

Conference Paper

Evaluación niveles de iluminación en interiores y cálculo para instalaciones de alumbrado

Evaluation of interior lighting levels and calculation for lighting facilities

E.T. Machado Miranda, S.E. Nuela Sevilla, A.P. López-López, and D.L. Mosquera Guanoluisa

Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Resumen

Siendo la iluminación una forma de energía, es uno de los agentes agresivos de tipo físico que inciden sobre el trabajador, pudiendo causar daños en su salud cuando esté fuera del rango tolerable. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el nivel de iluminación de los trabajadores de la construcción dentro del área petrolera en el Oriente Ecuatoriano, mientras realizan sus actividades en oficinas. Se contempló la evaluación higiénica del riesgo físico de la Norma Oficial Mexicana, en cuanto a las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, luego el valor obtenido se compara con lo establecido en el decreto ejecutivo 2393. Para el cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, se utilizó el método denominado Sistema General o del Factor de utilización, que proporciona una iluminancia media. El resultado promedio de la evaluación dio 458,22 luxes, que se encuentra por debajo del nivel mínimo permisible de 500 luxes para trabajos de diseño, revisión y corrección de planos, de modo que es necesaria la intervención mediante un programa de prevención de riesgos físicos por iluminación, para minimizar el riesgo actual y prevenir futuras lesiones oculares o enfermedades profesionales que puedan presentarse al mantener las condiciones actuales de trabajo.

Abstract: Being the lighting a form of energy, it is one of the aggressive agents of physical type that affect the worker, being able to cause damages in his health when he is outside the tolerable range. The objective of this research is to evaluate the level of lighting of construction workers within the oil area in the Ecuadorian Oriente, while carrying out their activities in offices. The hygienic evaluation of the physical risk of the Official Mexican Standard was contemplated, in terms of lighting conditions in the work centers, then the value obtained is compared with that established in executive decree 2393. For the calculation of general lighting in facilities interiors, the method called General System or the Utilization Factor was used, which provides an average illuminance. The average result of the evaluation gave 458.22 luxes, which is below the minimum permissible level of 500 luxes for design work, review and correction of plans, so that intervention is necessary through a program of prevention of physical risks by lighting to minimize the current risk and prevent future eye injuries or occupational diseases that may occur when maintaining current work conditions.

Corresponding Author:

E.T. Machado Miranda
etmachadomahoo.com

Received: 10 January 2020

Accepted: 17 January 2020

Published: 26 January 2020

Publishing services provided by
Knowledge E

© E.T. Machado Miranda
et al. This article is distributed
under the terms of the [Creative
Commons Attribution License](#),
which permits unrestricted use
and redistribution provided that
the original author and source
are credited.

Selection and Peer-review under
the responsibility of the VI
Congreso Internacional Sectei
2019 Conference Committee.

 OPEN ACCESS

Palabras clave: NOM-025, evaluación, iluminación, instalaciones alumbrado.

Keywords: NOM-025, evaluation, lighting, installations lighting.

1. Introducción

En el Ecuador existen empresas que realizan proyectos de construcción, en donde las actividades son peligrosas, es decir que los trabajadores están expuestos a todos los factores de riesgo. En la actualidad todas las empresas manejan oficinas tanto en la parte administrativa como en la técnica, cada trabajador realiza un esfuerzo visual según sus actividades habituales e incluso según su condición física y estado de ánimo, exponiéndose al factor de riesgo físico por iluminación. En el caso de los trabajadores de la construcción dentro del área petrolera realizan trabajos documentales en la oficina, tanto en el día como en la noche, principalmente lo que demanda mayor esfuerzo es el diseño, revisión y corrección de planos para la ejecución de las obras.

Muchas de las veces los empleadores piensan que para mejorar la visibilidad de los trabajadores simplemente se debe colocar luminarias, lo cual resulta contraproducente ya que puede provocar riesgos como deslumbramientos, además se pueden crear riesgos adicionales como electrocución, sobrecargas, incendios si no se realiza una conexión correcta y por otro lado incluso si existe demasiadas luminarias sube el costo de la planilla de electricidad. Normalmente se preocupan de los trabajos en campo, que es muy acertado, pero se deja de lado el riesgo existente en las oficinas, lo cual conlleva a que exista un insuficiente control de los efectos nocivos en los trabajadores.

Dentro de las actividades que realiza el hombre a lo largo de su vida, una de las que ocupa la mayor parte de ella, no solo en el tiempo sino también en el espacio, es el trabajo. En este sentido, la actividad laboral, para que pueda desarrollarse de una forma eficaz, precisa que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen, lo anterior, porque se considera que el 50% de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual, es decir, tiene como origen primario la luz. Un tratamiento adecuado del ambiente visual permite incidir en los aspectos de: seguridad, confort y productividad; y como respuesta disminuyendo la fatiga, tasa de errores y accidentes de trabajo y elevando la cantidad y calidad del trabajo (1).

Los agentes agresivos de tipo físico son básicamente diferentes formas de energía que inciden sobre el trabajador, pudiendo causar alteraciones en su salud cuando la dosis recibida es superior a la tolerable. Entre las diferentes formas de energía que

se incluyen en este grupo está el ruido, las vibraciones, las radiaciones, el calor y la humedad y la Iluminación (2), aquí comprobamos que la iluminación es un agente agresivo físico en forma de energía, por lo tanto su estudio es relevante para verificar que los trabajadores expuestos a éste riesgo en los sitios de trabajo no sufran alteraciones en su salud.

