

Tema A5 Educación en Ingeniería Mecánica

“Evaluación del sistema de iluminación instalado en aulas de estudio”

**González Hernández Carlos Francisco^a, Zatarain Bernal Pedro^a, Sarabia Aparicio Juan Luis^a,
Osuna Leal Jesús Daniel^a, Angulo Moreno Samuel^a**

^aInstituto Tecnológico de Mazatlán, Corsario1 #203, Colonia Urías, Mazatlán, Sinaloa, C.P. 82070, México

*González Hernández Carlos Francisco, cgonzalez@itmazatlan.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la configuración de iluminación en un aula con la finalidad de obtener una zona visual de confort, para lo cual se evaluó una configuración de iluminación en dos clases diferentes de aula etiquetadas como F (3.35mx 7.95m) y D (7.9mx 7.95m) de acuerdo con la norma NOM-025- STPS-2008 para valores mínimos recomendados en luxes (lx). Las mediciones se realizaron con un Luxmeter con un rango de 0-50.000 lx, con una precisión de $\pm 5\%$, además, se compararon los resultados con el software Rialux, que utiliza el método de la cavidad zonal. Los resultados entre ambos muestran que el uso de una instalación de iluminación completa instalada en el aula es insuficiente para alcanzar el valor mínimo según la norma de 300 lx, lo que permite generar una oportunidad para obtener un nuevo diseño de iluminación

Palabras Clave: Eficiencia, iluminación, Sistemas, Análisis

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate the lighting setup in a classroom. The main goal was to obtain a visual comfort zone, for this, a lighting setup was evaluated in two different kind of classroom labelled as F (3.35m x 7.95 m) and D (7.9m x 7.95 m) according with the norm NOM-025-STPS-2008 for minimum values recommended in luxes (lx). The measurements was taken using a Luxmeter with a range of 0-50, 000 lx, with a precision of $\pm 5\%$, moreover, the results were compared using Rialux software, that uses the zonal cavity method. The results between both, show that using all lighting setup in classroom is insufficient to reach the minimum value according to the norm, 300 lx, this permit to generate an opportunity to get a redesign of a new lighting setup in classrooms.

Keywords: Efficiency, lighting, System, Analysis

1. Introducción

La determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación no es un trabajo sencillo. Es necesario considerar que los valores recomendados en cada tarea y entorno son resultado de estudios sobre valoraciones de comodidad visual, agradabilidad, rendimiento visual, entre otros. Por consiguiente, una misma instalación puede producir diferentes impresiones a distintas personas. En estas sensaciones influirán muchos factores como los estéticos, los psicológicos y el nivel de iluminación [1]. En el mismo contexto, los seres humanos poseen una capacidad extraordinaria para adaptarse a su ambiente y a su entorno inmediato siendo la luz el tipo de energía más

importante. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean. La mayor parte de la información que se obtiene a través de los sentidos se hace a través de la vista.

Falagán, M. et al. (2000) proponen que una actividad laboral se puede desarrollar correctamente, siempre y cuando se complementen la visión y la iluminación, obteniendo al final una ejecución del trabajo eficaz. Esto se logra buscando el confort visual a través de un color en el ambiente adecuado, un contraste apropiado y evitando la presencia de deslumbramientos. Al presentarse deficiencias en la iluminación en el lugar de trabajo o estudio los usuarios deben hacer mayor esfuerzo para ver, y a largo tiempo esta situación puede ocasionar algunos trastornos visuales como miopía, lagrimeo, disminución de la

agudeza visual, dolores de cabeza, etc., afectando el desempeño de los usuarios [1]. En el mismo sentido, Del Amor (2012) al realizar un estudio ambiental de iluminación en un hospital identifica como factores derivados de una incorrecta iluminación ambiental en los puestos de trabajo como la fatiga visual, el deslumbramiento y la carga mental; son factores que inciden negativamente sobre la salud del trabajador y el nivel de productividad de la actividad.

