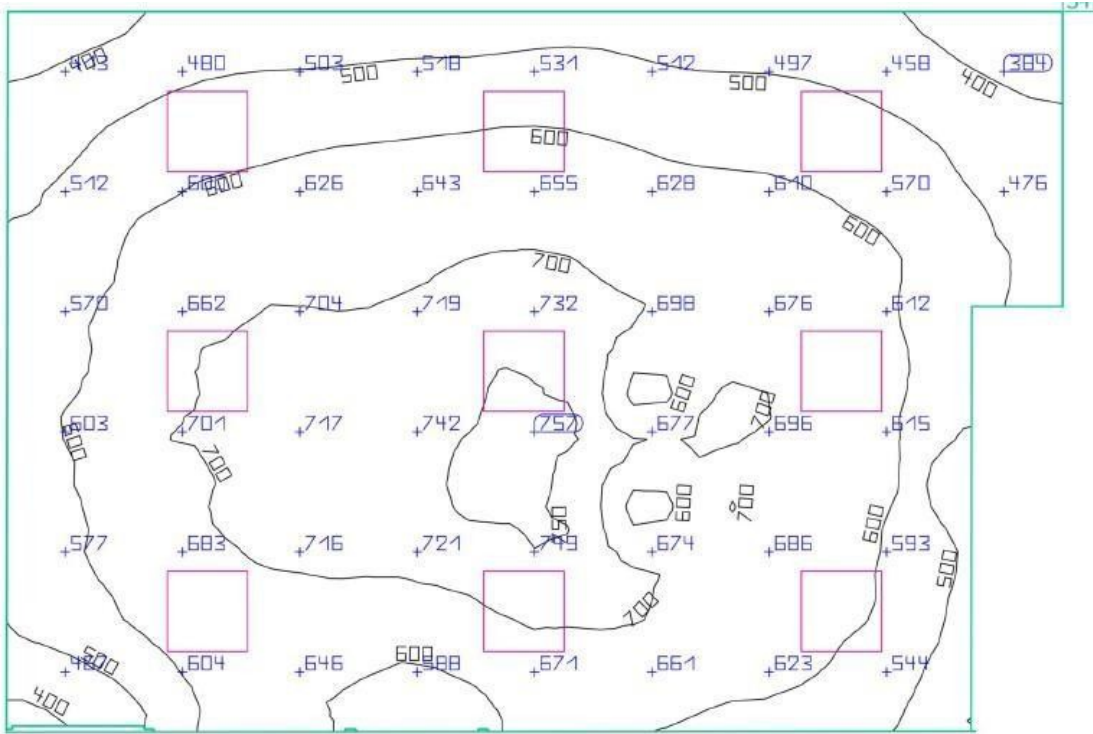


Figura 6.9.- Isocurvas de los niveles de iluminación de la Oficina.

6.2.4 Imágenes renderizadas



Figura 6.10.- Vista Virtual de la Oficina del jefe de mantenimiento.

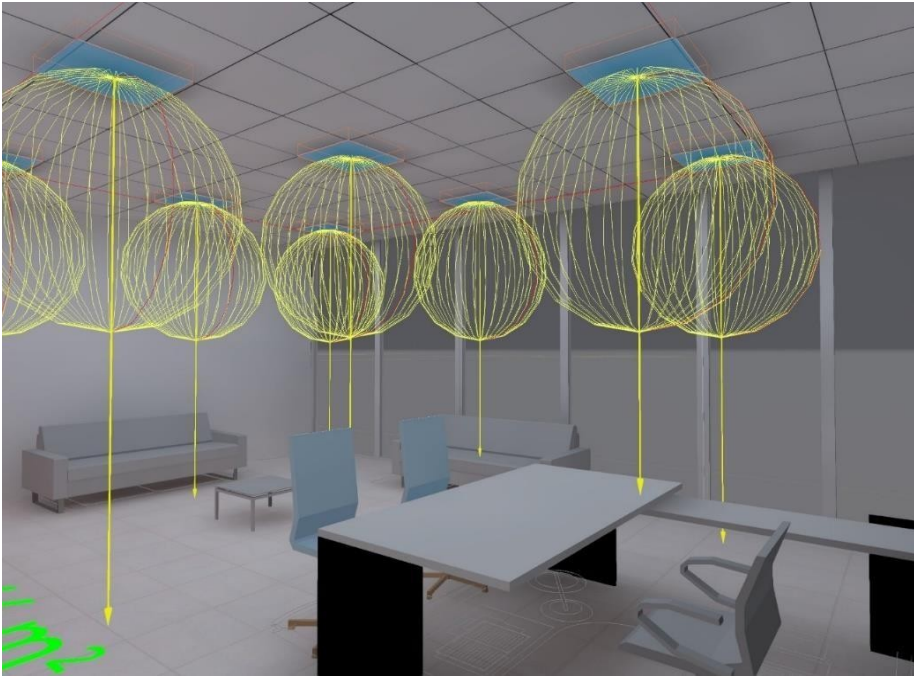


Figura 6.11.- Visualización de la curva fotométrica de las luminarias.

6.3 Sala de espera.

6.3.1 Selección de luminarias

Down Ligth:

- Luminaria Tipo Down light de 4 Pulgadas de diámetro
- Marca: Cooper Ligthing
- Modelo: LCR4089FSE010MW
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo Luminoso 890 lúmenes.
- 9.2w.
- 50,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V
- El balastro cuenta con tecnología para atenuación de 0-10V para su control inteligente.

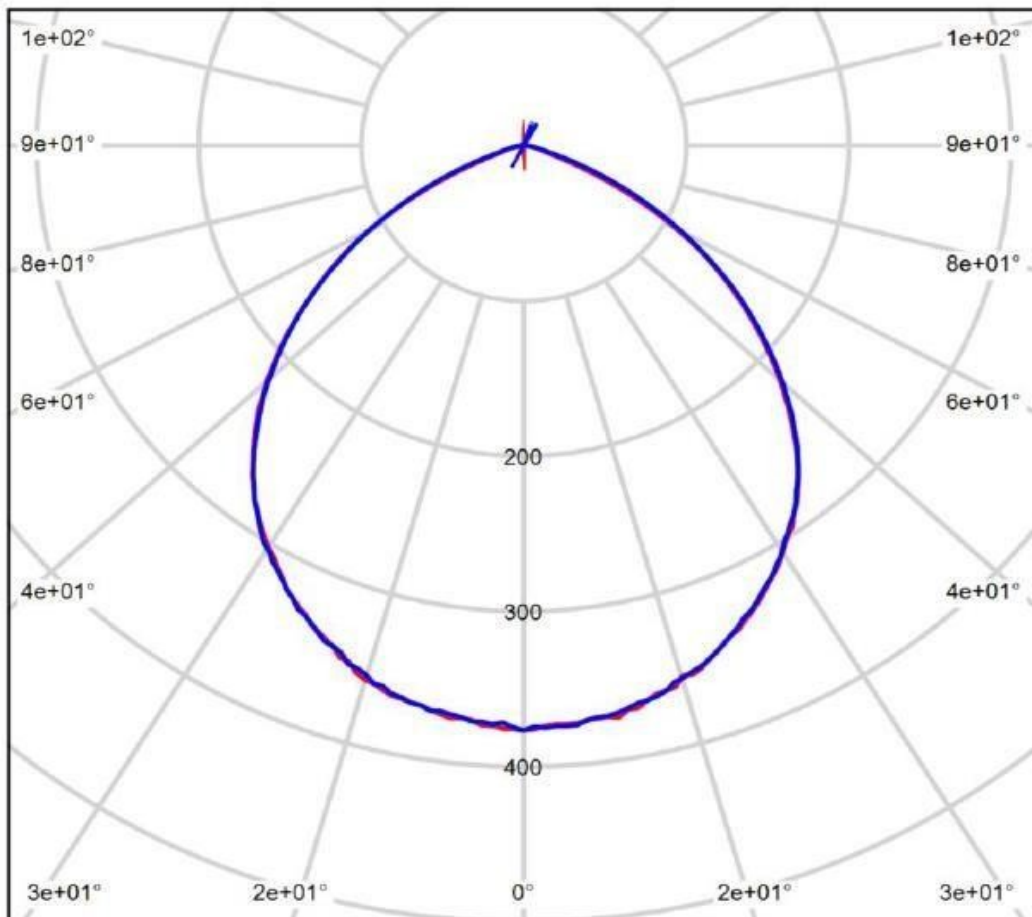


Figura 6.12.- Fotometría Luminaria Downlight.