La iluminación industrial es uno de los factores ambientales de carácter microclimático que tiene como principal finalidad facilitar la visualización de los objetos dentro de su contexto espacial, de modo que, el trabajo se pueda realizar en unas condiciones aceptables de eficacia, comodidad y seguridad. La iluminación es considerada un riesgo que condiciona la calidad de vida y determina las condiciones de trabajo en que se desarrollan las actividades laborales. El nivel de iluminación es el flujo luminoso por unidad de superficie, la unidad de medida es el lux que se define como la iluminación en el punto (A) sobre una superficie que dista un metro en dirección perpendicular de una fuente puntual de una candela. Un lumen distribuido uniformemente en un metro cuadrado de superficie produce la iluminación de un lux. El ojo humano no ve la iluminación sino el brillo, todos los las superficies de cuerpos visibles tienen brillo la cual se evidencia según la posición del observador, el brillo puede ser directo cuando depende de la fuente luminosa e indirecto cuando depende del cuerpo iluminado. La luminancia es la característica de la fuente de luz y de la superficie iluminada que produce en el ojo sensación de claridad. La reflexión es la luz que se refleja de los cuerpos, la cual aumenta según va aumentando el ángulo de incidencia, existen valores de reflexión para paredes, techos, pisos, escritorios, lo cual también depende del color que estén pintados. La transmisión es cuando los rayos de luz atraviesan los cuerpos, lo cual depende de la densidad de los mismos. De todos estos factores hablados depende la calidad de la iluminación, un factor importante es el deslumbramiento que es el brillo que causa interferencia al ojo humano, es decir causa fatiga laboral, los cuales debemos conocer para saber cómo disminuir el efecto, puede ser tan molesto una gran área de bajo brillo como una pequeña área de alto brillo, para disminuir el deslumbramiento se recomienda que se retire objetos cerca del trabajador, elegir colores adecuados para paredes, techos, pisos y ubicar adecuadamente las lámparas. El color es un fenómeno físico que puede ser percibido por el ojo humano, es un factor muy importante al momento de elegirlo para los ambientes de trabajo, el ser humano reacciona a los colores que se encuentran a su alrededor, así que no se debe elegir como estética de una habitación. Si una luz blanca se ilumina una superficie de color verde se refleja éste color, si se ilumina una superficie blanca se refleja todas las longitudes de onda y por último si se ilumina una superficie negra absorbe todas las radiaciones. Una vez que

se haya elegido el color se debe tomar en cuenta el tono, la intensidad, la saturación, en luminotecnia se estudia los tonos fríos y calientes, se debe escoger tonos fríos, que son los que inspiran tranquilidad y concentración al trabajador, es decir se debe utilizar estos tonos en áreas de producción y los tonos calientes se debe utilizar en entradas, pasillos, áreas de recreación. Por último se debe elegir colores complementarios para crear un ambiente laboral (1).

La luz visible es una radiación electromagnética de menor frecuencia y puede dar lugar a daños habituales, si bien menos graves, relacionados con la iluminación (3). Los daños que puede causar la iluminación al trabajador dependen del tiempo de exposición, del tipo de luminaria, y de muchos otros factores que se habla más adelante.

El color de nuestro hábitat desempeña un papel esencial a la hora de conseguir una actividad cerebral eficiente y mantener activa la dialéctica entre razón y emoción, entre sentimiento e intelecto. Si estos dos momentos se viven al unísono, se tendrá la experiencia de la armonía = belleza, que tiene carácter terapéutico. Todo lo que vemos está en colores e incluso cuando cerramos los ojos podemos diferenciarlos, por lo tanto se puede abordarlos desde un punto de vista físico, químico, fisiológico, psicológico, los cuales se consideran para el cálculo de iluminación. (4). Al generalizarse la utilización de la fuerza del vapor y otros tipos de mecanismos, este panorama experimentó un cambio muy radical. Los trabajos pasaron a realizarse, cada vez más, en locales interiores, y las jornadas laborales se prolongaron hasta las horas nocturnas, para reducir el período de amortización de las inversiones de capital. Esta nueva situación comportó la necesidad de utilizar alumbrado artificial para suplir la carencia de luz solar (5). Aunque a corto plazo, el ojo humano se adapta fácilmente a unas deficientes condiciones de iluminación, si las mismas persisten durante mucho tiempo pueden provocar la aparición de molestias o daños para la salud del trabajador, (6).

El empresario deberá adoptar las medidas necesarias para que la utilización de los lugares de trabajo no origine riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo (7).

Un estudio ha estimado que el coste total de los accidentes laborales en la Unión Europea se situó en 55 mil millones de euros, el 0,64 % del PIB en el año 2000. Las deficiencias encontradas en esta muestra no son sorprendentes dado que son causadas por una falta de conocimiento y preocupación con respecto a las condiciones de trabajo (8,9).

Se han publicado informes en los se halló agudeza visual baja en el 45,3% de los niños en zona rural y en el 54,7% de los niños de zona urbana, resaltamos que la zona de residencia sí tenía relación con la agudeza visual baja en los niños (10),

esto en comparación con lo encontrado en la literatura es compatible, ya que algunos estudios refieren que esto dependerá de la llegada y calidad de la iluminación donde se desarrolle el niño (11), esto denota que en las zonas rurales aún existe un mejor sistema de iluminación natural. Como se evidencian en investigaciones anteriores realizadas ya se han encontrado que la agudeza visual baja se produce por la iluminación deficiente.

Según las conclusiones de la investigación de Paute, el personal administrativo necesita niveles de iluminación más altos para una visión fácil, al estar expuestos a jornadas diarias completas en este ambiente de trabajo son propensas a enfermedades Psicológicas y Fisiológicas en corto y largo plazo (12).

Todos los lugares de trabajo y tránsito deberán estar dotados de suficiente iluminación natural o artificial, para que el trabajador pueda efectuar sus labores con seguridad y sin daño para los ojos (13).

Los elementos fundamentales a considerar en la evaluación y diseño de un sistema de iluminación de un puesto de trabajo en general, para conseguir un cierto confort visual y una buena percepción, son los siguientes: El nivel de iluminación del punto de trabajo y el tipo de tarea a realizar; el contraste entre los objetos a manipular y el entorno; la disposición de las luminarias; la edad del trabajador y sus condiciones personales (14).