Por lo anterior, es necesario entender que el hablar de la iluminación en cualquier ámbito implica tratar un problema y no solo de ergonomía, sino de salud y seguridad. En el Instituto Tecnológico de Mazatlán (ITMAZ), se realizó un estudio en espacios donde se realizan actividades educativas con la finalidad de conocer los niveles de iluminación instalado en dichos espacios considerando como valor de referencia 300 lux como lo marca la norma NOM-025-STPS-2008. Dicho estudio tiene como propósito la obtención de datos suficientes para generar un plan en la mejora de las instalaciones y por ende en el confort de las actividades dentro de los espacios analizados.

2. Desarrollo

2.1. Tecnología de iluminación

2.1.1. Lámpara incandescente

También llamadas lámparas de tungsteno, son la fuente de luz artificial más próxima a la luz del día. La lámpara incandescente se compone de un filamento de alambre encerrado en un bombillo o bulbo relleno de determinado gas y simplemente al vacío. Al aplicarse voltaje a la lámpara la corriente que circula por el filamento eleva la temperatura de este hasta el punto de incandescencia, emitiendo energía radiante (efecto joule) en forma de luz y calor. Estas lámparas son de uso cotidiano pero tiene muchas desventajas, en comparación de las ventajas que brindan. Con el tiempo su uso se ha visto disminuido tanto en industrias como en instalaciones residenciales y comerciales; entre sus características generales es que tiene una vida útil relativamente corta, entre el 90 y 95% de la energía se disipa en forma de calor y un mínimo porcentaje se convierte en luz, en general todos los tipos de incandescentes poseen una duración promedio de 1000 horas. Una de sus mayores ventajas sobre las demás tecnologías es su alta temperatura de color. Se distinguen porque emiten una luz agradable y cálida, esto se refleja en una temperatura de color promedio de 2700 K. Además estas lámparas poseen un índice de color muy elevado, todas las clases de estas lámparas poseen un IRC de 100 por lo que son muy usadas en la iluminación de realce [3,4].

Una de su principal desventaja es el incremento de la temperatura en el ambiente, esto debido a la incandescencia que requiere el filamento y esta calienta el ambiente. También provoca una baja eficiencia lumínica, que oscila de 8 a 20 lm/W, esta eficiencia reducida hace necesario instalar una mayor cantidad de luminarias, por consiguiente el aporte de calor en los locales y casas.

Existe también un decremento de la intensidad lumínica con respecto a la vida de uso de la lámpara ya que en las paredes internas del casquillo se almacenan pedazos del filamento, que se producen cuando el filamento se evapora por las altas temperaturas [3,4].

2.1.2. Lámparas halógenas

Esta tecnología básicamente es una adaptación de lámparas incandescentes, en donde la idea primaria para su desarrollo fue mejorar su eficiencia y aumentar la vida útil, sin embargo, en lugar de utilizar un filamento se utiliza un gas inerte por un elemento halógeno como el yodo, también cambiaron las paredes de vidrio, ya que este no podía soportar el incremento de la temperatura, y lo sustituyeron por cristal de cuarzo. Esto permitió reducir el tamaño de las bombillas, pero incrementa la temperatura del cristal de cuarzo, además se ha demostrado que esta tecnología emana luz ultravioleta, lo cual la hace ineficaz para lámparas de mesa ya que provoca una degeneración del ojo humano. Entre las características más rescatable para su recomendación son: su temperatura de color es similar a la de una lámpara incandescente normal, alrededor de 2700 a 3000 K, lo que le da buen realce a las cosas, y un color blanco a su luz, a diferencia de las incandescentes normales estas mantienen un flujo luminoso constante durante toda la vida de la lámpara, su larga duración la hace más rentable que las incandescentes, en general estas lámparas pueden durar un promedio de 3000 horas. Su eficacia es buena, mantiene un nivel adecuado de lumen con una potencia menor, su eficiencia en promedio se mantiene en 20 lm/W. Esta tecnología reemplaza a las viejas lámparas incandescente, se usan en comercios, museos y todo aquel lugar que necesite de iluminación cálida, blanca y de mucha brillantes, pero no se debe usar en lugares de trabajo, como escuelas o talleres, por su radiación ultravioleta [3,4].