6.3.2 Sembrado de luminarias

La distribución de luminarias automáticamente nos arroja un resultado de que se requieren 3 luminarias tipo Down light para poder alcanzar el nivel de iluminación adecuado, las luminarias irán empotradas al plafón de tipo retícula a una altura de 3.197m.

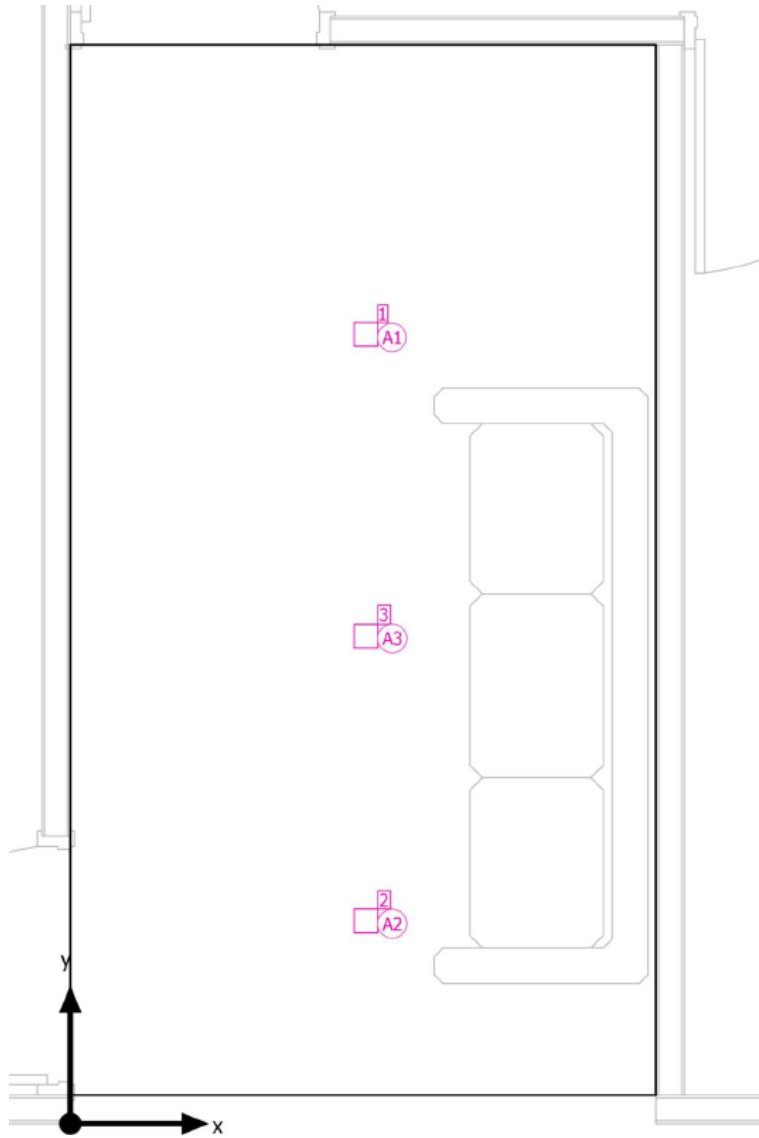


Figura 6.13.- Distribución de luminarias en la sala de espera.

6.3.3 Resultados

Perfil de uso puesto en DIALUX:

Área: **Áreas Generales.**

Aplicación: **Sala de Espera.**

Calculado por DIALUX EVO	UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.	NOM-025-STPS: 2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	NIVEL DE ILUMINACION DE	NIVEL DE ILUMINACION
346 lx	≥200 lx.	≥100 lx.

Deslumbramiento (UGR) 10 > 19
16.4

Calculado por DIALUX EVO	ASHRAE 90.1: 2010 densidades de potencia	NOM-007-ENER: 2014, Eficiencia Energética para sistemas de alumbrado de edificios no residenciales
Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)
2.55 w/m².	≤5.81 w/m².	—

OTROS DATOS		UNIFORMIDAD (Nivel de Iluminación Mínimo/Nivel de iluminación promedio) ≥ 0.6
PLANO UTIL DE TRABAJO	0.80 m	
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	346lx	
NIVEL DE ILUMINACION MINIMO	206 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MAXIMO	428 lx	0.6

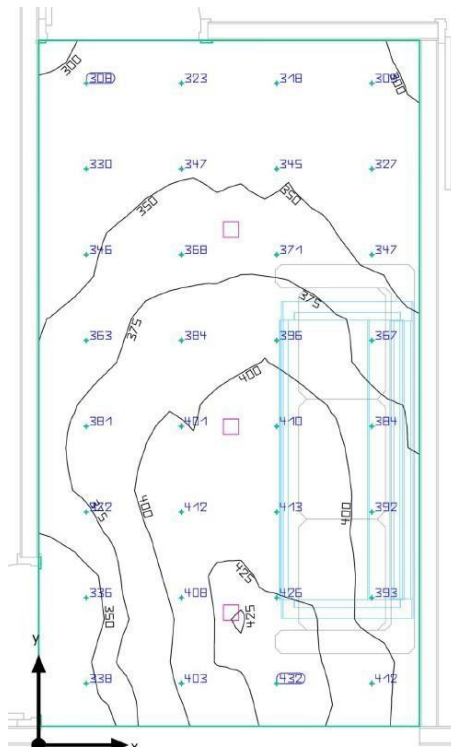


Figura 6.14.- Uniformidad de los niveles de iluminación de la Sala de espera.

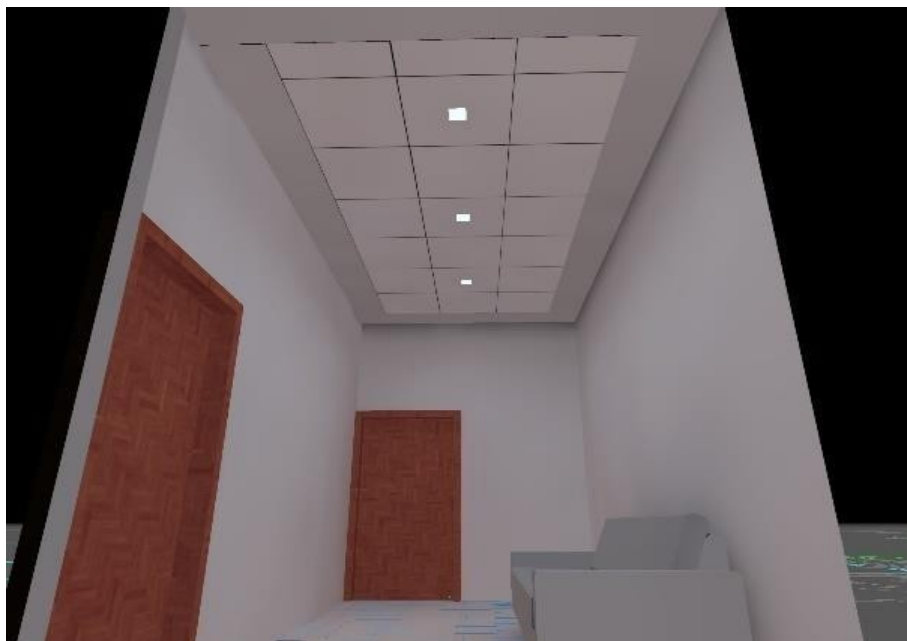


Figura 6.15.- Vista renderizada de la sala de espera.

6.4 Dormitorio

6.4.1 Selección de luminarias

DownLigh:

- Luminaria Tipo Down light de 4 Pulgadas de diámetro
- Marca: Cooper Lighting
- Modelo: LCR4089FSE010MW
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo Luminoso 890 lúmenes.
- 9.2w.
- 50,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V.
- El balastro cuenta con tecnología para atenuación de 0-10V para su control inteligente.