Un buen sistema de iluminación no se limita a prever un nivel mínimo de iluminación sobre el plano de trabajo, sino que existen otros factores como la distribución de la iluminación, deslumbramientos, etc., que deben tenerse en cuenta (15).

Normalmente, las instalaciones de iluminación general proporcionan una iluminancia aproximadamente uniforme en todo el plano de trabajo. Son sistemas que suelen estar basados en el método luménico de diseño, donde se calcula una iluminancia media. Como norma general, la eficiencia de un tipo determinado de lámpara será mejor cuanto mayor sea el régimen de potencia, en la tabla 1 tenemos los rendimientos de las lámparas (16).

TABLE 1: Rendimiento típico de lámparas.

| RENDIMIENTOS TÍPICOS DE LAS LÁMPARAS | |
|---|-------------------|
| Eficiencia de las lámparas | |
| Lámpara de filamento de 100 W | 14 lúmenes/vatio |
| Tubo fluorescente de 58 W | 89 lúmenes/vatio |
| Lámpara de sodio de alta presión de 400 W | 125 lúmenes/vatio |
| Lámpara de sodio de baja presión de 131 W | 198 lúmenes/vatio |

Fuente: OIT

Las lámparas fluorescentes son de mercurio de baja presión que están disponibles en versiones de "cátodo caliente" y "cátodo frío". La primera versión es el tubo fluorescente convencional para fábricas y oficinas (16). Con lo que tendríamos ya una referencia. Se adoptarán lámparas fluorescentes, tanto en su versión lineal como compacta, debido a su bajo consumo, larga vida útil y que reproducen perfectamente todas las tonalidades de luz requeridas en cada recinto, para resolver la iluminación interior de una oficina hay que tomar en cuenta algunas consideraciones generales como el estético, confort visual, eficiencia lumínica y energética, los cuales deben proporcionar sensación de tranquilidad. Para el cálculo de luminaria se considera la cantidad y la calidad de luz para el área que se va a iluminar y considerando la actividad que va a realizar, hay que seleccionar luminarias suaves para evitar el deslumbramiento, se recomienda en las áreas de trabajo alumbrado directo. Para obtener un alumbrado adecuado en interiores se puede colocar iluminación localizada, o debemos considerar que se distribuya adecuadamente en toda la superficie uniformemente conocida como iluminación general, y si se necesita mayor iluminación en un puesto de trabajo según la actividad que vaya a realizar se puede colocar una iluminación suplementaria. Como en oficinas no se necesita nivel de alumbrado muy alto se puede aplicar el sistema de alumbrado general en beneficio de todos, cabe mencionar que así se necesite iluminación localizada en un puesto de trabajo específico siempre debe existir el alumbrado general, claro que siempre tomando en cuenta el confort del trabajador. Existe relación directa entre el flujo luminoso y color de luz, tomando en cuenta las tonalidades, así por ejemplo las tonalidades cálidas son amarillentas, las tonalidades frías son las blancas y las tonalidades neutras son las intermedias. Un dato importante que hay que considerar al momento de elegir el tipo de lámpara es encontrar la información de que tiempo se tarda en disminuir la intensidad, si disminuye paulatinamente o de forma súbita. Un dato importante sobre las luminarias es que la forma física es un detalle que debemos verificar para determinar si la luminaria puede proporcionar alumbrado directo, indirecto, semi-directo o semi-indirecto. (17).

El nivel lumínico es una magnitud aditiva. Es decir, en una instalación, si se dobla teóricamente la potencia instalada y, por tanto, se dobla el flujo lumínico saliente de las fuentes de luz, también se dobla el nivel lumínico (5).

Se utiliza la investigación bibliográfica documental basado en la observación y reflexión de diversos documentos, los cuales se indagan e interpretan de acuerdo al tema de estudio y sirven de base para el desarrollo de la investigación. La investigación de campo se basa en analizar el problema en el lugar donde se desarrollan los hechos, lo que da una ventaja de comparar el conocimiento teórico recabado con lo que

existe en campo, además se realizan las mediciones de los niveles de iluminación técnicamente. La observación, como técnica, nos permite obtener conocimiento acerca del comportamiento del objeto de investigación tal y como éste se da en la realidad, es una manera de acceder a la información directa e inmediata sobre el proceso que está siendo investigado (18).

Para realizar el proceso de cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, se pueden utilizar dos métodos: el primero, es el denominado Sistema General o Método del Factor de utilización, que proporciona una iluminancia media con un error de $\pm 5\%$. El segundo método es el de Punto a Punto, y es el utilizado por los programas informáticos. Calcular con el segundo método es fácil, pero para muchos es un proceso engorroso y lento. Se ha optado por aplicar el primer método, ya que nos da una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación, así como resultados bastante precisos (17).

Luego de la recolección de los datos iniciales se procede a medir y registrar los niveles de iluminación. Se realiza la evaluación del riesgo físico por iluminación, de forma práctica ya que se lo hace con ayuda del equipo para realizar las mediciones en campo como es el LUXÓMETRO, y de forma teórica ya que se cuenta con la información suficiente de la sistemática para la evaluación higiénica del riesgo físico de la NOM (Norma Oficial Mexicana), en cuanto a las condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Los valores obtenidos se comparan con lo establecido en el decreto ejecutivo 2393 (13).

En las empresas se considera el factor de riesgo físico en las oficinas pero no tienen mediciones para poder implementar las medidas preventivas adecuadas. Mediante ésta investigación se obtienen datos estadísticos con los que se determinan si el nivel de iluminación en oficinas es apropiado o no según el tipo de actividad, se obtiene un valor que está por debajo de los límites mínimos permitidos para los trabajadores.

2. Materiales y Métodos

Existen varios métodos para determinar el nivel de iluminación e instalación de alumbrado en interiores, en este artículo se aplicó el **método de los lúmenes**. La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos, con el siguiente esquema según la figura 1 (19).