2.1.3. Lámparas de vapor de sodio

Esta tecnología de lámparas se encuentra entre las llamadas de descarga, existen tanto en baja presión como en alta. Se componen principalmente de una ampolla hecha de cristal y dentro tiene un tubo de descarga a alta presión. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve [3,4].

Esta lámpara no necesita electrodos de arranque y posee periodos de tiempo muy cortos de calentamiento y recalentamiento. Su temperatura de color es muy alta, superando los 3000 K, esto indica que brindan una luz normal y fría. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas.

La característica más notable de este tipo de luminarias es su vida útil, este tipo de lámparas proporciona como

mínimo una vida útil de 12000 horas hasta 20000. Sin embargo su índice de rendimiento de color no es de todo agradable teniendo en promedio un IRC de 80, lo que significa que no reproduce los colores exactos de las cosas que ilumina y estos pueden verse opacos. Por último se puede mencionar que la eficacia es de las mejores entre todos los tipos de luminaria ya que está en un promedio de 108 lm/W, lo que contrarresta su bajo índice de rendimiento de color y es gracias a la eficacia que es muy usada. Su uso se destina principalmente al alumbrado de grandes avenidas, autopistas, calles, parques y donde la reproducción de los colores no sea un factor importante. También son usadas de forma casera en el cultivo de plantas para interiores [3,4].

2.1.4. Lámpara de inducción

Utilizan una bobina de inducción sin filamentos y una antena acopladora, la cual consiste en aplicar una descarga de frecuencia para proveer soluciones de iluminación. El centro de la lámpara es la bobina de inducción a la cual le provee potencia un generador de alta frecuencia. El ensamble de vidrio circundante contiene un material electrón-Ion plasma y esta relleno con un gas inerte. La porción interior del vidrio está recubierta con un recubrimiento de fósforo. La antena transmite la energía generada por el primario de la bobina de un sistema de inducción al gas que se encuentra dentro de la lámpara, por lo cual se crea una radiación ultravioleta, la cual es transformada a fuentes visibles de luz por medio del recubrimiento de fósforo en la superficie de vidrio [3,4].

Esta tecnología su principal ventaja es su vida útil con 100,000 horas, su tiempo de encendido se ve reducido en comparación de otras tecnologías, el tiempo de reencendido es instantáneo (no necesita calentarse para prender después de 15- 20 minutos como el haluro metálico) además de que no necesita mantenimiento ni cambios de foco o balastro. No tienen pérdidas de energía, (el haluro metálico además de consumir una cierta cantidad de Watts para la iluminación tiene una pérdida extra de energía del 16% por causa del balastro).

El índice de rendimiento de color es mejor con esta tecnología (>85) en comparación con el rendimiento del haluro metálico lo que hace que los colores se vean más vivos lo que la hace mejor en cuestiones de seguridad industrial. Y al no utilizar gases a presión ni tóxicos la hace más segura, posee protección contra variaciones de voltaje que evita cualquier daño a luminarias, mejor intensidad de la luz o mejor nivel de luxes que el haluro metálico [3,4].

2.1.5. Lámparas fluorescentes

La luz se produce debido al fenómeno de fluorescencia por medio de una descarga eléctrica dentro de un tubo cuya longitud es mucho mayor que su diámetro, en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión. La radiación de mercurio en estas condiciones no es visible, por lo que se utilizan polvos fluorescentes, los cuales

tienen la propiedad de cambiar la longitud de onda ultravioleta del arco a longitudes dentro del espectro visible. La apariencia de la luz producida es una consecuencia de las características especiales de los polvos fluorescentes. Una lámpara luz de día hace resaltar los colores azules, disminuyendo los rojos; una lámpara blanco cálido por el contrario reproduce en mejor forma los colores rojos mientras que los azules los desplaza hacia el gris; la lámpara blanco frío es de una aplicación intermedia, reproduciendo mucho mejor los colores naranja, verde y amarillo opacando un poco los rojos y azules. La lámpara fluorescente posee la ventaja de no producir la luz desde un mismo punto focal, sino de hacerlo en forma suave y difusa por toda su extensión sin producir resplandores ni sombras acentuadas. Por ello su luz aparece fresca y más eficiente reduciendo el esfuerzo visual. La limitación de uso de lámparas fluorescentes se encuentra sobre todo en su altura de montaje, ya que para alturas superiores a los 3 metros su aprovechamiento es reducido drásticamente. Las lámparas fluorescentes requieren de un reactor o balastro para operar, generalmente los balastos se diseñan para operar a la vez un par de lámparas, recientemente se han diseñado balastos para operar tres o cuatro lámparas. De acuerdo a su tecnología de arranque las lámparas fluorescentes se dividen en tres grupos [3,4]:

- **Arranque Instantáneo** Estas también reciben el nombre "SLIM LINE", a la vista se identifican por su casquillo de un solo contacto o pin en cada extremo. Estas lámparas no requieren calentamiento previo ni arrancador, pero requieren de un elevado voltaje de arranque. El balastro enciende las lámparas en serie una después de la otra, una vez encendidas las dos lámparas una parte del balastro deja de operar, en caso de que alguna de las lámparas se funda la otra puede seguir operando, no obstante el balastro sigue funcionando y puede recibir daños de gravedad
- **Arranque rápido.** Las lámparas encienden en forma suave y con un ligero retardo de hasta dos segundos. El balastro suministra una tensión de arranque menor que en caso Slim Line, no obstante el balastro hace que los cátodos de las lámparas estén permanentemente calientes. La identificación simple de estas lámparas se realiza identificando sus dos contactos o pines en cada uno de los casquillos de sus extremos.
- **Arranque por precalentamiento.** Estas lámparas requieren además del balastro de un arrancador, las lámparas para poder operar deben pasar primero por una corriente mayor que la de su operación normal, con la que se calientan sus cátodos. Estas lámparas se encuentran ya casi fuera del mercado. También presentan dos contactos o pines en cada extremo

2.1.6. Lámparas con Diodos Emisores de Luz (LED)

Los 4 componentes básicos de su estructura son:

1. Material emisor semiconductor, montado en un chip-reflector, este material determina el color de la luz.
2. Los postes conductores (cátodo y ánodo).
3. El cable conductor que une los dos polos.
4. Un lente que protege al material emisor del LED y determina el haz de la luz.

El significado de LED es Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode), es un objeto que permite el flujo de corriente en una sola dirección. Dos materiales conductivos cualesquiera forman un diodo cuando son puestos en contacto. Cuando la electricidad pasa a través de un diodo, los átomos de uno de los materiales (contenido en un chip-reflector) son excitados a un mayor nivel. Los átomos en el primer material retienen mucha energía y requieren liberarla. Esta energía se libera como electrones al segundo material dentro del chip-reflector, durante esta liberación se produce la luz. El color de la luz es relativo a los materiales emisores semiconductores y procesos de elaboración del chip-reflector. Una de las principales ventajas de las LED es su bajo consumo de electricidad, generalmente, un LED está diseñado para funcionar con corriente 2-3.6 V, 0.02-0.03 A, esto significa que no necesita más de 0.1 W para funcionar, los led no emiten calor de forma convencional, es decir, el calor no es irradiado junto con el haz de luz, no emiten luz ultravioleta, no contienen plomo ni mercurio. Su temperatura de color varía entre los 2100 K y 6500 K, tienen una vida útil de entre 40,000 y 50,000 horas. Si se compara su eficacia lumínica con las lámparas incandescentes, los led proporcionan un ahorro entre el 60 y 85%, su eficacia varía entre 80 y 95 lm/W. Reproducción cromática: Ra >90, por lo que puede ser usada para reemplazar directamente las lámparas incandescentes y fluorescentes [3,4].

2.2. Fundamento teórico

Para conseguir una buena iluminación del área de trabajo es necesario tener en cuenta una serie de criterios básicos referentes a la disposición de la luz, las condiciones del alumbrado, la superficie a iluminar, etcétera. Laszlo define algunos conceptos fundamentales y magnitudes necesarias para la comprensión de la iluminación como [5]:

2.2.1. Flujo luminoso (ϕ)

Es la cantidad de luz emitida por una fuente de luz en todas las direcciones, su unidad de medida es el lumen (lm).