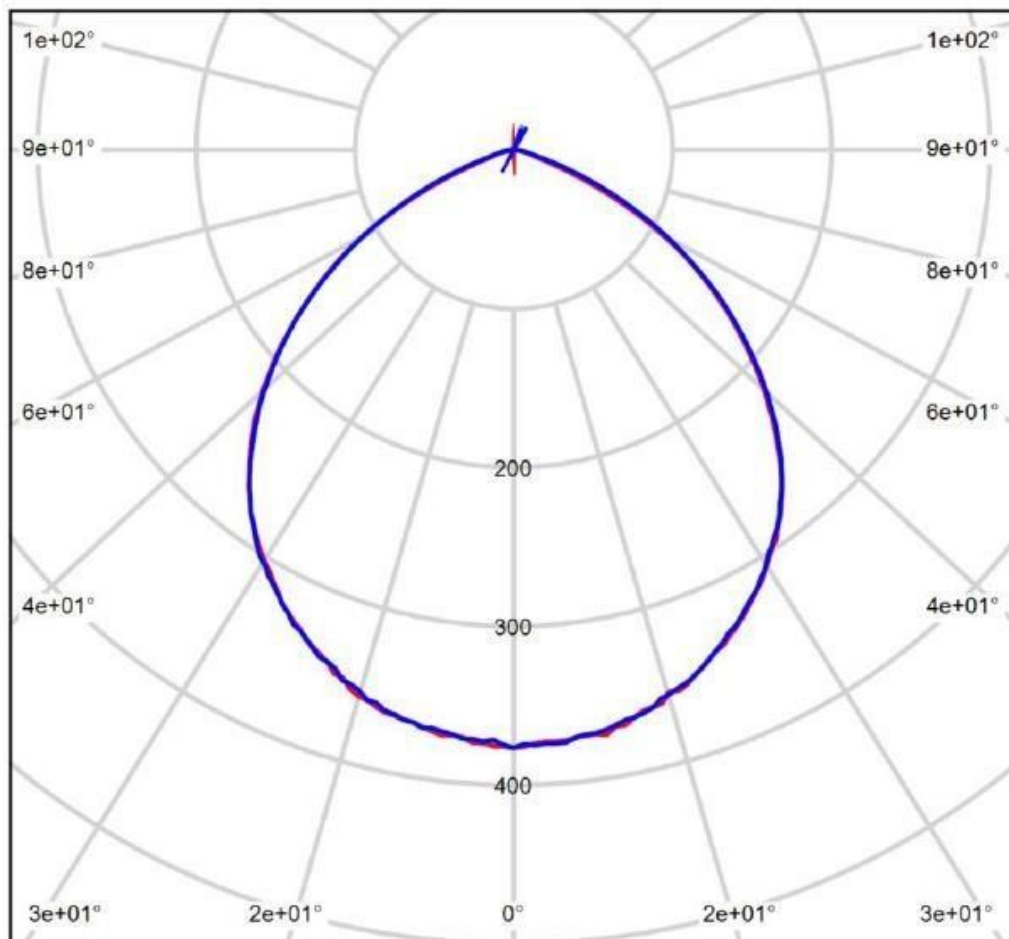


Figura 6.16.- Fotometría Luminaria Downlight.

6.4.2 Sembrado de luminarias

La distribución de luminarias automáticamente nos arroja un resultado de que se requieren 7 luminarias tipo Down light para poder mantener la uniformidad del nivel de iluminación adecuado, las luminarias irán empotradas al plafón de tipo retícula a una altura de 2.59m.

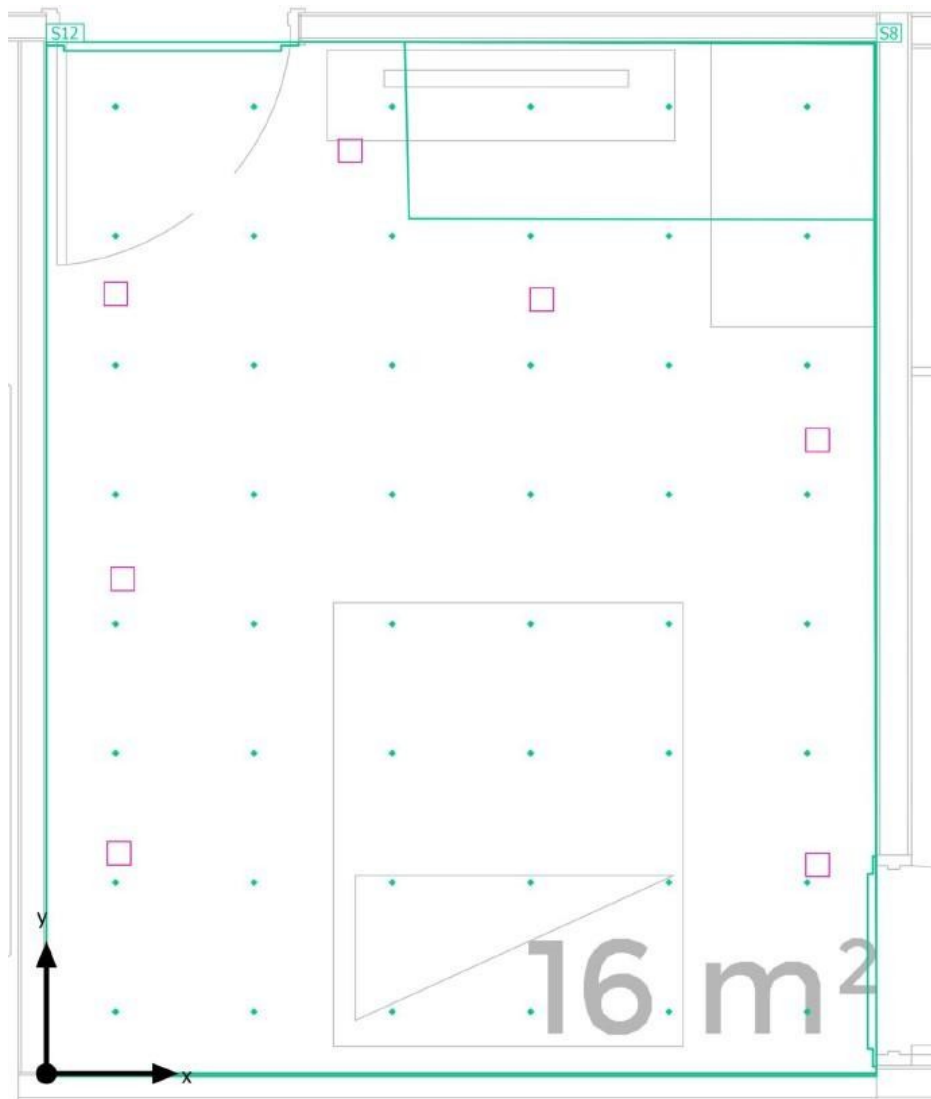


Figura 6.17.- Distribución de luminarias del Dormitorio.

6.4.3 Resultados

Perfil de uso puesto en DIALUX:

Área: **Habitaciones, salas de puerperio.**

Aplicación: **Iluminación general.**

Calculado por DIALUX EVO	UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.	NOM-025-STPS: 2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	NIVEL DE ILUMINACION	NIVEL DE ILUMINACION
338 lx	≥ 100 lx.	≥ 100 lx.

Deslumbramiento (UGR) $10 > 19$
16.2

Calculado por DIALUX EVO	ASHRAE 90.1: 2010 densidades de potencia	NOM-007-ENER: 2014, Eficiencia Energética para sistemas de alumbrado de edificios no residenciales
Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)
4.55 w/m².	≤ 7.86 w/m ² .	—

OTROS DATOS		UNIFORMIDAD (Nivel de Iluminación Mínimo/Nivel de iluminación promedio) ≥ 0.6
PLANO UTIL DE TRABAJO	0.80 m	
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	338 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MINIMO	174 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MAXIMO	441 lx	0.51