Figure 1: Esquema de aplicación del emplazamiento de luminarias (Fuente: García-Fernández J, Boix-Aragón O).

Para evaluar los niveles de iluminación se utilizó la norma **NOM-025-STPS-2008** sobre las condiciones de iluminación en los centros de trabajo (20), el estudio se realizó en oficinas donde se dan servicios petroleros en el Oriente Ecuatoriano en el año 2012.

Para determinar los niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares se tiene los valores de la tabla 2 del **DECRETO EJECUTIVO 2393** (13).

TABLE 2: Niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares.

| NIVELES DE ILUMINACIÓN MÍNIMA PARA TRABAJOS ESPECÍFICOS Y SIMILARES | |
|---|---|
| ILUMINACIÓN MÍNIMA | ACTIVIDADES |
| 20 luxes | Pasillos, patios y lugares de paso. |
| 50 luxes | Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos. |
| 100 luxes | Cuando sea necesaria una ligera distinción de detalles como: fabricación de productos de hierro y acero, taller de textiles y de industria manufacturera, salas de máquinas y calderos, ascensores. |
| 200 luxes | Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas. |
| 300 luxes | Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía. |
| 500 luxes | Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste, tales como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo. |
| 1 000 luxes | Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles, tales como: trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería. |

Fuente. Decreto Ejecutivo 2393

Para los niveles de iluminación Según la NOM-025-STPS-2008 necesitamos lo siguiente:

2.1. Reconocimiento de las condiciones de iluminación

Se realizó el reconocimiento de las oficinas, identificando los puestos de trabajo y las tareas visuales encomendadas, se determinó que todos los departamentos tienen similares características tanto en dimensiones como en iluminación natural y artificial, en su mayoría realizan actividades documentales siendo la elaboración, revisión, corrección de planos lo que demanda mayor esfuerzo del trabajador. Los techos y paredes son de color claro y el piso de color oscuro. Se dispone de 6 luminarias que tiene 2 lámparas cada una como se observa en la figura 2, la luminaria es ALBATROS PAST 525 4B, de 2 lámparas. Una luminaria adicional en la parte derecha al fondo debido a que se tiene un espacio para cancelas.



Figure 2: Disposición actual de las luminarias en oficina.

2.2. Ubicación de los puntos de medición

Los puntos de medición fueron determinados con la ayuda del índice de área (k , IC) y comparando con la columna A de la tabla 3, tomando en cuenta la limitación cuando los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias se debe tomar los valores de la columna B.

TABLE 3: Relación entre el Índice de Área y el número de Zonas de Medición.

| Índice de área | A) Número mínimo de zonas a evaluar | B) Número de zonas a considerar por la limitación |
|----------------|-------------------------------------|---|
| $IC < 1$ | 4 | 6 |
| $1 < IC < 2$ | 9 | 12 |
| $2 < IC < 3$ | 16 | 20 |
| $3 < IC$ | 25 | 30 |

Fuente: NOM-025

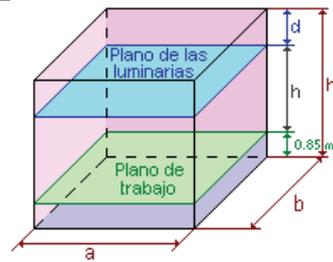
2.3. El índice de área (k, IC).

Se calcula con la ayuda de las ecuaciones de la tabla 4.

TABLE 4: Cálculo del índice del local (k, IC).

| Sistema de iluminación | Índice del local (adimensional) |
|--|--|
| Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa | $k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)} \quad (1)$ |
| Iluminación indirecta y semiindirecta | $k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h+0,85) \cdot (a+b)} \quad (2)$ |

Donde a=ancho[m];
b=largo[m];
h=altura[m];



Fuente: García-Fernández J, Boix-Aragonés O.

2.4. Consideraciones según tipo de iluminación (artificial)

En las oficinas se utiliza iluminación artificial, por lo tanto antes de realizar las mediciones, cumplimos con lo siguiente:

- Encendemos las lámparas con anticipación y dejamos que el flujo de luz se estabilice; esperamos un periodo de 20 minutos como mínimo antes de iniciar las lecturas. Pero tomando en cuenta la condición que si las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, se debe dejar más tiempo, por lo que vamos a esperar 30 minutos para que el flujo de luz se estabilice.
- No se tiene instalaciones nuevas, por lo que seguimos con lo establecido en el punto anterior, de ser el caso debemos esperar 100 horas de funcionamiento para iniciar.
- Se verifica que los sistemas de ventilación operen normalmente, para que no haya variaciones de las medidas por los cambios de temperatura.

2.5. Consideraciones según tipo de iluminación (natural)

En las oficinas influye la iluminación natural, debido a que se tienen ventanas, realizamos al menos 3 mediciones en cada área distribuidas en el turno de trabajo diurno de acuerdo con lo siguiente:

- Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
- Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y

- Una lectura tomada aproximadamente en la última hora del turno.

Luxómetro

Usamos un luxómetro que cuenta con:

- Detector para medir iluminación;
- Corrección cosenoidal;
- Corrección de color, detector con una desviación máxima de $\pm 5\%$ respecto a la respuesta espectral fotópica, y
- Exactitud de $\pm 5\%$ (considerando la incertidumbre por calibración).

Además.

- Verificamos el luxómetro antes y después de iniciar la evaluación según lo establece el fabricante.
- Verificamos que el luxómetro cuente con el certificado de calibración de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
- Verificamos que el luxómetro no haya sufrido una caída, o si no estuvo expuesto a condiciones extremas de temperatura y humedad.

2.6. Toma de mediciones, protocolo a seguir.

Las mediciones se realizan en el centro geométrico de las zonas a evaluar, sobre los planos de trabajo según los lineamientos anteriores, siguiendo los siguientes pasos.

