

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL PARA DISEÑO DE ILUMINACIÓN EN UN HOSPITAL PÚBLICO

Recibido: 09 septiembre 2020
Aceptado: 29 de septiembre 2020

D.C Acosta Pintor¹
C. Ramírez Aguilar²
E. Vidal Becerra³
S. Ruiz Castillo⁴

RESUMEN

El propósito de esta investigación es contribuir con las acciones que la dependencia pública tiene consideradas para contribuir a su política ambiental, y con ello reducir los consumos de energía eléctrica, utilizando el cambio en la tecnología de iluminación que actualmente se maneja. Considerando que en el mes facturado más alto del año 2019 por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el hospital público, correspondió a un total de \$290,039. Con la metodología empleada de cavidad zonal se logró proponer una luminaria de mejor tecnología y de bajo consumo, con base a los resultados obtenidos sobre el número de lámparas necesarias, reduciendo 75 lámparas, lo que también impacta en la disminución del consumo y prolongará la vida útil de las mismas. Con base en los datos calculados de energía eléctrica utilizada en el hospital público, se encontró un consumo total de 3,859.56kWh mensual, equivalentes a un costo de \$11,083.82 pesos. La aplicación del método de cavidad zonal resultó favorable debido a que, con la propuesta realizada, se reduciría el 56.27% del consumo inicial, además de que la tecnología LED propuesta presenta un mayor tiempo de vida útil y menor consumo de energía. Así mismo se contribuye en un menor impacto de emisiones de carbono a la atmosfera, debido a que el hospital emite un total de 1.93tCO_{2e} por el consumo de lámparas fluorescentes de acuerdo al cálculo en la Plataforma Mexicana de Carbono, 2016. La implementación de lámparas LED genera un impacto total de 0.84tCO_{2e}, lo que significaría una disminución del 43.52% de impacto sobre el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE

Cavidad zonal, diseño de iluminación, sistema de iluminación, lámparas, luminarias, nivel de iluminación.

ABSTRACT

The purpose of this research is to contribute with the actions that the public agency has considered to contribute to its environmental policy, and thereby reduce electricity consumption, using the change in lighting technology that is currently being handled. Considering that in the highest billed month of 2019 by the Federal Electricity Commission (CFE) for the public hospital, it corresponded to a total of \$ 290,039. With the zonal cavity methodology used, it was possible to propose a luminaire with better technology and low consumption, based on the results obtained on the number of lamps needed, reducing 75 lamps, which also impacts on the decrease in consumption and will prolong life useful of them. Based on the calculated data of electrical energy used in the public hospital, a total consumption of 3,859.56kWh per month was found, equivalent to a cost of \$ 11,083.82. The application of the zonal cavity method was favorable because, with the proposal made, 56.27% of the initial consumption would be reduced, in addition to the fact that the proposed LED technology has a longer useful life and lower energy consumption. It also contributes to a lower impact of carbon emissions into the atmosphere, because the hospital emits a total of 1.93tCO_{2e} from the consumption of fluorescent lamps according to the calculation in the Mexican Carbon Platform, 2016. The implementation of lamps LED generates a total impact of 0.84tCO_{2e}, which would mean a 43.52% decrease in impact on the environment.

KEY WORDS:

-
- 1 Profesora de Tiempo Completo Programa de Estudio Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. dulce.acosta@tecvalles
 - 2 Profesor Medio Tiempo Ciencias Básicas. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. celso.ramirez@tecvalles.mx
 - 3 Profesora de Tiempo Completo Programa de Estudio Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. elia.vidal@tecvalles
 - 4 Alumno tesista programa estudios de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. 15690480@tecvalles.mx

Zonal cavity, lighting design, lighting system, lamps, luminaires, lighting level.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó para proponer un diseño de iluminación utilizando el método de cavidad zonal, para implementar en un hospital público de Ciudad Valles, S.L.P. Tomando en consideración los resultados de un estudio previo de iluminación realizado en 5 áreas de servicio denominados: Servicio Médico Primario (SMP), Servicio Médico de Apoyo (SMA), Servicios Médicos Generales (SMG), Administración del Servicio Médico (ASM) y Comunicación (C), en las cuales se incluyeron 40 secciones de servicios.

Actualmente las organizaciones buscan sistemas de iluminación de menor consumo; lo que se define como aquel sistema que además de satisfacer necesidades visuales, crea ambientes saludables, seguros y confortables, logrando que el usuario este rodeado de una atmósfera agradable y concientizando sobre el uso racional de la energía para contribuir a disminuir el consumo energético, impacto ecológico y ambiental del que tanto se habla hoy en día; todo esto por supuesto dentro de un cuadro de costos real y sensato (Raitelli, 2010).