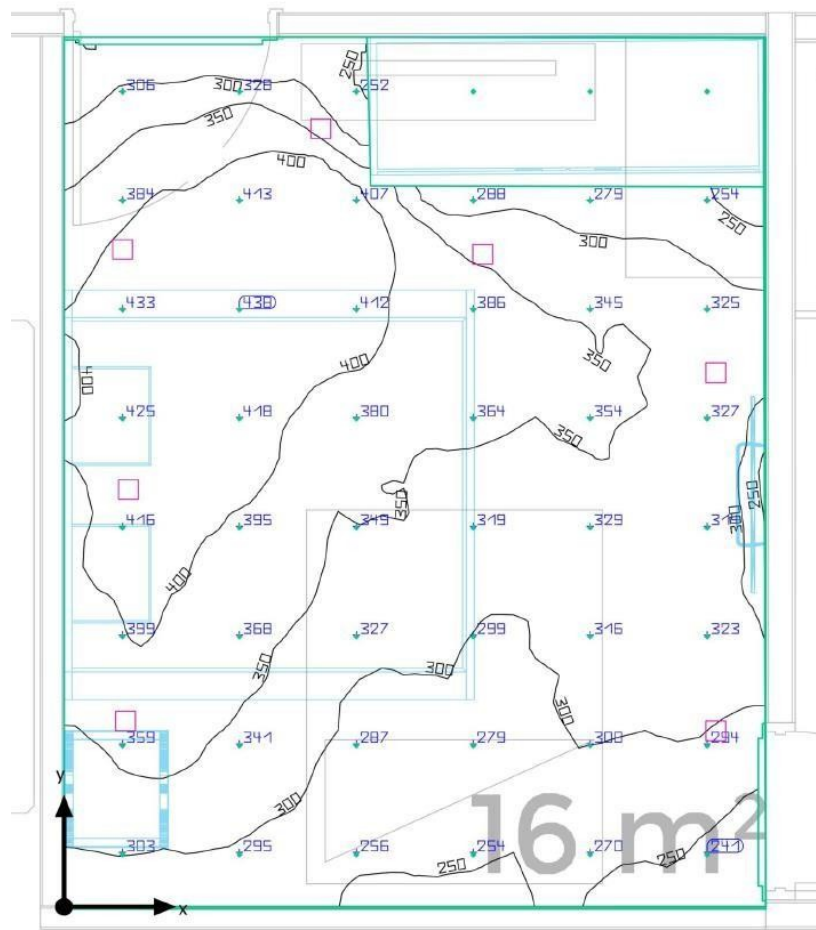


Figura 6.18.- Uniformidad de los niveles de iluminación del Dormitorio.

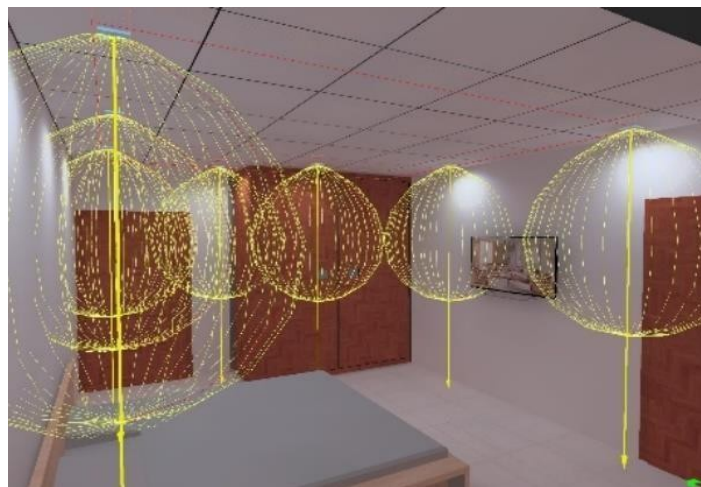


Figura 6.19.- Vista virtual y fotométrica de las luminarias del Dormitorio.

6.5 Baño

6.5.1 Selección de luminarias

DownLigth:

- Luminaria Tipo Down light
- Marca: Cooper Lighting
- Modelo: HBL4069FS1EMW
- Circular de 4 Pulgadas.
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo Luminoso 746 lúmenes.
- 12 w
- 30,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V.

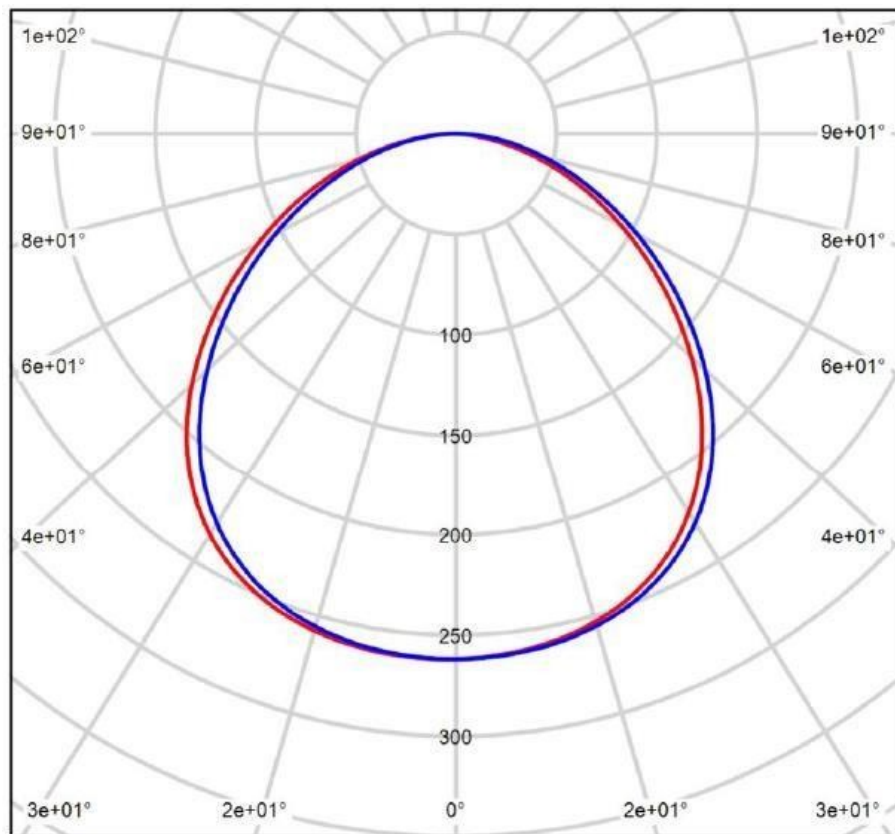


Figura 6.20.- Fotometría Luminaria Down light.

6.5.2 Sembrado de luminarias

La distribución de luminarias automáticamente nos arroja un resultado de que se requieren 3 luminarias tipo Down light para poder alcanzar el nivel de iluminación adecuado, las luminarias irán empotradas al plafón de tipo retícula a una altura de 3.297m.

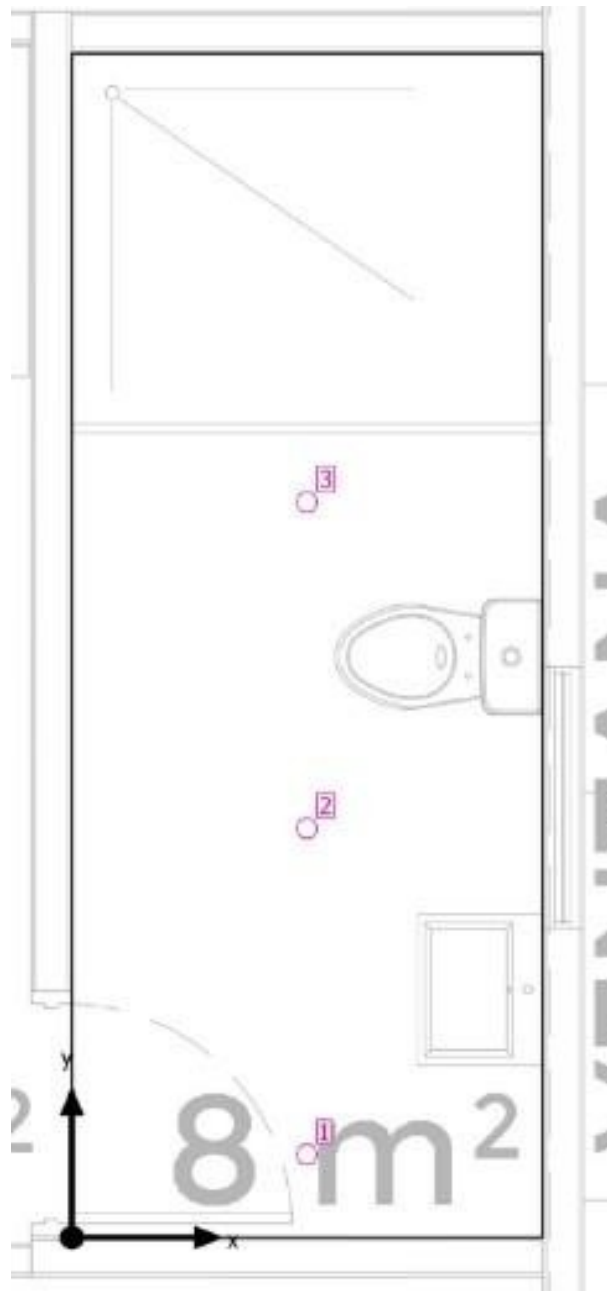


Figura 6.21.- Distribución de luminarias del Baño.