1. Encendemos el luxómetro
2. Enceramos el luxómetro.
3. Escogemos el tipo de iluminación, fluorescente.
4. Escogemos la unidad en luxes.
5. Manipulamos el rango hasta que aparezcan las mediciones.
6. Colocamos el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomamos precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro.
7. Tomamos los datos máximos y mínimos.
8. Sacamos promedios y comparamos con la tabla 2 del Decreto Ejecutivo 2393.

2.7. Determinación de la cantidad y emplazamiento de luminarias

Según el método de los lúmenes necesitamos lo siguiente:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot fm} \quad (1)$$

Donde Φ_T = Flujo luminoso total [lm]; E = Iluminancia media deseada [lux] (tabulada Decreto Ejecutivo 2393); S = Superficie del plano de trabajo [m²] (mediciones en campo); η = Factor de utilización [adimensional] (índice k y Coeficiente de reflexión); fm = Factor de mantenimiento [adimensional].

$$S = a \times b \quad (2)$$

Donde S = Superficie del plano de trabajo [m²]; a = ancho del plano de trabajo [m]; b = largo del plano de trabajo [m].

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \quad (3)$$

Donde N = número de luminarias [u]; Φ_T = Flujo luminoso total [lm]; n = número de lámparas por luminaria [u] (observación en campo); Φ_L = Flujo luminoso de una lámpara [lm] (fabricante).

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total}}{largo} \times ancho} \quad (4)$$

Donde N_{ancho} = Numero de luminarias distribuidas al ancho [u]; N_{total} = N = número de luminarias [u]; a = ancho [m]; b = largo [m].

$$N_{largo} = N_{ancho} \times \frac{largo}{ancho} \quad (5)$$

Donde N_{largo} = Numero de luminarias distribuidas al largo [u]; N_{ancho} = Numero de luminarias distribuidas al ancho [u]; a = ancho [m]; b = largo [m].

2.8. Coeficiente de reflexión (ρ)

Estos valores lo podemos encontrar tabulados, según los tipos y características de techo, paredes y suelo, una clasificación general según el color lo tenemos en la tabla 5.

2.9. Factor de utilización (η , CU)

Este valor lo obtenemos del fabricante de la luminaria según sus características, sino no podemos conseguir de la misma luminaria, podemos tomar los datos de una similar

TABLE 5: Coeficiente de reflexión.

| | Color | Factor de reflexión (ρ) |
|----------------|--------------------|--------------------------------|
| Techo | Blanco o muy claro | 0,7 |
| | claro | 0,5 |
| | medio | 0,3 |
| Paredes | claro | 0,5 |
| | medio | 0,3 |
| | oscuro | 0,1 |
| Suelo | claro | 0,3 |
| | oscuro | 0,1 |

Fuente: García-Fernández J, Boix-Aragonés O.

buscando en los fabricantes conocidos como de Philips, Osram, Sylvania, Ornalux, de ésta última se encuentran los datos (21), en la figura 3.

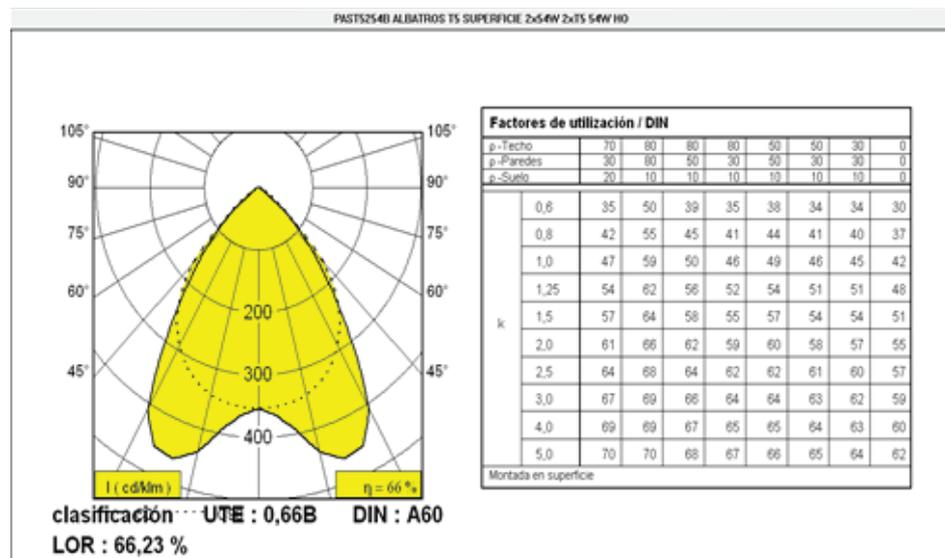


Figure 3: Factor de utilización (Fuente: Ornalux).

2.10. Factor de mantenimiento (fm)

Este valor depende de varios factores como el grado de suciedad, la calidad y frecuencia del mantenimiento, el tipo de luminaria, en la tabla 6 encontramos una clasificación general.

TABLE 6: Factor de mantenimiento.

| Ambiente | Factor de mantenimiento (f_m) |
|----------|-----------------------------------|
| Limpio | 0,8 |
| Sucio | 0,6 |

Fuente: García-Fernández J, Boix-Aragonés O.

2.11. El flujo luminoso

El flujo luminoso de la lámpara se obtiene del fabricante. Como se observa en la figura 4.



Figure 4: Flujo luminoso de lámpara (Fuente: Ornalux).

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados

Cálculo del índice K (IC).

Se realizó las mediciones del área de trabajo y se aplicó la fórmula según la tabla 4.

$a = 5,00$ m (ancho)

$b = 7,50$ m (largo)

$h = 2,00$ m (altura entre el plano de las lumináries y el plano de trabajo)

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$k = 1,5$$

Con **K=1,5** procedemos a dividir las área de trabajo en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A de la tabla 3 se tiene **mínimo 9 de zonas a evaluar**, realizamos la medición en el centro geométrico de cada una de estas zonas;

en nuestro caso los puntos de medición no coinciden con los puntos focales de las luminarias por lo tanto mantenemos 9 zonas a evaluar y la representamos en la figura 5.