2.2.2. Iluminación o iluminancia (E)

Es el flujo luminoso por unidad de superficie y su unidad de medida es el Lux (lx), esto es;

$$Lux = \frac{Lumen}{m^2} \quad (1)$$

La norma NOM-025-STPS-2008 [6] establece la iluminancia mínima en lx requerida para diversos espacios de trabajo y en la Tabla 1, se muestra solamente la parte de iluminación para los espacios de interés.

Tabla 1. Características de iluminación para espacios de estudio (NOM-025-STPS-2008)

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (lx)
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

2.2.3. Índice del área (IC)

Para establecer el número mínimo de zonas a evaluar se debe establecer primero el (IC) el cual tiene relación con el tamaño del espacio a analizar y su ecuación se define como:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x+y)} \quad (2)$$

Donde x, y, son el largo y ancho del espacio a estudiar y h es la altura de las luminarias respecto al área de trabajo. El valor de x es el índice de área (IA) del lugar, redondeado al entero superior, excepto que para valores iguales o mayores a 3 el valor de x es 4. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición, esto es $(x + 2)^2$.

2.2.4. Determinación de la iluminación promedio (E_p)

Cuando se realizan mediciones con el propósito de verificar los valores correspondientes a una instalación nueva, se deben tomar las precauciones necesarias para que las evaluaciones se lleven a cabo en condiciones apropiadas (tensión nominal de alimentación, temperatura ambiente, elección de lámparas, etc.) o para que las lecturas del medidor de iluminancia se corrijan teniendo en cuenta estas condiciones [6]. La siguiente expresión se utiliza para la determinación de E_p :

$$E_p = \frac{1}{N} (\sum E_i) \quad (3)$$

Donde E_i es el nivel de iluminación medido en lx en cada punto y N es el número de medidas realizadas

2.2.5. Método de cavidad Zonal

El fundamento del método de cavidad zonal es que el área a analizar, se compone de tres espacios o cavidades. El espacio entre el techo y las luminarias, si están suspendidos, se define como la “cavidad del techo”; el espacio entre el plano de trabajo y el piso, “cavidad del piso”; y el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo, “cavidad del cuarto” [3].

Una vez definidos los espacios, es posible calcular las relaciones numéricas llamadas “rangos de cavidad”, que pueden ser usados para determinar la reflectancia efectiva del techo y el piso y después encontrar el coeficiente de utilización. En general se consideran cuatro pasos básicos para el cálculo en los niveles de la iluminancia [3].

2.2.5.1. Rango de cavidad

Se pueden determinar mediante el cálculo de los siguientes rangos

$$\text{Cavidad Techo} = CCR = 5 \times \frac{hcc(L+W)}{(L \times W)} \quad (4)$$

$$\text{Cavidad Cuarto} = RCR = 5 \times \frac{hrc(L+W)}{(L \times W)} \quad (5)$$

$$\text{Cavidad Piso} = FCR = 5 \times \frac{hfc(L+W)}{(L \times W)} \quad (6)$$

Donde hcc, es la distancia de la luminaria al techo, hrc, es la distancia de la luminaria al plano de trabajo, hfc, es la distancia del plano de trabajo al piso, L, es el largo del cuarto y W, el ancho del espacio [3].

2.2.5.2. Reflectancias de cavidad efectivas

Las reflectancias de cavidad efectivas deben ser determinadas para las cavidades de techo y de piso. Estas pueden obtenerse en diversas tablas bajo la combinación aplicable de rango de cavidad y la reflectancia actual del techo, paredes y piso. Si la luminaria es para montaje de hueco o de superficie, o si el piso es el plano de trabajo, el CCR o el FCR serán 0 y entonces la reflectancia actual del techo o el piso será también la reflectancia efectiva. Los valores de reflectancia efectivos encontrados serán entonces pcc (reflectancia de cavidad de techo efectiva) y pfc (reflectancia de cavidad de piso efectiva) [3].

2.2.5.3. Selección del coeficiente de utilización

Al obtener los valores de pcc, pfc y pw (reflectancia de pared) y conociendo el rango de cavidad del cuarto (RCR), previamente calculado, se debe buscar el coeficiente de utilización (CU) en tablas e del luminario seleccionado. Debido a que las tablas muestran datos lineales, se pueden hacer interpolaciones lineales para rangos de cavidad

exactos o combinaciones de reflectancia. Para obtener el Coeficiente de Utilización se utiliza la siguiente ecuación [3].

$$\eta = \frac{\phi_{\text{útil}}}{\phi_{\text{lámpara}}} \quad (7)$$

Donde $\phi_{\text{útil}}$, es el flujo luminoso que llega al plano de trabajo (flujo útil) y $\phi_{\text{lámpara}}$, es el flujo luminoso del conjunto de luminarias de instalación [3].

2.2.5.4. Nivel de luminancia promedio

Se calcula apoyado con el método de lumen estándar conociendo los siguientes datos:

- Número de luminaras (NL)
- Lámparas por luminaria (LL)
- Lúmenes por lámpara (LxL)
- Coeficiente de utilización (C.U.)
- Factor de mantenimiento (fm)
- Área en m²

En donde se desprende la siguiente ecuación [3]:

$$\text{Luxes} = \frac{(NL)(LL)(LxL)(C.U.)(fm)}{\text{Área en m}^2} \quad (8)$$

2.3. Materiales y métodos

El estudio de la iluminación instalada en las aulas, se realizó con un medidor digital de luminosidad (exposímetro) marca STEREN modelo HER-410, el cual cuenta con 3 niveles de resolución (X1, X10 y X100), su rango de medición es de hasta 50,000 Lux y una precisión del $\pm 5\%$ y se puede elegir entre sus 3 parámetros de detección sensor con un fotodiodo, filtro para corrección de color y factor cosenoidal. Las áreas analizadas fueron dos aulas identificadas como espacio F, el cual cuenta con medidas de 6.35 x 7.95 metros y D con medidas de 7.9 x 7.95 metros. Los espacios estudiados fueron divididos considerando principalmente no realizar menos puntos de los mínimos calculados como lo marca la NOM-025-STPS-2008 para el índice de área (IC) utilizando la ecu. (2) de acuerdo a lo siguiente:

$$IC = \frac{(6.35 \text{ m})(7.95 \text{ m})}{(1.9 \text{ m})(6.35 \text{ m} + 7.95 \text{ m})} = 1.86$$

esto es $1 \leq IC < 2$

El número mínimo de puntos de medición $(2 + 2)^2 = 16$. Lo que significa que el número mínimo a evaluar es de 16 puntos. Sin embargo, por cuestiones de mayor exactitud se consideró arbitrariamente dividir el espacio en 6 partes igualmente distribuidas, lo que generó 49 puntos de medición como se muestra en la Figura 1, para el espacio F. El mismo procedimiento se generó con el espacio D

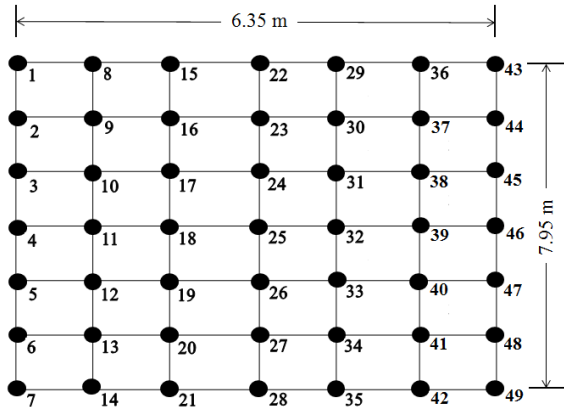


Figura 1. Representación para la estimación de puntos de medición para el espacio F y D

La altura de trabajo en la medición se realizó a 1 m de distancia del piso y se generó una superficie de respuesta para el espacio medido. Por su parte, a la par se realizó el cálculo simulado de los espacios mediante el software ReluxPro, el cual es de libre acceso y utiliza como plataforma de cálculo el método de cavidad zonal.

3. Resultados

La Figura 2, muestra los valores de iluminación medidos distribuidos en el espacio F, el cual cuenta con cuatro módulos instalados. Cada módulo cuenta con dos lámparas fluorescentes lineales tipo T8 de 32 W y se puede observar que existen zonas en niveles de entre 100 y 150 lux, sin embargo, la iluminación promedio es 103 lux.

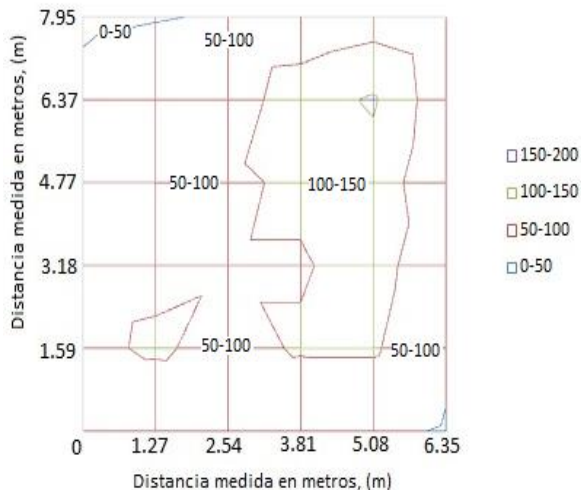


Figura 2. Superficie de Iluminación para lámparas fluorescentes tipo T8 de 32 W (Medido) del espacio F.

En la Figura 3, muestra los valores de iluminación para el mismo espacio de estudio pero obtenido mediante el software ReluxPro, en donde la distribución de la iluminación marca como el nivel máximo 176 lux para la cantidad de lámparas instaladas. Esta diferencia entre los niveles calculados y los espacios medidos se presentan debido a diversos factores como; lámparas de diferente

marcas, horas de trabajo, temperatura de iluminación, opacidad de los acrílicos, errores de medición, distribución de lámparas entre otras.

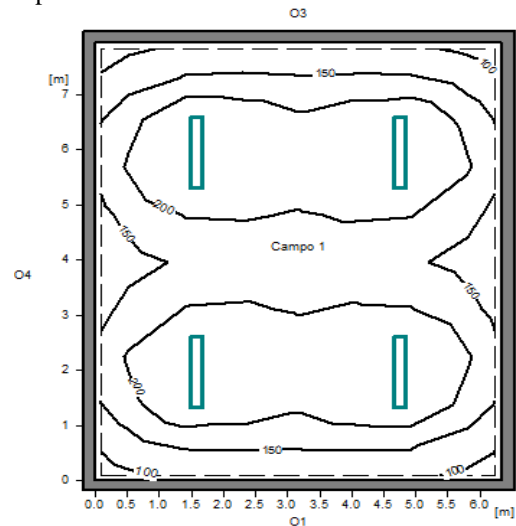


Figura 3. Superficie de Iluminación para lámparas fluorescentes tipo T8 de 32 W (Software ReluxPro).

La Figura 4, muestra los valores de iluminación medidos en el espacio de estudio D, el cual cuenta con seis módulos instalados, esto es, con 12 lámparas fluorescentes lineales tipo T8 de 32 W. Se puede observar zonas en los rangos de 200 a 300 lux de iluminación, la iluminación promedio fue 248 lux. Estos niveles de iluminación difieren con los del espacio F, debido a la cantidad de iluminación instalada.

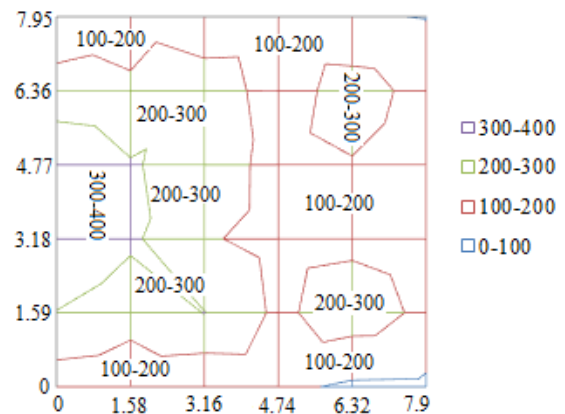


Figura 3. Superficie de Iluminación para lámparas fluorescentes tipo T8 de 32 W (Medido) del espacio D.

La Figura 5, muestra la simulación realizada con el software ReluxPro para el mismo espacio estudiado anteriormente e identificado como D, en donde la distribución marca como la iluminancia media de 242 lx. Estos datos son parecidos a los datos medidos, sin embargo, las diferencias generadas se presentan debido a los diversos factores ya comentados anteriormente.

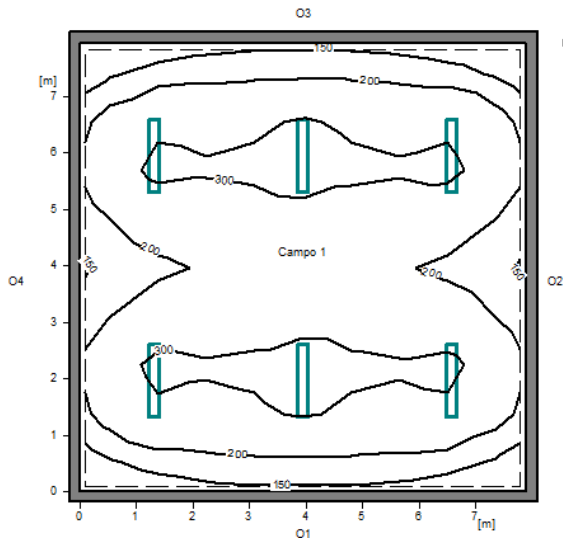


Figura 5. Superficie de iluminación para lámparas fluorescentes tipo T8 de 32 W (Software ReluxPro).

4. Conclusión

Los resultados obtenidos en el análisis indican que el sistema de iluminación instalado es muy deficiente, ya que el promedio de iluminación en los espacios fue de 103 lux medidos contra 176 lux en los calculados para el espacio F y 248 lux medido contra 242 lux calculados en el espacio D, lo que representa el no cumplimiento de la norma. Eso se atribuye a que las instalaciones tienen esquemas de construcción de más de 30 años y la distribución de luminaria no es la más apropiada. La aportación más importante de este estudio fue la validación de la metodología propuesta para la evaluación de la capacidad de iluminación en espacios de estudio, la cual emplea herramientas simples para cuantificar, representar gráficamente e incluso elaborar modelos matemáticos permitiendo evaluar cuantitativamente. Así mismo se puede comprobar que los niveles de iluminación en los espacios de estudio no son lo más adecuados de acuerdo a los requerimientos mínimos que marca la NOM-025-STPS-2008, lo que permita generar un área de oportunidad en la mejora del sistema mediante el rediseño de la instalación en las luminarias.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Mazatlán por los apoyos otorgados a través del proyecto "Caracterización Energética de Iluminación en Áreas de Estudio del ITMAZ", con clave de registro 006/2016.

REFERENCIAS

- [1] Falagán, M., Canga, A., Ferrer, P. y Fernández, J. (2000). Manual Básico de Prevención de Riesgos Laborales: Higiene industrial, Seguridad y Ergonomía. Sociedad Asturiana de Medicina y Seguridad en el Trabajo y Fundación Médicos Asturias.
- [2] Del Amor, R. (2012). Estudios de la Ergonomía Ambiental-Iluminación en el Hospital del Mar Menor. Universidad Internacional de la Rioja. Madrid.
- [3] Ramírez J., Ricoy J., Sánchez D., (2011). Proyecto de Eficiencia Energética en el Sistema de Alumbrado en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Tesis de Licenciatura. UNAM. p 10-24.
- [4] Huerta J., (2012). Descripción de Lámparas Fluorescentes y Lámparas Fluorescentes Compactas. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. p 17-42.
- [5] Laszlo C., Manual de Luminotécnica para Interiores. <http://www.laszlo.com>, visitado el 10/09/2016.
- [6] Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008., Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo.
- [7] Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014., Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios No Residenciales.