6.5.3 Resultados

Perfil de uso puesto en DIALUX:

Área: **Áreas de Descanso, Sanitarias y de primeros auxilios.**

Aplicación: **Guardarropas, Lavabos, Sanitarios y Retretes.**

Calculado por DIALUX EVO	UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.	NOM-025-STPS: 2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	NIVEL DE ILUMINACION	NIVEL DE ILUMINACION
256 lx	≥200 lx.	≥100 lx.

Deslumbramiento (UGR) 10 > 19
15.7

Calculado por DIALUX EVO	ASHRAE 90.1: 2010 densidades de potencia	NOM-007-ENER: 2014, Eficiencia Energética para sistemas de alumbrado de edificios no residenciales
Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)
4.77 w/m².	≤10.55w/m ² .	—

OTROS DATOS		UNIFORMIDAD (Nivel de Iluminación Mínimo/Nivel de iluminación promedio) ≥ 0.6
PLANO UTIL DE TRABAJO	0.80 m	
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	256 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MINIMO	118 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MAXIMO	301 lx	0.46

El resultado de la uniformidad fue lo más próximo al 0.6 debido a que el software no desprecia la zona marginal.

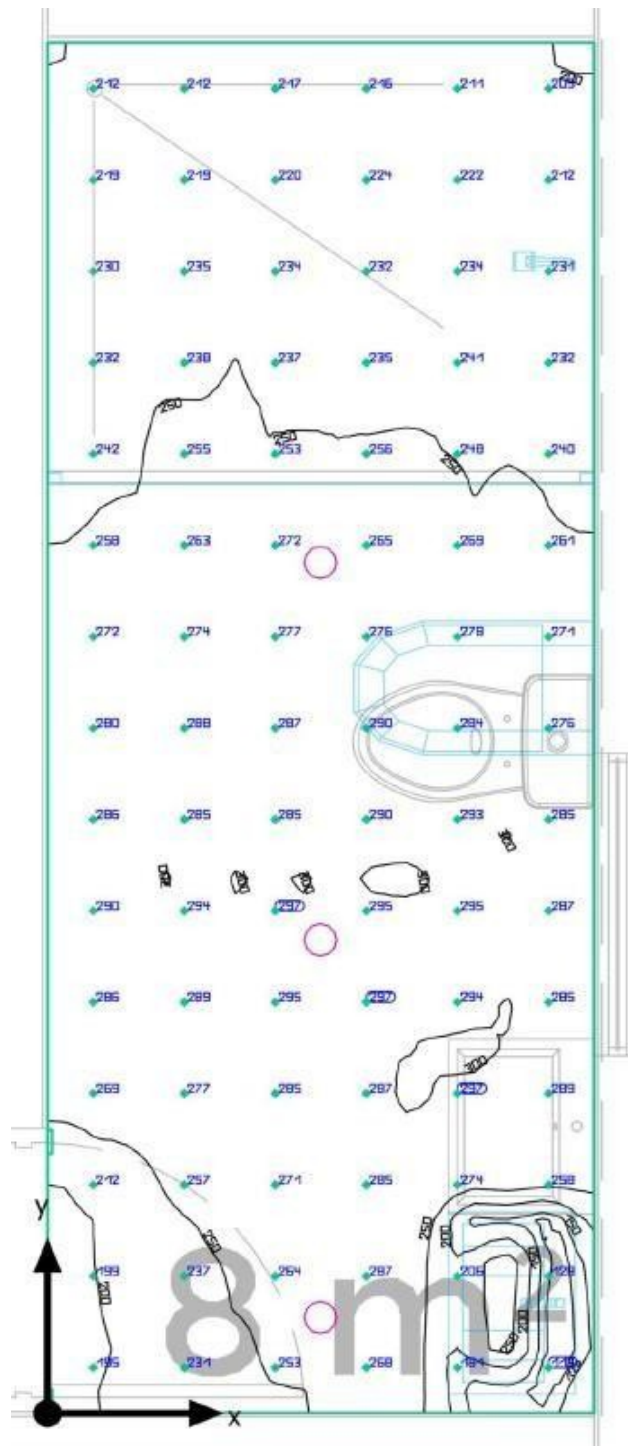


Figura 6.22.- Isolíneas de los niveles de iluminación del Baño.

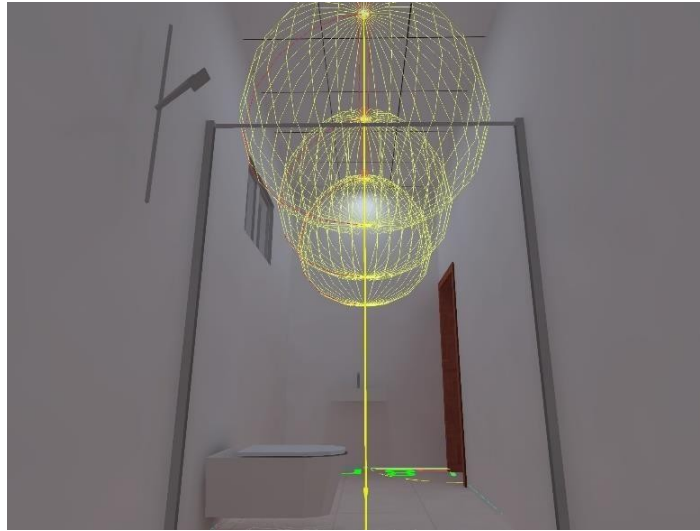


Figura 6.23.- Vista virtual y fotométrica de las luminarias del Baño.

6.6 Oficinas generales

6.6.1 Selección de luminarias

Tira led 1:

- Marca: Lamp S.A
- Modelo: FINE LEDS STRIP
- Su montaje debe ser con regleta para sobreponer.
- El Flujo Luminoso de 1325 Lúmenes.
- 21.4w por cada metro lineal
- 30,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/220 V

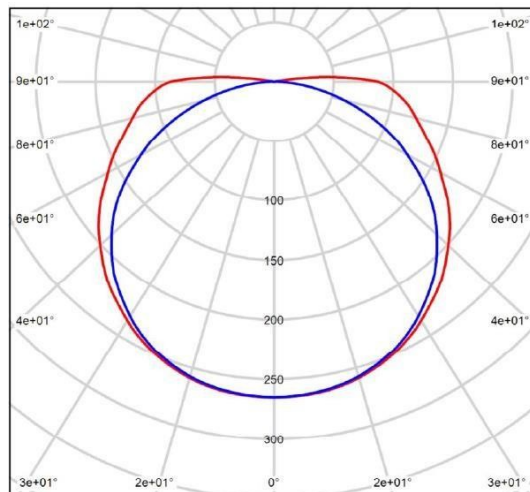


Figura 6.24.- Fotometría Tira Led FINE LEDS STRIP.

Tira led 2:

- Marca: QBO LIGHT
- Modelo: QBO FLEXY R LEDSTRIP
- Su montaje debe ser con regleta para sobreponer.
- El Flujo Luminoso de 2170 Lúmenes.
- 25w por cada metro lineal.
- 30,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/220V.