Figure 5: Distribución de zonas a evaluar.

Medición en la primera hora del turno: 06h00

TABLE 7: Resultados de la medición a la primera hora del turno.

| | | ZONAS A EVALUAR | | | | | | | | | PROMEDIO |
|---|----------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| CON LA LUZ APAGADA Y ABIERTA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 140 | 155 | 170 | 150 | 157 | 160 | 165 | 173 | 180 | 161,11 |
| | MINIMOS (lux) | 135 | 149 | 162 | 145 | 150 | 157 | 160 | 170 | 174 | 155,78 |
| CON LA LUZ ENCENDIDA Y ABIERTA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 600 | 620 | 650 | 610 | 615 | 680 | 640 | 674 | 710 | 644,33 |
| | MINIMOS (lux) | 585 | 610 | 642 | 603 | 612 | 671 | 633 | 670 | 705 | 636,78 |
| CON LA LUZ ENCENDIDA Y CERRADA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 490 | 510 | 505 | 515 | 500 | 501 | 503 | 492 | 520 | 504,00 |
| | MINIMOS (lux) | 490 | 500 | 498 | 509 | 495 | 493 | 499 | 490 | 514 | 498,67 |

PROMEDIO EN LA MAÑANA DE NIVELES MINIMOS = 430,41 luxes

Medición al medio turno: 12h00

TABLE 8: Resultados de la medición a medio turno.

| | | ZONAS A EVALUAR | | | | | | | | | PROMEDIO |
|--|---------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| CON LA LUZ APAGADA Y ABIERTA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 260 | 275 | 290 | 270 | 277 | 280 | 285 | 293 | 300 | 281,11 |
| | MINIMOS (lux) | 255 | 269 | 286 | 262 | 270 | 273 | 280 | 290 | 294 | 275,44 |
| CON LA LUZ ENCENDIDA Y ABIERTA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 650 | 675 | 700 | 660 | 685 | 720 | 675 | 700 | 750 | 690,56 |
| | MINIMOS (lux) | 646 | 660 | 690 | 655 | 677 | 712 | 662 | 698 | 740 | 682,22 |
| CON LA LUZ ENCENDIDA Y CERRADA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 505 | 516 | 515 | 530 | 510 | 512 | 522 | 502 | 527 | 515,44 |
| | MINIMOS (lux) | 494 | 502 | 502 | 510 | 501 | 508 | 515 | 490 | 520 | 504,67 |

PROMEDIO AL MEDIO DÍA DE NIVELES MINIMOS = 487,44 luxes

TABLE 9: Resultados de la medición a la última hora del turno

| | | ZONAS A EVALUAR | | | | | | | | | PROMEDIO |
|--|---------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| CON LA LUZ APAGADA Y ABIERTA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 180 | 195 | 200 | 190 | 197 | 200 | 205 | 210 | 212 | 198,78 |
| | MINIMOS (lux) | 172 | 189 | 196 | 187 | 188 | 195 | 200 | 208 | 210 | 193,89 |
| CON LA LUZ ENCENDIDA Y ABIERTA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 640 | 665 | 690 | 650 | 675 | 710 | 665 | 690 | 740 | 680,56 |
| | MINIMOS (lux) | 636 | 656 | 680 | 645 | 667 | 702 | 658 | 688 | 733 | 673,89 |
| CON LA LUZ ENCENDIDA Y CERRADA LAS PERSIANAS | MAXIMOS (lux) | 500 | 515 | 510 | 520 | 505 | 507 | 517 | 497 | 522 | 510,33 |
| | MINIMOS (lux) | 493 | 502 | 501 | 509 | 500 | 500 | 512 | 489 | 518 | 502,67 |

PROMEDIO EN LA TARDE DE NIVELES MINIMOS = 456,81 luxes

Medición en la última hora del turno: 18h00

Con los 3 valores promedios procedemos a calcular el promedio total de los niveles mínimos de las mediciones.

$$\textit{Promedio total} = 458,22\textit{luxes}$$

Por ultimo comparamos el resultado con los valores de la tabla 2 del Decreto Ejecutivo 2393 y verificamos si estamos o no sobre el nivel mínimo de iluminación.

Cálculo de instalaciones de alumbrado

• Datos de entrada

- Determinamos el **nivel de iluminancia media** (E), debido a que se realizan planos (dibujos) en las oficinas, tomamos del DECRETO 2393, tabla 2.

$$E = 500 \textit{luxes}$$

- Las dimensiones de la oficina nos sirve para calcular el **área** (S); Verificamos el gráfico en la tabla 4.

$$a = 5,00 \textit{ m (ancho)}$$

$$b = 7,50 \textit{ m (longitud)}$$

$$S = a \times b$$

$$S = 37,5 \textit{ m}^2$$

- Determinamos el **índice del local** (k, IC), el valor calculado anteriormente es:

$$k = 1,5$$

- Determinamos los **coeficientes de reflexión** de techo, paredes y suelo según la tabla 5.

El techo tiene un color claro (crema), nos da un coeficiente de reflexión: 50 %.

Las paredes tienen color claro (crema), nos da un coeficiente de reflexión: 50 %.

El suelo tiene un color oscuro (gris), nos da un coeficiente de reflexión: 10%.

- Determinamos el **factor de utilización** (η , CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores los suministran los fabricantes y lo encontramos en la figura 3.

$$\eta = 57 = 0,57$$

- Determinamos el **factor de mantenimiento (fm) o conservación** de la instalación.