Dentro del diseño de iluminación, se debe lograr el nivel de iluminancia requerido. La calidad, al igual la cantidad de iluminancia, es importante para producir un ambiente de iluminación confortable, productivo, y estéticamente agradable. La calidad del sistema de iluminación incluye aspectos de iluminación tales como: color apropiado, buena uniformidad, luminancias de superficie de cuarto apropiadas, control de brillo adecuado y reflejo mínimo. (Holophane, 2015)

El método de cavidad zonal es el método aceptado en la actualidad para calcular los niveles de iluminancia promedio para áreas interiores a menos que la distribución de luz sea radicalmente asimétrica. Es un método aproximado porque toma en consideración el efecto que tiene la interreflectancia sobre el nivel de iluminancia. A pesar que toma en consideración muchas variables, la premisa básica de que los footcandles (pies candela) o luxes son iguales al flujo sobre un área. (Holophane, 2011)

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló en un hospital público ubicado en Ciudad Valles, S.L.P. La investigación realizada fue del tipo cualitativa, cuantitativa y explicativa. Se considera cualitativa, debido a que se recopilaron datos del contexto natural del sitio de estudio, cuantitativa debido a que se realizaron mediciones de los niveles de iluminación (luxes) en todas las áreas operativas del hospital y se cuantifico el número de lámparas necesarias por el método de cavidad zonal. También se considera explicativa por la necesidad de encontrar la relación causa-efecto para explicar el porqué de los resultados. La metodología consistió en seis etapas:

Etapas 1. Identificación de las características físicas y operacionales de las áreas de trabajo

Fue necesario tomar datos de las principales características de las áreas de estudio, así como verificar si el área cuenta con ventanas o alguna fuente de iluminación de luz natural. Para ello se tomaron en cuenta los datos sobre color de techo, color de pared, tipo de piso, valores de reflectancia de acuerdo al color de pintura y acabado del piso de todas las áreas operativas del hospital. Para determinar los valores de reflectancia de las lámparas fue utilizada la tabla

denominada “Tabla de factores de utilización” de la marca Philips, por ser esta marca la que se adquiere por parte de los proveedores del hospital.

En esta etapa se documentaron las dimensiones del local, valores de reflectancia, localización del plano de trabajo y características operacionales tales como: horas diarias y anuales de uso del sistema; así como el nivel de iluminación recomendado para cada una de las áreas de acuerdo a la Norma NOM-025-STPS-2008 y el manual de construcción del ISSSTE (1990). Para la documentación de esta información se realizó una malla de recolección de datos en Excel de todas las áreas del hospital. El análisis de esta información fue realizado en conjunto con el personal del departamento de Residencia de Obra y Mantenimiento con la finalidad de realizar la propuesta de diseño de iluminación para las cuatro áreas más críticas detectadas por cada categoría de servicio.

Etapa 2. Cálculo del nivel de iluminación

Para realizar la medición del nivel de iluminación fue necesario llevar a cabo el procedimiento indicado en la NOM-025-STPS-2008. Antes de cada medición se dejaron encendidas las lámparas con antelación para permitir la estabilización del flujo de luz y las mediciones se realizaron en los horarios de jornada laboral normales en cada una de las áreas. Se ubicaron los puntos de medición de acuerdo a la ubicación de cada luminaria respecto al plano de trabajo, calculando el índice de área correspondiente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x + y)} \quad (1)$$

Dónde:

IC= índice de área

x= dimensiones de largo del local

y= dimensiones del ancho del local

h= altura de la luminaria con respecto al plano de trabajo

Después se dividieron las áreas de trabajo para la toma de mediciones de acuerdo a lo establecido en la NOM-025-STPS-2008, considerando la relación del índice de área y el número de zonas a evaluar. Se realizaron al menos una medición en el plano de trabajo y las lecturas fueron realizadas con un luxómetro HER-410 que cumple con el CIE (Norma de espacio de color establecido por la Comisión Internacional de Iluminación); tomando la precaución de no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro; salvo excepción de los lugares donde existan fuentes de luz natural durante la jornada de trabajo. Los resultados fueron registrados en un formato de inventario de lámparas y luminarias del hospital.

Etapa 3. Selección de la luminaria a utilizar

De acuerdo al nivel de iluminación necesaria para el área de trabajo, se seleccionó un tipo de lámpara específico, tomando en cuenta las características actuales del luminario de cada área, así como la duración en horas de operación de la lámpara, su medida tanto en longitud como en diámetro, los lúmenes y el factor de depreciación por mantenimiento.

Etapa 4. Cálculo de las relaciones de cavidad zonal

Para la realización del método de cavidad zonal, el primer paso fue obtener el valor del índice del local. Se utilizaron medidas del largo, ancho y altura que hay del plano de trabajo a la luminaria mediante la siguiente fórmula.