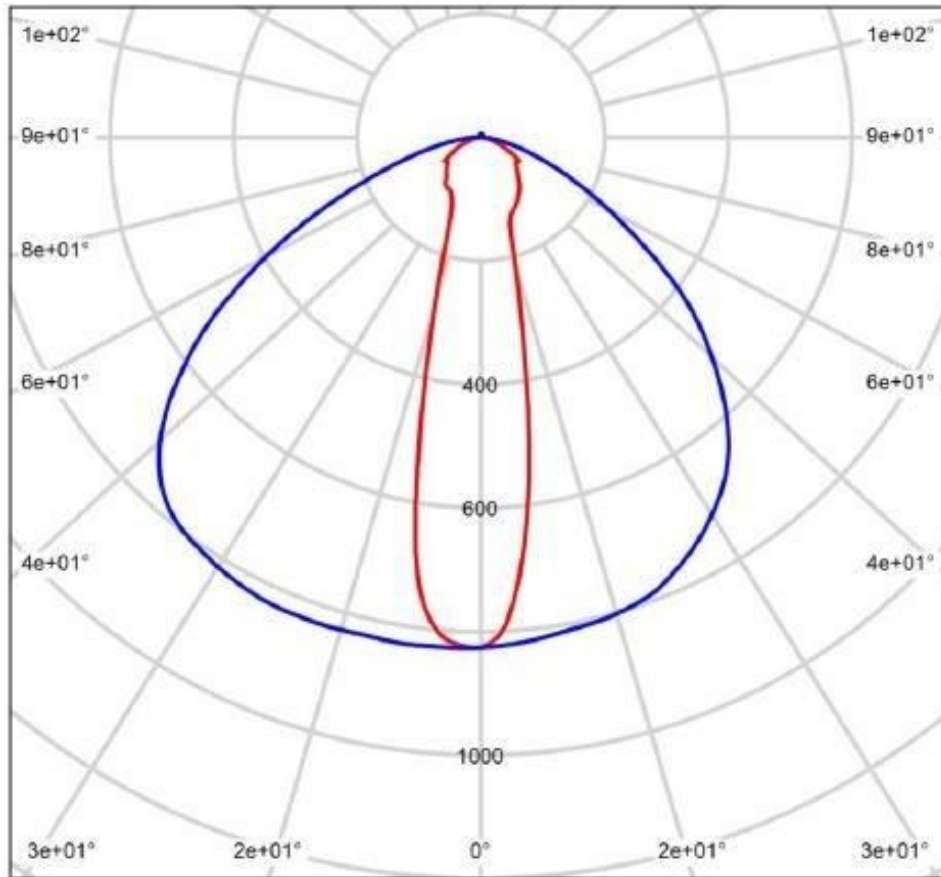


Figura 6.25.- Fotometría Tira Led QBO FLEXY R LEDSTRIP

Luminaria Modular:

- Marca Cooper Ligthing
- Modelo: Metalux 22FP4240HE
- Medidas: 60 cm x 60 cm
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo Luminoso 4566 lúmenes.
- 39.3 w.
- 50,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V.
- El balastro cuenta con tecnología DALI para su control inteligente.

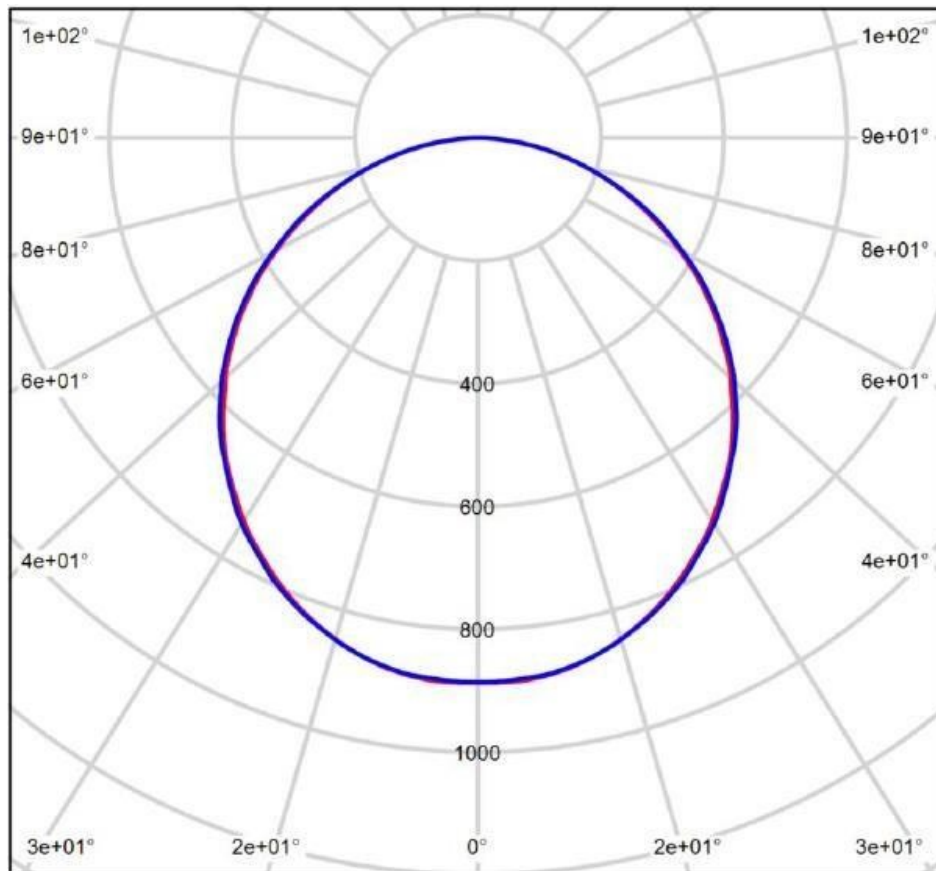


Figura 6.26.- Fotometría luminaria Modular.

DownLigh:

- Luminaria Tipo Down light de 4 Pulgadas de diámetro
- Marca: Cooper Lighting
- Modelo: LCR4089FSE010MW
- Su montaje debe ser para empotrar.
- Flujo luminoso 890 lúmenes.
- 9.2 w.
- 50,000 hrs. de vida
- CRI del 80%
- 4,000°K
- 120/277V
- El balastro cuenta con tecnología para atenuación de 0-10V para su control inteligente

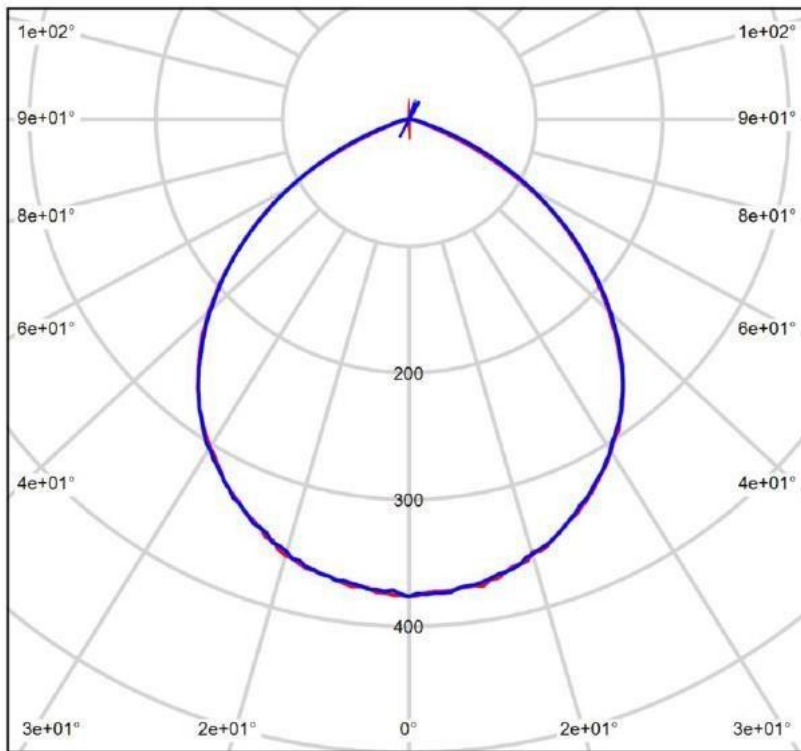


Figura 6.27.- Fotometría luminaria Down light.

6.6.2 Sembrado de luminarias

El sembrado de esta zona es un poco más complejo que las otras zonas ya estudiadas, debido a que además que la zona es grande tenemos un diseño de plafón más detallado que las demás, este plafón está diseñado con tres cajillos (dos centrales y un lateral) la oficina cuenta con un logotipo grande del nombre del aeropuerto, como también tenemos un ventanal lateral, para poder llegar a los niveles indicados utilizamos 2 tipos de luminarias y 2 tipos de tira led cada una con diferentes características, el software nos arrojó que necesitamos 12 luminarias reticulares de 60x60, 17 luminarias tipo Down light, 100 metros de tira led que se colocaran dentro de los 2 cajillos centrales y 20 metros de otra tira diferente ya que se utilizara dentro del cajillo lateral para bañar el muro y sobresaltar el logotipo del aeropuerto.