En nuestro caso vamos a tomar de la tabla 6 un valor intermedio ya que se realiza una limpieza periódica a las luminarias pero se tiene suciedad ambiental.

$$fm = 70\% = 0,70$$

- En la oficina tenemos la luminaria ALBATROS PAST 525 4B, de 2 lámparas. Determinamos el flujo luminoso de la luminaria según la figura 4 del fabricante:

$$\Phi_L = 8\,900\text{ lm}$$

Según el número de lámparas de la luminaria

$$n = 2\text{ lámparas}$$

$$\Phi_L = 4\,450\text{ lm cada lámpara}$$

• Cálculos

Calculamos el flujo luminoso total necesario. Para ello aplicamos la fórmula:

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

$$E = 500\text{ luxes}$$

$$S = 37,5\text{ m}^2$$

$$\eta = 0,57$$

$$fm = 0,70$$

$$\Phi_T = 46\,992,48\text{ lm}$$

Calculamos del número de luminarias.

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

$$\Phi_T = 46\,992,48 \text{ lm}$$

$$n = 2 \text{ lámparas}$$

$$\Phi_L = 4\,450 \text{ lm}$$

$$N = 5,28$$

Aproximadamente necesitamos $N = 6$ luminarias.

• Emplazamiento de las luminarias

Una vez que hemos calculado el número mínimo luminarias procederemos a distribuir las sobre la planta del local. En nuestro caso que la planta es rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas y como se observa en la figura 6:

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

$$N_{\text{Total}} = N = 6$$

$$a = 5,00 \text{ m (ancho)}$$

$$b = 7,50 \text{ m (largo)}$$

$$N_{\text{ancho}} = 2$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \frac{\text{largo}}{\text{ancho}}$$

$$N_{\text{largo}} = 3$$

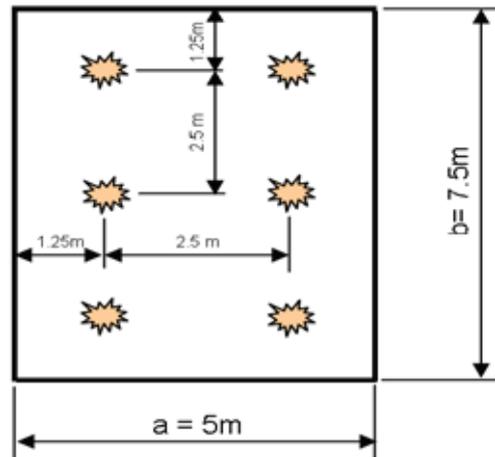


Figure 6: Plano de distribución de luminarias.

3.2. Discusión

Siendo el promedio del nivel de iluminación obtenido de 458,22 luxes trabajando en las oficinas, y el mínimo según el decreto ejecutivo 2393 es 500 luxes, el puesto de trabajo se encuentra por debajo de lo establecido, aunque exista poca diferencia, no se está cumpliendo con la normativa y la vista del trabajador se afecta a largo plazo, Según el departamento médico las consecuencias de realizar las actividades con este valor de iluminación por debajo de la norma serían principalmente trastornos oculares como dolor e inflamación en los párpados, enrojecimiento, irritación, lagrimeo, fatiga visual; lo que provocaría dolor de cabeza, cansancio, falta de concentración y disminución de productividad. Para alcanzar los 500 luxes según establece la norma, se puede probar variando diferentes factores como dimensiones del centro de trabajo; color de techo, piso, paredes; tipos de luminaria, cuyos cálculos es recomendable realizarlo para cada puesto de trabajo en los planos de diseño antes de la construcción, sin embargo en nuestro caso según los resultados obtenidos y sabiendo que ya existen las instalaciones tenemos dos opciones a tomar, primero debemos realizar un mantenimiento completo de todas las luminarias y nuevamente realizar las mediciones, ya que según los cálculos coincidan el tipo y número de luminarias, pero si no llegamos al nivel de iluminación mínima debemos tomar la segunda opción de cambiar las luminarias usadas por unas nuevas y llegaremos al nivel de iluminación recomendable, ya que los cálculos que se realizaron son considerados con luminarias nuevas.

En el trabajo investigativo de Chimborazo determinó que el 45% cumple con el nivel óptimo de iluminación y el 70 % con la Uniformidad de intensidad luminosa, es decir existe un cumplimiento parcial (22).

Lo que concuerda con Escobar quién concluye del análisis de iluminación se puede mencionar que las áreas administrativas como Facturación y RRHH tienen un problema con una baja proporcionalidad de luminarias (23).

Lo que menciona Espín en sus conclusiones de la investigación realizada en la empresa metalmecánica Maquinarias "Espín" existen diferentes tipos de riesgos, de los cuales son los físicos con nivel de riesgo intolerables, identificándose factores como deficiente iluminación en el área administrativa (24).

Además Medina determina mediante el análisis realizado a cada una de las áreas que conforman los edificios de la Empresa Eléctrica Ambato S.A., que 65 áreas del edificio institucional y 44 áreas del edificio expansión, presentan una deficiente dosis de iluminación, es decir, no cumplen con los niveles mínimos de iluminación recomendados en la NORMA UNE-EN 12464-1 (25). En cuanto al cálculo de luminarias, nos da seis y coincide con las que están dispuestas pero no alcanza para solventar el nivel mínimo de iluminación, en la investigación de Medina se llega a concluir mediante la visualización de las CURVAS ISOLUX que existe un inadecuado sistema de distribución de iluminación, originando así una defectuosa uniformidad dentro de las áreas que forman parte de los edificios, afectando directamente a las condiciones óptimas para el desarrollo de las actividades, puesto que esto no beneficia a tener un confort visual apropiado (25).

4. Conclusiones

- Luego de realizada las mediciones y obtenidos los promedios de los niveles mínimos de iluminación en las oficinas, tenemos 458,22 luxes, lo cual se encuentra bajo el nivel requerido según el DECRETO 2393 de 500 luxes, por lo que la salud de los trabajadores resulta afectada.
- El nivel bajo de iluminación se da debido a que las ventanas son muy pequeñas que no permiten el ingreso suficiente de la luz natural, y por la mañana y la noche se debe mantener las luces encendidas para tener un confort visual.
- Las seis luminarias actualmente se encuentran dispuestas correctamente según el respaldo del cálculo realizado, sin embargo no se tiene definido el tipo de luminaria que se utiliza en todas las áreas, lo que conlleva a que no se llegue al mínimo requerido.
- El desarrollo de un programa de prevención de riesgos físicos por iluminación, incluido la selección y el mantenimiento de luminarias permitirá minimizar los

daños en la salud de los trabajadores. Se debe dar mantenimiento y sustituir las luminarias planificadamente, teniendo en cuenta su duración y rendimiento, si se desea mantener el nivel de iluminación original. Hay que saber que la cantidad de luz emitida disminuye conforme aumenta la edad del equipo debido al desgaste y a la suciedad.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

References

- [1] Henao F. Riesgos físicos II: iluminación. 2a ed. Bogotá: Ecoe Ediciones; 2014.
- [2] Quintanilla-Piña R. Prevención de riesgos laborales en construcción (UF0531). Málaga: IC Editorial; 2011.
- [3] Gómez B. Manual de prevención de riesgos laborales. [Internet]. Barcelona: Marge Books; 2016. [citado 5 febrero 2018]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=5045321>.
- [4] Thornquist J. Color y luz: teoría y práctica. [Internet]. Barcelona: Editorial Gustavo Gili; 2005. [citado 5 febrero 2018]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3209643>.
- [5] García-Gil M, San Martín-Páramo R, Solano-Lamphar H. Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial. [Internet]. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya; 2012. [citado 5 febrero 2018]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3229691>.
- [6] Editorial Publicaciones Vértice, editor. Prevención de riesgos laborales. [Internet]. Málaga: Editorial Publicaciones Vértice; 2011. [citado 5 febrero 2018]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3199946>.
- [7] González-Biedma E. Prevención de riesgos laborales. (12a. ed.). Madrid: Difusora Larousse - Editorial Tecnos; 2015.
- [8] Guixà-Mora J, Soriano-Llobera J, Otero-Sierra C. Prevención de riesgos laborales. [Internet]. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya; 2013. [citado 5 febrero 2018]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3229644>.
- [9] Oviedo-Trespalacios O, Martínez-Buelvas LP, Hernández-Kligman JD, Escobar-Osorio JA. Evaluación de las condiciones de trabajo en empresas manufactureras

- de la región caribe colombiana. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia* [Internet]. 2016 [citado 16 febrero 2018]; 81: 73-80. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/23208>
- [10] Vilela-Estrada MA, Araujo Chumacero MM, Solano Zapata FE, Dávila-Adrianzén A, Mejía CR. Agudeza visual baja según residir en una ciudad rural del norte del Perú: estudio de casos y controles. *Rev. Mex. Oftalmol.* [Internet]. 2017 [citado 05 febrero 2018]; 91(4): 183-187. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mexoft.2016.05.004>.
- [11] Paho. Iluminación. [Internet]. 2010. [citado 20 Feb 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/000647/0647-12.pdf>
- [12] Paute Ayavaca FE, Carrillo Chiqui DF. Evaluación técnica de los niveles de iluminación en las áreas administrativas y aulas de postgrado de la Universidad de Cuenca. Tesis [Internet]. 2014 [citado 6 de febrero 2018]. Recuperado a partir de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20890>
- [13] Instituto ecuatoriano de seguridad social. Decreto ejecutivo 2393: Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Registro oficial 565. Ecuador: less; 1986.
- [14] Rubio-Romero JC. Métodos de evaluación de riesgos laborales. Madrid: Ediciones Díaz de Santos; 2004.
- [15] Bovea-Edo MD. Manual de seguridad e higiene industrial para la formación en ingeniería. [Internet]. Castellón de la Plana: Universidad Jaime I. Servicio de Comunicación y Publicaciones; 2011. [citado 5 febrero 2018]. Disponible en <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3217226>.
- [16] Capítulo 46 Iluminación. En: enciclopedia de la OIT. [Internet]. Madrid: D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo); 2012. [citado 31 enero 2018]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=3204478>.
- [17] López G. Análisis del sistema de iluminación. Córdoba: El Cid Editor I apuntes; 2009.
- [18] Ramos E. Métodos y Técnicas de Investigación. México: Minatitlán. 2008.
- [19] García-Fernández J, Boix-Aragonés O. Luminotecnia. Iluminación de interiores y exteriores. [Internet]. Barcelona: Editorial Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politècnica de Catalunya; 1999. [Actualizado octubre 2004; citado diciembre 2017]. Disponible en: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>
- [20] NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. México: s.n.; 2008.

- [21] Onalux. Lumenlux: Programa para calculo luminotecnico Software Gratis de Iluminación [programa informático en internet]. Versión. México: Ornalux; 2012. Disponible en: <https://ilamparas.com/ornalux/>.
- [22] Chimborazo-Chimborazo JL. Identificación de riesgos del nivel de iluminación de aulas, talleres y laboratorios de la facultad de mecánica -- Epoch bajo normas vigentes. Tesis [Internet]. 2015 [citado 6 de febrero 2018]. Recuperado a partir de: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/4180>
- [23] Escobar-Vinueza CF. Evaluación de los niveles de ruido, iluminación, temperatura y su efecto en las enfermedades profesionales en la empresa Codelitesa S.A. Tesis [Internet]. 2014 [citado 6 de febrero 2018]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/7639>
- [24] Espín-Guerrero VR. Los riesgos físicos y su incidencia en las condiciones de seguridad y salud ocupacional de los trabajadores en la empresa metalmecánica maquinarias Espín. Tesis [Internet]. 2014 [citado 6 de febrero 2018]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8095>.
- [25] Medina-Freire MA. La iluminación y su incidencia en los accidentes de trabajo dentro de los edificios institucionales de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. de la ciudad de Ambato. Tesis [Internet]. 2013 [citado 6 de febrero 2018]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3296>