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (2)$$

Dónde:

k: Índice de local

a: Ancho del local en metros

b: Largo del local en metros

h: Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo en metros

Después de obtener el valor de índice de local (k) y los valores de reflexión del área se procedió a calcular el Coeficiente de utilización (Cu) y este se obtuvo con la ayuda de la tabla de factores de utilización que proporciona el fabricante de la lámpara Philips. El valor de (k) se obtiene del coeficiente de utilización que brinda la lámpara. En caso de que el valor de (k) no se encuentre en la tabla, se procede a interpolar los 2 valores en donde se encuentre el valor de (k) mediante la siguiente fórmula:

$$CU = \frac{(Vs + Vi)}{2} = "x" \quad (3)$$

Dónde:

cu: Coeficiente de utilización

Vs: Valor superior de la Tabla (*Utilisation factor table Phillips*)

Vi: Valor inferior de la Tabla (*Utilisation factor table Phillips*)

x: Resultado de la interpolación

El factor de mantenimiento (U) de las lámparas de igual manera es proporcionado por el fabricante. Se realizó el cálculo de lámparas necesarias para cubrir los luxes requeridos en cada una de las áreas operativas del hospital.

Etapa 5. Cálculo de lámparas necesarias para cubrir los Luxes en el Área

El cálculo de lámparas necesarias se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ de Lámparas} = \frac{(\text{Luxes de Norma} * \text{Area})}{(\text{Lúmenes de Lámpara} * CU * U)} \quad (4)$$

Dónde:

N° de lámparas= Total de luminarias necesarias para el área.

Luxes de la Norma= Mínimo de Luxes necesarios en base a normativa

Área= Área total del lugar

Lúmenes de lámpara= Total de lm que proporciona la lámpara

Cu= Coeficiente de utilización

U= Factor de Mantenimiento

Después de realizar los cálculos necesarios en los pasos anteriores, se procedió a resolver la fórmula anterior para obtener un número de lámparas necesarias por área.

Etapas 6. Comprobación del rendimiento de lámparas en luxes conforme a la NOM-025-STPS-2008

El cálculo para la comprobación de luminarias necesarias se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Luxes\ iniciales = \frac{N^{\circ}\ de\ luminarios * Lamparas\ por\ luminarios * lumenes\ por\ lampara * CU}{\acute{A}rea} \quad (5)$$

La resolución de la fórmula anterior ayudó a corroborar que efectivamente el número de luminarias y tipo, brindarán la iluminación necesaria para el área de trabajo. La comprobación del mismo es de gran importancia, ya que, al realizar los cálculos de los primeros pasos, en ocasiones exceden el número de luminarias o bien pueden llegar a faltar, y al realizar la comprobación se da validez al número de lámparas que realmente se necesitan.

RESULTADOS

Los resultados de cada una de las etapas de la investigación fueron los siguientes:

Etapas 1. Identificación de las características físicas y operacionales de las áreas de trabajo

Las 40 áreas evaluadas presentan las mismas características físicas, es decir; techo y muros de color blanco con acabados lisos y con niveles de reflectancia del 80 y 50% respectivamente. Mientras que los pisos todos presentaron el mismo color blanco con acabado liso y con nivel de reflectancia del 30%.

En cuanto a las características operacionales, éstas se muestran en la Tabla 1, y se identifica el área del lugar, la altura de la luminaria al plano de trabajo, el número y tipo de lámparas por área.

Tabla 1. Identificación de las características físicas y operacionales de las áreas

Área	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Altura de la luminaria al plano de trabajo	N° de Lámparas en el área	Tipo de Lámpara
Mastografía	3.9	1.8	2.75	7.02	1.85	4	Fluorescente
Pasillo Hospitalización	11.65	2.1	2.75	24.46	2	6	Fluorescente
Sala de espera hospitalización	7.3	5.9	6	43.07	5.35	12	Fluorescente
Sala de espera (consulta externa)	10.9	3.6	2.75	39.24	1.8	10	Fluorescente
	1.5	1.5		2.25		2	Foco Ahorrador
Unidad de medicina familiar	3.5	2.2	2.75	7.7	1.95	4	Fluorescente
Hemodiálisis	7.6	7	2.75	53.2	2	16	Fluorescente
Tocología	9.5	5	2.75	47.5	1.85	10	Fluorescente
Sanitario encamados	2.1	1.2	2.75	2.54	2	1	Foco Ahorrador
Sala de choque	5	4.4	2.75	22	1.85	8	Fluorescente
Cuarto obscuro	3.4	2.1	2.75	7.14	1.85	1	Foco Ahorrador