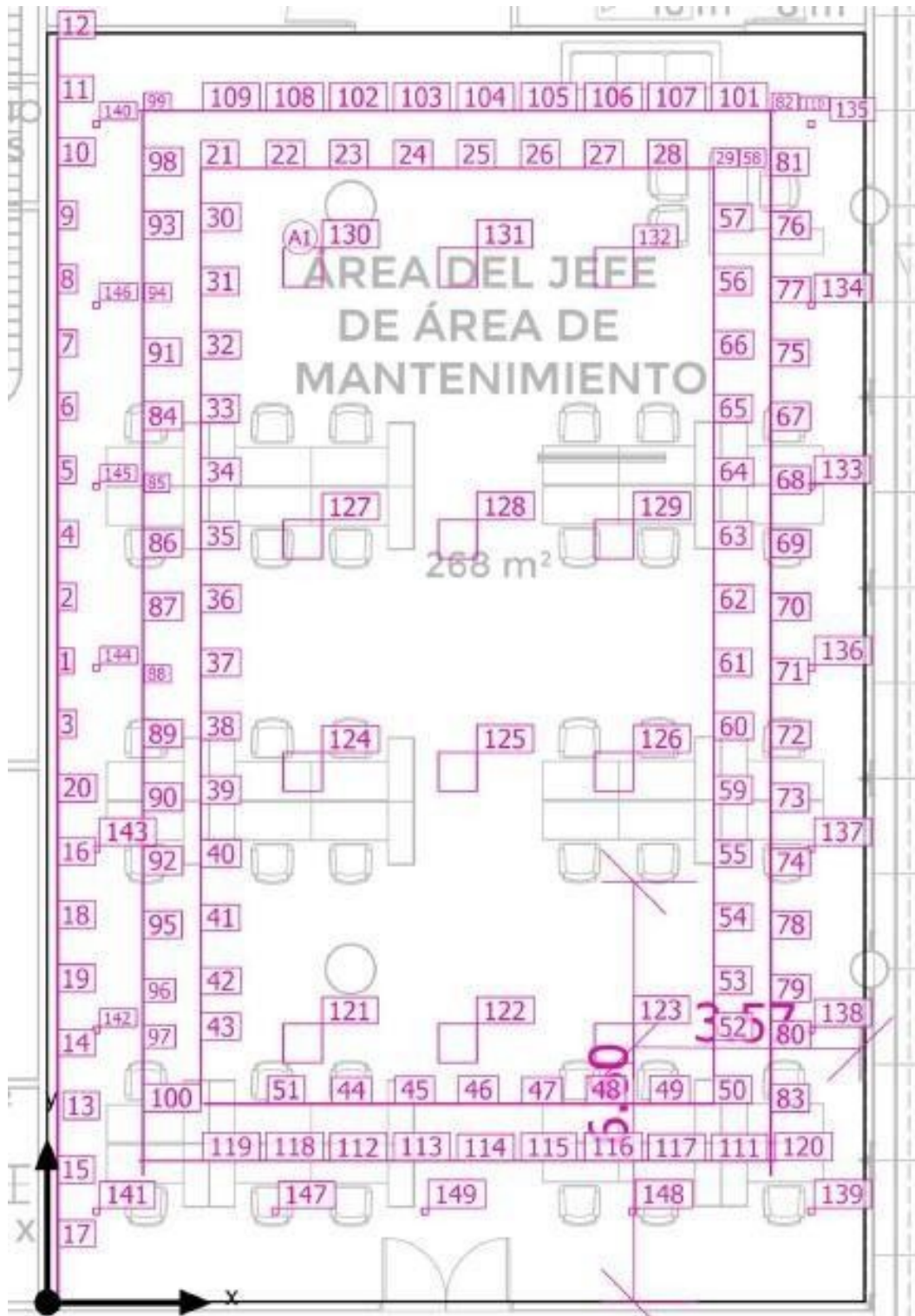


Figura 6.28.- Distribución de luminarias de las Oficinas Generales.

6.6.3 Resultados

Perfil de uso puesto en DIALUX:

Área: **Oficinas.**

Aplicación: **Escribir, máquina de escribir, lectura y tratamiento de textos.**

Calculado por DIALUX EVO	UNE –EN 12464-1: 2012. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.	NOM-025-STPS: 2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	NIVEL DE ILUMINACION	NIVEL DE ILUMINACION
512 lx	≥500 lx.	≥500 lx.

Deslumbramiento (UGR) 10 > 19
16.5

Calculado por DIALUX EVO	ASHRAE 90.1: 2010 densidades de potencia	NOM-007-ENER: 2014, Eficiencia Energética para sistemas de alumbrado de edificios no residenciales
Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)	Densidad de Potencia (DPA)
12.76 w/m².	≤11.95 w/m ² .	≤12 w/m ² .

OTROS DATOS		UNIFORMIDAD (Nivel de Iluminación Mínimo/Nivel de iluminación promedio) ≥ 0.6
PLANO UTIL DE TRABAJO	0.80 m	
NIVEL DE ILUMINACION PROMEDIO	538 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MINIMO	221 lx	
NIVEL DE ILUMINACION MAXIMO	735 lx	0.43

Se instalará un sistema de control inteligente el cual atenuará las luminarias entre un 80% - 90% ayudando así a reducir los valores de DPA. Así también el nivel de uniformidad fue lo más próximo al 0.6, como ya habíamos visto antes es porque se toma en cuenta la zona marginal además de que una pared es totalmente de cristal el cual nos limita un poco ya que hay pérdida de nivel de iluminación en el interior, el poco nivel de luz que se perderá se recuperará debido a que entrará un poco de luz natural, esa aportación el software tampoco la tomo en cuenta.

6.6.4 Imágenes renderizadas



6.29.- Logotipo del Aeropuerto General Felipe Ángeles.



6.30.- Vista de las Oficinas Generales.



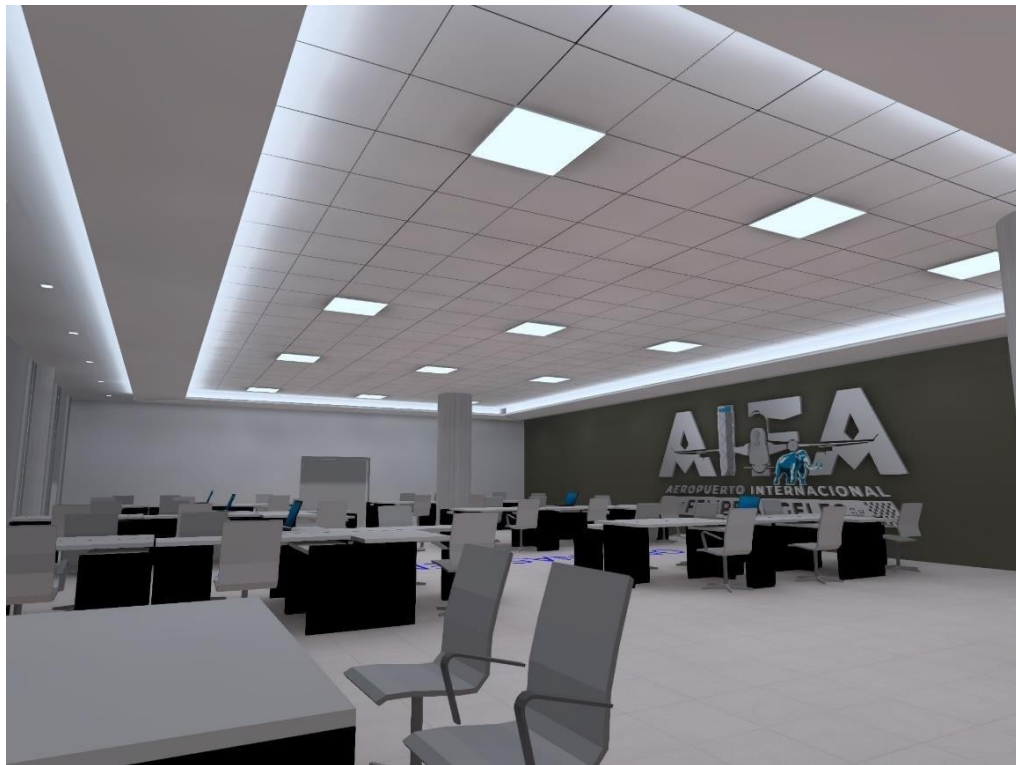
6.31.- Vista de las Oficinas Generales.