Área	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Altura de la luminaria al plano de trabajo	N° de Lámparas en el área	Tipo de Lámpara
Microbiología	5	3.2	2.75	16	1.85	8	Fluorescente
Toma de muestras	3	2.8	2.75	8.4	1.85	4	Fluorescente
Hematología	5	3	2.75	15	1.85	8	Fluorescente
Esterilización y medio de cultivo	5	2.3	2.75	11.5	1.85	4	Fluorescente
Oficina de laboratorio	2.7	1.8	2.75	4.86	1.75	2	Fluorescente
Pasillo 1 laboratorio	10.9	1.2	2.75	13.8	2	6	Fluorescente
Pasillo 2 laboratorio	13.3	3	2.75	39.9	2	16	Fluorescente
Farmacia	9.6	5.6	2.75	53.76	1.95	14	Fluorescente
Pasillo farmacia	7.8	2	2.75	15.6	2	5	Fluorescente
Sala de Espera Urgencias	5.8	4.5	2.75	26.1	2	8	Fluorescente
	3.8	2.3		8.51		2	Foco Ahorrador
	33.6	2	2.75	67.2	2	10	Fluorescente
Pasillo consulta externa	6.9	1.6	2.75	11.0	2	2	Fluorescente
				4		2	Foco Ahorrador
Sicora (cubículo)	2.6	2.4	2.75	6.24	1.95	2	Fluorescente
Sicora (unidad de abasto)	3.9	2.13	2.75	8.3	2	2	Fluorescente
Sala de espera (medicina preventiva)	13.8	3.6	2.75	49.68	2	10	Fluorescente
Sala de espera principal	8.6	8	2.75	68.8	1.8	9	Fluorescente
Oficina de conservación	4.8	3.7	2.75	17.76	1.95	8	Fluorescente
	2.7	1.65		4.45	2	2	Foco Ahorrador
Almacén general	10.5	5.8	2.75	60.9	2	24	Fluorescente
Lavandería	8.5	5	2.75	42.5	1.85	8	Fluorescente
	3.5	2		7		4	Foco Ahorrador
Pasillo (oficina de conservación)	8.5	1.4	2.75	11.9	2	6	Fluorescente
Comedor	8.4	2.8	2.75	23.52	2	11	Foco Ahorrador
	2	1		2		2	Fluorescente
Pasillo almacén general a comedor	13.4	2.1	2.75	28.14	2	8	Fluorescente
Pasillo	30.7	2.1	2.75	64.47	2	20	Fluorescente
Entrada a descanso de ambulantes	6.2	2.9	2.75	17.98	2	6	Foco Ahorrador
Archivo de radiografías(revelados)	5.1	3.9	2.75	19.89	2	6	Fluorescente
Vigencia	8.5	5.1	2.75	43.35	2	14	Fluorescente

Área	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Altura de la luminaria al plano de trabajo	N° de Lámparas en el área	Tipo de Lámpara
Entrada general	6.4	2.8	2.75	17.92	2	6	Foco Ahorrador
Planta alta (pasillos oficinas N°1)	8	1.8	2.75	14.4	2	8	Foco Ahorrador
Planta alta (pasillos oficinas N°2)	10.8	1.8	2.75	19.44	2	6	Foco Ahorrador
Planta alta (pasillos oficinas N°3)	8	1.8	2.75	14.4	2	8	Foco Ahorrador
Planta alta (pasillos oficinas N°4)	10.8	1.8	2.75	19.44	2	6	Foco Ahorrador
Área de oficinas	11.8	3	2.75	35.4		10	Fluorescente
Sala de juntas	8.2	5.6	2.75	45.92	2	16	Fluorescente
Escaleras a 2do piso	2	5	5	16.5	4.25	2	Fluorescente
Bancada de oxígeno	7.4	2.7	2.75	19.98	1.7	6	Fluorescente
R.P.B. I	3.8	3.2	2.75	12.16	1.85	1	Foco ahorrador

Etapa 2. Cálculo del nivel de iluminación

De acuerdo a los resultados en los cálculos del nivel de iluminación; el 25% de las mediciones realizadas que corresponden a 10 de las 40 áreas, no cumplen con el mínimo nivel de iluminación de acuerdo a la NOM-025-STPS-2008; con respecto al 75% que corresponde al resto de las áreas, estas presentaron un exceso de iluminación, debido a fuentes de iluminación natural o exceso de lámparas. Los niveles mínimos requeridos de acuerdo a esta norma para áreas de circulación y pasillos, salas de espera, salas de descanso y cuartos de almacén es de 100 lx, para áreas de oficina es de 300 lx, para áreas de manejo de instrumentos y equipo de laboratorio es de 500 lx.

Etapa 3. Selección de la luminaria a utilizar

La lámpara que se utiliza actualmente en el hospital corresponde a una T8 fluorescente de 32w, así como focos ahorradores de 13w en algunas áreas. De acuerdo a la equivalencia a una lámpara de 32w Fluorescente, le corresponde una lámpara LED de 15w como mínimo. Así mismo al foco ahorrador de 13w, le corresponde un foco LED de 6w, de tal manera que se decidió la elección de lámparas de 18 w con una vida útil de 30,000 horas con un factor de mantenimiento de 0.8, así como focos de 8w con vida útil de 8,000 horas con factor de mantenimiento de 0.7, ambas de la marca Philips.

Etapa 4. Cálculo de las relaciones de cavidad zonal

Los resultados obtenidos en la Tabla 2, corresponden al Índice local (IC) de cada área, con estos resultados se procedió a realizar el siguiente cálculo de cavidad zonal, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. Cálculo de las relaciones de cavidad zonal

Área	Largo	Ancho	Altura del Plano de Trabajo a la Luminaria	Resultado
Mastografía	3.9	1.8	1.85	0.6657
Pasillo Hospitalización	11.65	2.1	2	0.8896
Sala de espera hospitalización	7.30	5.90	5.35	0.6099
Sala de espera (consulta externa)	10.90	3.60	1.8	1.5034
	1.50	1.50	1.8	0.4167
Unidad de medicina familiar	3.50	2.20	1.95	0.6928
Hemodiálisis	7.60	7.00	2	1.8219
Tocología	9.5	5	1.85	1.7707
Sanitarios encamados	2.1	1.2	2	0.3818
Sala de choque	5	4.4	1.85	1.2651
Cuarto oscuro	3.4	2.1	1.85	0.7017
Microbiología	5	3.2	1.85	1.0547
Toma de muestras	3	2.8	1.85	0.7829
Hematología	5	3	1.85	1.0135
Esterilización y medio de cultivo	5	2.3	1.85	0.8515
Oficina de laboratorio	2.7	1.8	1.75	0.6171
Pasillo 1 laboratorio	10.9	1.2	2	0.5405
Pasillo 2 laboratorio	13.3	3	2	1.2239
Farmacia	9.6	5.6	1.95	1.8138
Pasillo farmacia	7.8	2	2	0.7959
Sala de Espera Urgencias	5.8	4.5	2	1.2670
	3.7	2.3	2	0.7092
Pasillo consulta externa	33.6	2	2	0.9438
Sicora (Pasillo dentro)	6.9	1.6	2	0.6494
	6.9	1.6	2	0.6494
Sicora (cubículo)	2.6	2.4	1.95	0.6400
Sicora (unidad de abasto)	3.9	2.13	2	0.6888
Sala de espera (medicina preventiva)	13.8	3.6	2	1.4276
Sala de espera principal	8.6	8	1.8	2.3025
Oficina de conservación	4.8	3.7	1.95	1.0715
	2.7	1.65	2	0.5121
Almacén general	10.5	5.8	2	1.8681
Lavandería	8.5	5	1.75	1.7989
	3.5	2	1.85	0.6880
Pasillo (oficina de conservación)	8.5	1.4	2	0.6010
Comedor	8.4	2.8	2	1.0500
	2	1	2	0.3333
Pasillo almacén general a comedor	13.4	2.1	2	0.9077
Pasillo	30.7	2.1	2	0.9828
Entrada a descanso de ambulantes	6.2	2.9	2	0.9879
Archivo de radiografías (revelados)	5.1	3.9	2	1.1050
Vigilancia	8.5	5.1	2	1.5938
Entrada general	6.4	2.8	2	0.9739
Planta alta (pasillos oficinas N°1)	8	1.8	2	0.7347
Planta alta (pasillos oficinas N°2)	10.8	1.8	2	0.7714
Planta alta (pasillos oficinas N°3)	8	1.8	2	0.7347
Planta alta (pasillos oficinas N°4)	10.8	1.8	2	0.7714
Área de oficinas	11.8	3	2	1.1959
Sala de juntas	8.2	5.6	2	1.6638
Escaleras a 2do piso	5	3.3	4.25	0.4678
Bancada de oxígeno	7.4	2.7	1.7	1.1637
R.P.B. I	3.8	3.2	1.85	0.9390

Etapa 5. Cálculo de lámparas necesarias para cubrir los Luxes en el Área

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Tabla 3, el número de luminarias que inicialmente se cuantificaron en el hospital fueron de 307 lámparas fluorescentes tipo T8 y 69 Focos ahorradores, sumando 376 en total. Con la aplicación del método de cavidad zonal, se obtiene una propuesta de uso de 228 Lámparas T8 LED y 73 Focos LED dando como total una suma de 301 lámparas. Con este número se lograría una disminución del 19.94% de lámparas, además de economizar el consumo de energía, de 32w a 18w en lámparas y de 13w a 8w en focos. Con el cambio de tecnología LED se obtiene también mayor tiempo de vida útil de las mismas.

Tabla 3. Cálculo de número de lámparas necesarias por cavidad zonal

Área	Luxes conforme a la Norma	Área	lúmenes por lámpara	Coefficiente de Utilización	Factor de mantenimiento	Resultado de numero de lámparas necesarias
Mastografía	200	7.02	1850	0.45	0.8	2
Pasillo Hospitalización	100	24.465	1850	0.54	0.8	3
Sala de espera hospitalización	200	43.07	1850	0.4	0.8	15
Sala de espera (consulta externa) +	200	39.24	1850	0.765	0.8	7
	200	2.25	800	0.7	0.7	1
Unidad de medicina familiar	300	7.7	1850	0.4	0.8	4
Hemodiálisis	200	53.2	1850	0.765	0.8	9
Tocología	300	47.5	1850	0.765	0.8	13
Sanitario encamados	100	2.52	800	0.7	0.7	1
Sala de choque	400	22	1850	0.615	0.8	10
Cuarto obscuro	75	7.14	800	0.7	0.7	1
Microbiología	400	16	1850	0.615	0.8	7
Toma de muestras	400	8.4	1850	0.5	0.8	5
Hematología	400	15	1850	0.58	0.8	7
Esterilización y medio de cultivo	400	11.5	1850	0.54	0.8	6
Oficina de laboratorio	200	4.86	1850	0.4	0.8	2
Pasillo 1 laboratorio	100	13.08	1850	0.4	0.8	2
Pasillo 2 laboratorio	100	39.9	1850	0.615	0.8	4
Farmacia	300	53.76	1850	0.765	0.8	14
Pasillo farmacia	100	15.6	1850	0.5	0.8	2
Sala de Espera Urgencias	200	26.1	1850	0.765	0.8	5
	200	8.51	1850	0.5	0.8	2

Área	Luxes conforme a la Norma	Área	lúmenes por lámpara	Coefficiente de Utilización	Factor de mantenimiento	Resultado de numero de lámparas necesarias
Pasillo consulta externa	100	67.2	1850	0.54	0.8	8
Sicora (Pasillo dentro)	100	11.04	1850	0.4	0.8	2
	100	11.04	800	0.7	0.7	3
Sicora (cubículo)	200	6.24	1850	0.4	0.8	2
Sicora (unidad de abasto)	200	8.307	1850	0.4	0.8	3
Sala de espera (medicina preventiva)	200	49.68	1850	0.685	0.8	10
Sala de espera principal	200	68.8	800	0.7	0.7	9
Oficina de conservación	300	17.76	1850	0.615	0.8	6
	100	4.455	800	0.4	0.7	2
Almacén general	200	60.9	1850	0.765	0.8	11
Lavandería	100	42.5	1850	0.765	0.8	4
	100	7	1850	0.4	0.8	1
Pasillo (oficina de conservación)	100	11.9	1850	0.4	0.8	2
Comedor	200	23.52	800	0.7	0.7	12
	200	2	1850	0.4	0.8	1
Pasillo almacén general a comedor	100	28.14	1850	0.54	0.8	4
Pasillo	100	64.47	1850	0.54	0.8	8
Entrada a descanso de ambulantes	200	17.98	800	0.7	0.7	9
Archivo de radiografías(revelados)	200	19.89	1850	0.615	0.8	4
Vigencia	300	43.35	1850	0.765	0.8	11
Entrada general	300	17.92	800	0.7	0.7	14
Planta alta (pasillos oficinas N°1)	100	14.4	800	0.7	0.7	4
Planta alta (pasillos oficinas N°2)	100	19.44	800	0.7	0.7	5
Planta alta (pasillos oficinas N°3)	100	14.4	800	0.7	0.7	4
Planta alta (pasillos oficinas N°4)	100	19.44	800	0.7	0.7	5
Área de oficinas	300	35.4	1850	0.765	0.8	9
Sala de juntas	300	45.92	1850	0.765	0.8	12
Escaleras a 2do piso	200	16.5	1850	0.4	0.8	6
Bancada de oxígeno	200	19.98	1850	0.615	0.8	4

Área	Luxes conforme a la Norma	Área	lúmenes por lámpara	Coefficiente de Utilización	Factor de mantenimiento	Resultado de número de lámparas necesarias
R.P.B. I	50	12.16	800	0.7	0.7	2

Etapa 6. Comprobación del rendimiento de lámparas en luxes conforme a la NOM-025-STPS-2008

Los resultados calculados en la Tabla 4, corresponden al número de luxes obtenidos mediante la aplicación de las lámparas LED, de igual manera se presenta un resultado correspondiente a los luxes que se requieren con base a la norma, y los obtenidos con las nuevas lámparas, se presentó un resultado del consumo de lámparas, especificando si se consumieron más lámparas o se mantuvieron. Inicialmente, de los resultados del nivel de luxes por cada área, solo el 25% representaba una deficiencia de iluminación, y el 75% un exceso del mismo. La comprobación sirvió para conocer si las luminarias propuestas proporcionarán la iluminación correcta para cada área con base en la diferencia de luxes obtenidos por las lámparas LED y la NOM-025-STPS-2008.

Tabla 4. Comprobación del rendimiento de lámparas

Áreas	N° Luminarias	lámparas por luminaria	lúmenes por lámpara	Coefficiente de utilización	Área	Luxes obtenidos	El consumo de lámparas	Diferencia de Luxes Ob. Vs NOM-025
Mastografía	1	2	1850	0.45	7.02	237.18	Disminuyó	37.18
Pasillo Hospitalización	1.5	2	1850	0.54	24.465	122.50	Disminuyó	22.50
Sala de espera hospitalización	6	2	1850	0.4	43.07	206.18	Se mantuvo	6.18
Sala de espera (consulta externa "curaciones")	3	2	1850	0.765	39.24	216.40	Disminuyó	16.40
	1	1	800	0.7	2.25	248.89	Disminuyó	48.89
Unidad de medicina familiar	2	2	1850	0.4	7.7	384.42	Se mantuvo	84.42
Hemodiálisis	4	2	1850	0.765	53.2	212.82	Disminuyó	12.82
Tocología	5.5	2	1850	0.765	47.5	327.74	Aumentó	27.74
Sanitario encamados	1	1	800	0.7	2.52	222.22	Se mantuvo	122.22
Sala de choque	4	2	1850	0.615	22	413.73	Se mantuvo	13.73
Cuarto oscuro	1	1	800	0.7	7.14	78.43	Se mantuvo	3.43
Microbiología	3	2	1850	0.615	16	426.66	Disminuyó	26.66
Toma de muestras	2	2	1850	0.5	8.4	440.48	Se mantuvo	40.48
Hematología	3	2	1850	0.58	15	429.20	Disminuyó	29.20
Esterilización y medio de cultivo	2.5	2	1850	0.54	11.5	434.35	Aumentó	34.35

Áreas	Nº Luminarias	lámparas por luminaria	lúmenes por lámpara	Coefficiente de utilización	Área	Luxes obtenidos	El consumo de lámparas	Diferencia de Luxes Ob. Vs NOM-025
Oficina de laboratorio	1	2	1850	0.4	4.86	304.53	Se mantuvo	104.53
Pasillo 1 laboratorio	1	2	1850	0.4	13.08	113.15	Disminuyó	13.15
Pasillo 2 laboratorio	2	2	1850	0.615	39.9	114.06	Disminuyó	14.06
Farmacia	6	2	1850	0.765	53.76	315.90	Disminuyó	15.90
Pasillo farmacia	1	2	1850	0.5	15.6	118.59	Disminuyó	18.59
Sala de Espera Urgencias	2	2	1850	0.765	26.1	216.90	Disminuyó	16.90
	1	2	1850	0.5	8.51	217.39	Se mantuvo	17.39
Pasillo consulta externa	4	2	1850	0.54	67.2	118.93	Disminuyó	18.93
Sicora (Pasillo dentro)	1	2	1850	0.4	11.04	134.06	Se mantuvo	34.06
	2	1	800	0.7	11.04	101.45	Se mantuvo	1.45
Sicora (cubículo)	1	2	1850	0.4	6.24	237.18	Se mantuvo	37.18
Sicora (unidad de abasto)	1.5	2	1850	0.4	8.307	267.24	Aumentó	67.24
Sala de espera (medicina preventiva)	4.5	2	1850	0.685	49.68	229.57	Disminuyó	29.57
Sala de espera principal	25	1	800	0.7	68.8	203.49	Aumentó	3.49
Oficina de conservación	2.5	2	1850	0.615	17.76	320.31	Disminuyó	20.31
	2	1	800	0.4	4.455	143.66	Se mantuvo	43.66
Almacén general	5	2	1850	0.765	60.9	232.39	Disminuyó	32.39
Lavandería	2	2	1850	0.765	42.5	133.20	Disminuyó	33.20
	1	1	1850	0.4	7	105.71	Disminuyó	5.71
Pasillo (oficina de conservación)	1	2	1850	0.4	11.9	124.37	Disminuyó	24.37
Comedor	9	1	800	0.7	23.52	214.29	Disminuyó	14.29
	1	1	1850	0.4	2	370.00	Disminuyó	170.00
Pasillo almacén general a comedor	1.5	2	1850	0.54	28.14	106.50	Disminuyó	6.50
Pasillo	4	2	1850	0.54	64.47	123.96	Disminuyó	23.96
Entrada a descanso de ambulantes	7	1	800	0.7	17.98	218.02	Aumentó	18.02
Archivo de radiografías (revelados)	2	2	1850	0.615	19.89	228.81	Disminuyó	28.81
Vigencia	5	2	1850	0.765	43.35	326.47	Disminuyó	26.47
Entrada general	10	1	800	0.7	17.92	312.50	Aumentó	12.50
Planta alta (pasillos oficinas N°1)	1.5	2	800	0.7	14.4	116.67	Disminuyó	16.67
Planta alta (pasillos oficinas N°2)	2	2	800	0.7	19.44	115.23	Disminuyó	15.23

Áreas	Nº Luminarias	lámparas por luminaria	lúmenes por lámpara	Coefficiente de utilización	Área	Luxes obtenidos	El consumo de lámparas	Diferencia de Luxes Ob. Vs NOM-025
Planta alta (pasillos oficinas N°3)	1.5	2	800	0.7	14.4	116.67	Disminuyó	16.67
Planta alta (pasillos oficinas N°4)	2	2	800	0.7	19.44	115.23	Disminuyó	15.23
Área de oficinas	4	2	1850	0.765	35.4	319.83	Disminuyó	19.83
Sala de juntas	5	2	1850	0.765	45.92	308.20	Disminuyó	8.20
Escaleras a 2do piso	2.5	2	1850	0.4	16.5	224.24	Aumento	24.24
Bancada de oxígeno	2	2	1850	0.615	19.98	227.78	Disminuyó	27.78
R.P.B. I	2	1	800	0.7	12.16	92.11	Aumentó	42.11

CONCLUSIONES

El total de lámparas fluorescentes actuales tipo T8 de 32w es de 307, la cuales generaron un consumo de 9.824 kw en una hora, ya que, en el hospital, en su mayoría todas las lámparas operan por 12 horas continuas. El total correspondiente al consumo fue de 117.8888 kWh. En un período de un mes de 30 días, el hospital consume un total de 3,536.64kwh equivalentes a \$10,156.47. Así mismo, el total de focos ahorradores de 13w actualmente es de 69, los cuales generan un consumo de 0.897kw en 1 hora, lo que equivale a 10.764kwh en un turno de 12 horas y un consumo total al final del mes de 322.92kwh equivalentes a \$927.35. De este análisis se obtiene un total de \$11,083.82 en consumo general por concepto de toda la iluminación de las 40 áreas del hospital.

De acuerdo al total de las lámparas obtenidas por el método de cavidad zonal, corresponde a 228 lámparas LED T8 de 18w, proyectando un consumo de acuerdo a sus especificaciones generales de 4.104kw en una hora, y en un turno de 12 horas el total sería de 49.248 kWh, con un consumo al final del mes de 1477.44kwh equivalentes a un costo de \$ 4,242.89. De igual manera el total de focos LED de 8w propuesto fue de 73, los cuales generarían un consumo de 0.584 en una hora, y en un turno de 12 horas un consumo estimado de 7.008kwh, lo cual se registraría un consumo mensual de 210.24kwh, equivalentes a un costo de \$603.76, obteniendo un gasto total de \$4,846.65 por las nuevas lámparas. Con los consumos de energía y los costos por kWh se pueden obtener ahorros de 21,711.88kwh equivalentes a \$6,237.17, lo cual corresponde a una disminución del 56.27% en los gastos generados por el consumo de energía en el sistema de iluminación. El impacto del consumo de energía en las lámparas fluorescentes puede generar un total de 1.93tCO₂e (emisiones de carbono a la atmosfera). La implementación de lámparas LED genera un impacto total de 0.84tCO₂e, lo que significaría una disminución del 43.52% de impacto sobre el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Brands, A. (2011). HOLOPLHANE Líder en Soluciones de Iluminación. México: 4 Edicion.
Brands, A. (2015). HOLOPLHANE. Principios de Iluminación. México.

- Manual del Hospital (1990). *Especificaciones Generales de Construcción*. México. Subdirección General de Obras y Mantenimiento.
- NOM-025-STPS-2008, (30 de diciembre de 2008). *Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación. México. Recuperado el 17 de enero de 2019 de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5404572&fecha=20/08/2015
- NOM-030-ENER-2016, (17 de enero de 2017). *Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. México. Recuperado el 17 de marzo de 2020 de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5469188&fecha=17/01/2017
- Lighting Philips. Recuperado el 19 de marzo del 2020. Obtenido de https://www.lighting.philips.com.mx/api/assets/v1/file/content/fp929001877312-pss-es_mx/929001877312_EU.es_MX.PROF.FP.pdf
- Lighting Philips. Recuperado el 22 de marzo del 2020. https://www.lighting.philips.com.mx/api/assets/v1/file/content/fp929002046211-pss-es_mx/929002046211_EU.es_MX.PROF.FP.pdf
- Plataforma Mexicana de Carbono. (2016). Recuperado el 28 de abril 2020 de <http://www.mexico2.com.mx/>
- Raitelli, M. (2010). Diseño de la Iluminación de Interiores. Recuperado el 20 de abril del 2020 de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap08.pdf>
- Secretaría de Energía (2015). *Estudios en Materia de Eficiencia Energética. Estudio de Eficiencia Energética en Hospitales*. México. Editado por Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF, Banco Mundial).