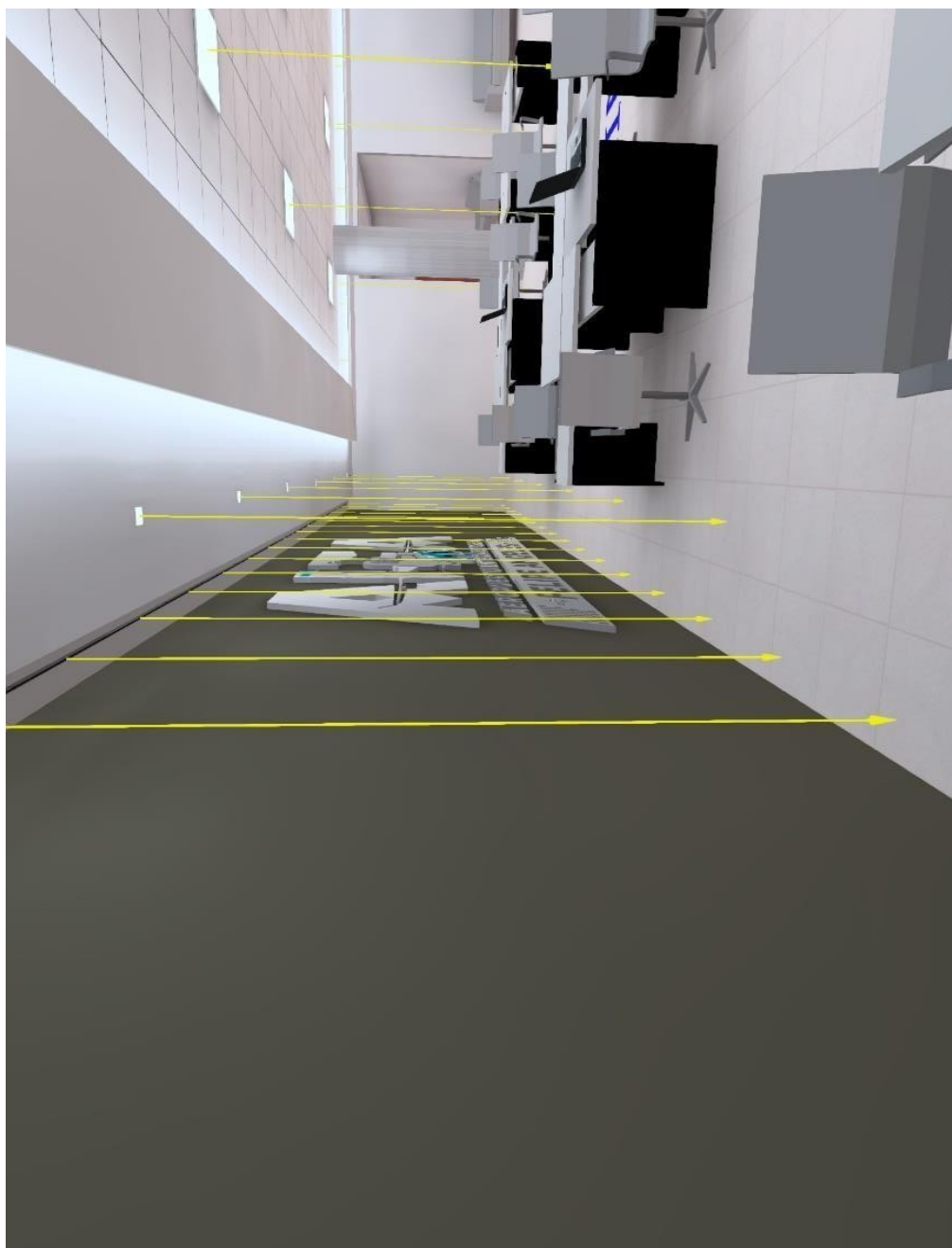
6.32.- Vista de las Oficinas Generales



6.33.- Vista de las Oficinas Generales.



6.34.- Vista de las Oficinas Generales



6.35.- Vista del haz de luz bañando el logotipo del Aeropuerto.

CONCLUSIONES

Colaborar en la realización de este proyecto ha contribuido de manera muy importante para identificar y resaltar los puntos que hay que cubrir y considerar para llevar a cabo una implementación exitosa de un diseño de iluminación. Nos deja muchas cosas importantes que reflexionar y muchas otras las ha reforzado como puntos angulares para llevar a cabo una buena implementación de un diseño.

Dentro de los puntos que consideramos más importantes dentro de un proyecto son:

- Las necesidades reales de los espacios a diseñar.
- Los procesos de diseño se apeguen a la realidad del trabajo diario siempre dentro de una normatividad.
- Se involucre a los usuarios en el proceso de diseño de manera que se sepa que es lo que ellos esperan y qué es lo que no esperan de él.
- Definir de manera clara y lo más tangible posible los beneficios energéticos que se piensan alcanzar con los sistemas nuevos, de manera que las personas encargadas de proyectos sepan cómo se van a ver beneficiados particularmente.

Un punto que considero clave para llevar a cabo un proyecto como este consiste en dar una buena perspectiva al usuario de cómo es que podría quedar construido el proyecto esto se logra gracias a la ayuda de los softwares que permiten realizar el diseño en 3D y generar renders de la propuesta luminosa.

Estos renders son una vista previa a la construcción del proyecto que dotan la propuesta luminosa de realidad y permitan aterrizar los cálculos y transformarlos en imágenes fuertemente realistas del resultado del sistema de iluminación propuesto.

El software para iluminación DIALux EVO 9.0 es una herramienta muy poderosa y gratuita al servicio de los diseñadores de iluminación con el que pueden concebirse proyectos profesionales simples y complejos, de interiores y exteriores. Además, uno de los valores añadidos de DIALux

EVO 9.0 es que ofrece una visualización a detalle, resaltando el efecto que tiene la luz sobre el mobiliario, colores, texturas y dimensiones del ambiente incluso permite observar el reflejo de luz sobre los cuerpos de cristal.

Este trabajo engloba una amplia gama de conocimientos de diferentes materias de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica y consolida la aplicación de esos conocimientos en un proyecto de carácter ejecutivo con aplicación existente en el magno proyecto del AIFA que genera un beneficio económico, impulsa el uso de tecnologías eficientes y cuida del bienestar de los usuarios al cumplir con las normas mexicanas en iluminación correspondientes.

El diseño costo un poco de trabajo ya que como lo vimos a lo largo de este trabajo se tienen que cumplir ciertos parámetros para que el edificio sea certificado como edificio energéticamente eficiente, el diseño que se presentó en este trabajo fue un ejemplo de cómo se diseñó todo el sistema de iluminación de todo el edificio del AIFA, cumpliendo cada punto con las especificaciones de las normativas nacionales e internacionales.

Como pudimos apreciar la implementación del método lumen tanto en los cálculos teóricos como en el Software DIALux EVO 9.0 es importante conocer el método ya que es la base para poder entender la iluminación en interiores y también conocer las normativas que rigen los sistemas de iluminación para poder realizar cualquier proyecto.

Como alumno de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica y pasante del módulo de iluminación considero que los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera profesional de las áreas de matemáticas, física e ingeniería, aunado con la experiencia laboral me han permitido llegar a sumar para que este magno proyecto fuera realizado en tiempo y forma.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Chapa Carreón, J. (1990) *Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría*. Limusa.
- Enríquez Harper, G.(1987). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas de baja tensión*.
Limusa.
- Fernández Salazar, L.C; De Landa Amezua, (1992). *Técnicas y aplicaciones de la iluminación*.
S.A. MCGRAW-HILL
- Ramírez Vázquez, J. (1990). *Luminotecnia. Enciclopedia CEAC de electricidad*. 7ª ed.
Ediciones.
- Rodríguez Lorite, M. (2016) *Guía de Iluminación Eficiente de monumentos*. Comunidad de
Madrid.

Manuales

- Fraile Mora, J. (1996). *Introducción a las instalaciones eléctricas*. Colección escuelas.
- Jiménez, C. (1997). *Manuales de luminotecnia. Locales*. Ediciones CEAC.
- Jiménez, C. (1997). *Manuales de luminotecnia. Oficinas*. Ediciones CEAC.
- Spitta, A. F. (1981). *Instalaciones eléctricas*. Tomo I. Dossat.
- Vila Arroyo, F.(2013). *El Libro Blanco de la Iluminación n°4 aplicaciones de la iluminación*,
Comunidad de Madrid.

Normativas

ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, 9. Lighting. Consultar en:

https://www.academia.edu/40917781/ASHRAE_STANDARD_90_1_2010_I_P

NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. Consultar en:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20tiene,ya%20existentes%3B%20con%20el%20fin

NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Consultar en: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3581/stps/stps.htm>

THE IESNA LIGHTING HANDBOOK. Consultar en: <https://www.pdfdrive.com/iesna-lighting-handbook-e161904758.html>

UNE-EN 12464-1 Iluminación de los lugares de trabajo en interiores. Consultar en: https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf