



Universidad Politécnica de Tulancingo

MEJORA DE PRÁCTICAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE TULANCINGO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA

Por

JOSÉ ARIEL CAMPOMANES GARCÍA

Maestría en Energías Renovables

Asesora:

M.I. Clementina Rueda Germán

Tulancingo de Bravo, Hidalgo

Enero 2017

©UPT 2017

Derechos reservados

El autor otorga a UPT el permiso de reproducir
y distribuir copias de este reporte en su totalidad
o en partes.

U

P

T

Resumen

Se cree que fue hace unos 700 mil años, en la época del Homo Erectus cuando se descubrió el fuego por primera vez, acto que pudo haber dado inicio al uso de la iluminación artificial para salir el hombre de las penumbras. Con el paso de los años los sistemas de iluminación han tenido una gran evolución y cambios completamente significativos relacionados con la revolución de las actividades humanas. Este trabajo es una propuesta de un sistema de iluminación capaz de cubrir las necesidades de luminosidad de la Universidad Politécnica de Tulancingo, permitiendo el ahorro de energía eléctrica y disminuir los consumos innecesarios para dar paso al cuidado del medio ambiente. Es por ello que en esta tesis se realiza una extensa investigación de sistemas de iluminación y su ergonomía; además, se cuantifican una serie de mediciones realizadas de los sistemas actuales y por último se proponen cambios, que pueden solucionar las necesidades existentes en el sistema de iluminación, pretendiendo un cambio en la tecnología actual que permitirá el cuidado el ahorro de energía.

Agradecimientos

A mis padres Genaro Campomanes y Patricia García Reyes ya que gracias a sus consejos y los valores que me han inculcado soy la persona que soy, por el cariño brindado y el esfuerzo que hicieron para darme una educación escolar. Gracias a ellos he llegado hasta donde estoy. Sobre todo a Dios, por las oportunidades que me ha brindado, que sabiamente supo guiarme para ir alcanzado todos mis objetivos.

A la mujer que tengo a mi lado Bts, quien me ha brindado su amor y apoyo incondicional, con quien he compartido tantos momentos de alegría, mi compañera de vida y de viajes, por ser mí soporte para seguir por el buen camino, motivándome a ser cada vez mejor persona.

Así también, a mi asesora de tesis la Maestra Clementina Rueda, ya que sin su esfuerzo e impulso brindado, no hubiese sido posible alcanzar otra más de mis metas. Por su paciencia y dedicación, ayudándome a crecer sabia y profesionalmente.

Índice

Contenido

Resumen	I
Agradecimientos	II
Índice	III
Tablas.....	VI
Ecuaciones	VII
Tabla de Figuras.....	VII
1 Introducción	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Estructura del documento	2
2 Estado del arte.....	4
3 Marco teórico.....	8
3.1 Antecedentes de la iluminación en el mundo	8
3.1.1 Lámparas de aceite	9
3.1.2 Iluminación a gas.....	9
3.1.3 Iluminación eléctrica	10
3.1.4 La electricidad en México	11
3.1.5 La electricidad en Tulancingo	13
3.1.6 Universidad Politécnica de Tulancingo.....	14
3.2 Sistemas de iluminación.....	16

3.2.1	Iluminación	16
3.2.2	Aspectos clave de un sistema de iluminación	21
3.2.3	Tipos de luminarias	26
3.2.4	Iluminación de la UPT.....	32
3.3	Medición de los parámetros de iluminación.....	34
3.3.1	Método de los lúmenes.....	34
3.3.2	Método del punto por punto (o de iluminancias puntuales)..	37
3.4	Análisis tarifario	38
3.4.1	Análisis de la tarifa HM (Horaria en media tensión).....	38
3.5	Ahorro de energía.....	41
3.5.1	CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía)	42
3.5.2	FIDE (Fideicomiso de ahorro de energía)	42
3.5.3	SENER (Secretaria de energía).....	43
3.6	Detectores de presencia para reducir el consumo de electricidad 43	
3.6.1	Medición de la mezcla de luz detectores de presencia.....	44
3.7	Normas Oficiales relacionadas con los niveles óptimos de iluminación	45
3.7.1	Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014. Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.....	45
3.7.2	Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.....	48
4	Medición y censo de los equipos de iluminación en la UPT	50
4.1	Histórico de energía eléctrica facturada de la UPT.....	50

4.2	Parámetros requeridos, dictados por la Norma Oficial Mexicana	51
4.3	Medición de la luminosidad en las instalaciones de la UPT	53
4.4	Censo de carga de alumbrado eléctrico por área	56
4.5	Software de apoyo para el sistema de iluminación.....	62
4.5.1	DIALux.....	62
5	Propuestas de mejora y resultados	66
5.1	Cambio de tecnología	66
5.1.1	Cambio de lámparas por tecnología LED.....	67
5.1.2	Inversión por cambio de tecnología	70
5.1.3	Costo beneficio.....	70
5.2	Implementación de Sensores de Presencia	72
5.2.1	Detectores infrarrojos	73
5.2.2	Sensor ultrasónico.....	74
5.2.3	Sensores pasivos	75
5.2.4	Detectores duales.....	75
5.2.5	Detectores de presencia para un control de la iluminación energéticamente eficiente.....	76
5.2.6	Costo de inversión.....	76
5.3	Sistema de fotocelda	78
5.4	Programación de horarios de clases	81
5.5	La importancia del factor de potencia en el sistema de iluminación.....	81
6	Conclusiones	83
7	Referencias bibliográficas.....	85

Tablas

<i>Tabla 3.1 Intensidad de iluminación de las fuentes comunes.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3.2 Especificaciones del luxómetro amprobe LM-1200</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3.3 Temperatura de la luz.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3.4 Consumos por tipo de tecnología de lámparas</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3.5 Ficha técnica lámpara curvalum 32W []</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3.6 Ficha técnica lámpara T8 32W.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 3.7 Altura para instalación de lámparas [].</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3.8 Horarios del periodo estacional de verano [15]</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3.9 Horarios del periodo por estacional de Invierno [15].....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.10 Referencias de DPEA (W/m²) según la NOM-007-Ener-2014 relacionadas con las diferentes áreas de la UPT.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 3.11 Relación entre el índice de área y el número de zonas de medición</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3.12 Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4.1 Costos de kWh para la tarifa HM</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4.2 Niveles de DPEA permitidos por la NOM 007-2014</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4.3 Resumen de la cantidad de luxes necesarios en las áreas de trabajo según la</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4.4 Medición de luxes en aula de clases en los puntos del área de trabajo</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 4.5 Niveles de iluminación de pasillo principal.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 4.6 Tabla censo de alumbrado en edificio I.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 4.7 Tabla censo de alumbrado en edificio E.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 4.8 Tabla censo de alumbrado en edificio A</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4.9 Tabla censo de alumbrado en edificio A</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.10 Tabla censo de alumbrado en edificio CIDETyP.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.11 Tabla censo de alumbrado en edificio B</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4.12 Tabla censo de alumbrado en edificio centro de información.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 4.13 Resumen de luminarias en la Universidad Politécnica de Tulancingo.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 5.1 Resumen de cargas en iluminación</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 5.2 Resumen del sistema de iluminación de UPT por tipo de tecnología.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 5.3 Ficha técnica lámpara curva LED [].</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5.4 Tubo slim T8 (9W)</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 5.5 Costo de inversión por tecnología LED.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5.6 Ahorro por sustitución de lámparas</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5.7 Consumo anual tecnología actual</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5.8 Consumos anuales LED y ahorro</i>	<i>72</i>

<i>Tabla 5.9 Sensor de presencia propuesto []</i>	77
<i>Tabla 5.10 Inversión de sensores de presencia</i>	77
<i>Tabla 5.11 Horarios del programa para apagado y encendido de iluminación exterior</i>	79
<i>Tabla 5.12 Horarios del programa para apagado y encendido de iluminación de aulas</i>	79

Ecuaciones

<i>Ecuación (1)</i>	35
<i>Ecuación (2)</i>	35
<i>Ecuación (3)</i>	37
<i>Ecuación (4)</i>	37
<i>Ecuación (5)</i>	37
<i>Ecuación (6)</i>	37
<i>Ecuación (7)</i>	38
<i>Ecuación (8)</i>	38
<i>Ecuación 9</i>	46
<i>Ecuación 10</i>	48
<i>Ecuación 11</i>	71
<i>Ecuación 12</i>	81
<i>Ecuación 13</i>	82

Tabla de Figuras

<i>Figura 3.1 Porcentajes del consumo de energía eléctrica en México [12]</i>	11
<i>Figura 3.2 Generación de energía en México [12]</i>	12
<i>Figura 3.3 Tulancingo en 1900, muestra la existencia de la energía eléctrica en la Ciudad []</i>	13
<i>Figura 3.4 Universidad Politécnica de Tulancingo año 2002[]</i>	14
<i>Figura 3.5 Universidad Politécnica de Tulancingo 2015</i>	15
<i>Figura 3.6 Incidencia de la luz</i>	17
<i>Figura 3.7 Proceso de medición del luxómetro. []</i>	19
<i>Figura 3.8 Diferencia entre el flujo luminoso e intensidad luminosa [23].</i>	20
<i>Figura 3.9 Tipos de luz según la temperatura (Luz fría-luz cálida) []</i>	22

<i>Figura 3.10 Mala aplicación de iluminación ya afectando la ergonomía visual [.]</i>	23
<i>Figura 3.11 Tipos de luminarias []</i>	27
<i>Figura 3.12 Lámpara Incandescente</i>	28
<i>Figura 3.13 Lámpara incandescente halógena</i>	29
<i>Figura 3.14 Lámpara LFC</i>	30
<i>Figura 3.15 Lámpara fluorescente</i>	30
<i>Figura 3.16 Lámpara tipo LED []</i>	31
<i>Figura 3.17 Variaciones de las lámparas LED</i>	31
<i>Figura 3.18 Cálculo de punto por punto horizontal []</i>	37
<i>Figura 3.19 Cálculo plano vertical []</i>	38
<i>Figura 3.20 Medición de la mezcla de luz*</i>	45
<i>Figura 4.1 Comparación en consumo periodo 2012-2015</i>	51
<i>Figura 4.2 Medición de luxes en aula</i>	53
<i>Figura 4.3 Medición de iluminancia en pasillos con referencia en la NOM-025-STPS 2008</i>	54
<i>Figura 4.4 Medición en aulas a la altura de mesa de trabajo</i>	55
<i>Figura 4.5 Medición en mesa de trabajo</i>	56
<i>Figura 4.13 Simulador Dialux</i>	62
<i>Figura 4.14 Programa Dialux simulación de aula de clases con incorporación de ventana</i>	63
<i>Figura 4.15 Aula de clases con mobiliario</i>	63
<i>Figura 4.16 Distribución de lámparas con niveles bajo norma</i>	64
<i>Figura 4.17 Distribución de iluminación y plano útil</i>	64
<i>Figura 4.18 Distribución de lámparas y niveles bajo norma</i>	65
<i>Figura 4.19 Posición de lámparas y en plano útil</i>	65
<i>Figura 5.1 Buena práctica en el aprovechamiento de iluminación en aulas</i>	66
<i>Figura 5.2 Sensor de presencia</i>	72
<i>Figura 5.3 Sensor de presencia infrarrojo</i>	73
<i>Figura 5.4 Desperdicio de energía en pasillo</i>	74
<i>Figura 5.5 Con la implementación en uso de sensores</i>	78
<i>Figura 5.6 Salida y puesta de sol horario de verano [28]</i>	80
<i>Figura 5.7 Salida y puesta de sol horario de invierno [28]</i>	80

1 Introducción

Debido al incremento en el consumo de energía eléctrica en la Universidad Politécnica de Tulancingo (UPT), se pretende implementar un sistema de iluminación eficiente que permita reducir el consumo de energía eléctrica.

Al realizar el estudio del sistema alumbrado de la universidad politécnica, se obtuvo que el sistema de iluminación representa el sesenta y cinco por ciento de la carga total instalada. Considerando que el porcentaje es muy representativo en el consumo eléctrico, se emiten las propuestas para conseguir una disminución del consumo eléctrico.

Como primer paso se efectuaron mediciones y conteo del equipo de alumbrado actual instalado en la universidad, con el fin de conocer el estado de los dispositivos que iluminan los diferentes sitios de la universidad, tales como salones, pasillos, sanitarios, laboratorios, áreas comunes, entre otras. En las mediciones que se llevaron a cabo se consideraron los lúmenes totales, potencia eléctrica consumida; por equipo, por áreas, por edificios, por tipo de lámparas y tipo luminarias.

En este trabajo se presentan además, propuestas para limitar y reducir el consumo eléctrico sin perder la ergonomía de cada uno de los lugares, ya que se consideran las normas mexicanas NOM007-ENER-2014, y la norma NOM-025-STPS-2008.

1.1 Objetivo general

Establecer un lineamiento de mejora para el sistema de iluminación de la UPT, con la finalidad de hacer uso eficiente de la energía eléctrica.

1.2 Objetivos específicos

- ▶ Contabilizar el sistema de iluminación (Censo de carga por área)
- ▶ Fijar el número de luxes requeridos para dar ergonomía al sitio.
- ▶ Realizar mediciones del sistema de iluminación empleando un luxómetro de acuerdo a lo establecido con la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014
- ▶ Proponer un dimensionamiento del sistema de iluminación en interiores que cumpla con los estándares de ergonomía visual.
- ▶ Plantear un sistema de sensores de iluminación para proporcionarla cantidad de luxes de acuerdo al área en específico
- ▶ Emitir recomendaciones relacionadas con sensores de luz natural en el sistema de alumbrado externo de edificios.

1.3 Estructura del documento

Este documento se encuentra dividido en capítulos de forma tal, que proporcione información relevante de la investigación realizada; así como los detalles de la instalación, conclusiones y gráficos que sustenten este trabajo de tesis.

En el capítulo 1 denominado Introducción, se plantean los objetivos generales y específicos. En el capítulo 2 se encuentra el estado del Arte el cual

entre otros temas, incluye una breve investigación acerca de los tipos y sistemas de iluminación más avanzados haciendo referencia hacia otros países en donde existe un adelanto significativo en este tema.

Para el capítulo 3 se presenta el marco teórico con el fin de tratar cada uno de los conceptos que se utilizan en esta tesis, también se analizan las normas que se deben cumplir en México, así como el tipo de tarifas y costos que aplica CFE a esta universidad. De igual forma se detalla información de los sistemas de iluminación y de los tipos de lámparas que existen actualmente en la universidad, sin olvidar la descripción del equipo empleado en las mediciones de luxes en las aulas, pasillos, oficinas y talleres.

El capítulo 4 es la parte medular ya que se expone la evidencia del trabajo de medición, así como las tablas con los resultados obtenidos en este proyecto, apoyado con gráficos de los edificios que mayor consumo presentan y la identificación de las áreas que pudieran ser susceptibles para implementar un sistema automático de iluminación y además de la propuesta para corregir las prácticas actuales de iluminación las cuales se detallan en el capítulo 5.

Las propuestas para el ahorro de energía eléctrica y resultados se describen en el capítulo 5, donde también se plantan las soluciones adecuadas para desarrollar un sistema de iluminación que facilite el encendido y apagado de este sin necesidad de intervención humana.

En el capítulo 6 se muestran las conclusiones de los resultados obtenidos así como las recomendaciones que contribuirán al ahorro de energía eléctrica.

Por ultimo en el capítulo 7 se presentan las referencias y bibliografía que soportan este proyecto.

2 Estado del arte

En este capítulo se presenta un resumen de las investigaciones enfocadas en el Ahorro de Energía en Sistemas de Iluminación y los trabajos más sobresalientes que se relacionan con esta tesis, haciendo mención de las aportaciones que tienen para este proyecto.

El primer trabajo estudiado fue el que lleva por título “Saberlite Sistema de Iluminación Basado en Ahorro de Energía” [1], en el que se describen las ventajas de incluir la tecnología Saber Lite para ahorro de energía aplicada en una tienda comercial, mediante la instalación de lámparas fluorescentes. En este trabajo no se consideran las Normas Oficiales Mexicanas para iluminación de interiores, ni tampoco se lleva a cabo un censo de los equipos instalados en el inmueble ni la medición de luxes comparándolos con la norma para determinar si cumplían con los parámetros establecidos. Los cambios de luminarias fueron efectuadas en su totalidad, obteniendo resultados cuantitativos al insertar un mecanismo de ahorro de energía.

En el trabajo denominado “Sistema Inteligente para el Ahorro de Energía en Lámparas Fluorescentes” [2], se presenta el diseño de un balastro electrónico de alta frecuencia que permite la regulación automática de la intensidad luminosa en las lámparas fluorescentes instaladas del aula de una universidad, la desventaja analizada es la no aplicación de la NOM-007-ENER; más sin embargo, el autor presenta una ventaja importante que es el control y automatización del sistema de iluminación mediante la modulación del ancho de pulsos para el ahorro de energía, que pudiera ser empleado sin necesidad de sustituir los sistemas instalados de iluminación.

Dentro del análisis del estado actual de las tecnologías se incluye la publicación “Ahorro de energía eléctrica mediante el control proporcional integral de la iluminación” [3], con el cual se pretende reducir el consumo de energía eléctrica en recintos como bibliotecas, salones y demás áreas de uso común. En este trabajo no se hace una comparación con los niveles de reducción de iluminación, tampoco se consideran las normas aplicables a este tipo de lugares.

En “Sistemas de iluminación automática para edificios inteligentes confort visual y ahorro energético” [4], el autor plantea una alternativa para el ahorro de energía en salones mediante el control automático de la iluminación. Para el cual se desarrolla un programa y se realiza la medición de iluminación empleando sensores. Este trabajo solo se enfoca a ciertas aulas de posgrado y no se consideran todas las instalaciones del campus universitario. Lo innovador del trabajo de este autor es que presenta una comparación con el estándar internacional de IEC-12464 y además el empleo de un software para la medición de la iluminación a través de sensores que fueron colocados estratégicamente en las aulas de clases.

Se analizó de igual manera, un “Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente” [5], el principal aporte de este artículo consiste en demostrar que es posible formalizar el complejo proceso inherente al control de las variables ambientales de un edificio como temperatura, humedad, iluminación, accesibilidad, todo ello bajo un esquema que optimice el ahorro energético a fin de reducir los perfiles de carga que requieren mucho abastecimiento convencional de energía. La ventaja de este artículo es que engloba diferentes aspectos ambientales para crear un sistema experto para el control del edificio.

El impacto de la actividad universitaria sobre el medio ambiente [6], es el título del trabajo analizado en donde se hace un repaso de la situación actual

respecto a la ambientalización en todos los ámbitos de una universidad (la docencia, la investigación y la vida universitaria). Este trabajo es muy superficial y no muestra resultados detallados de la investigación. La ventaja de este trabajo se basa en las propuestas para sensibilizar al alumnado para el ahorro de energía y además de los cambios necesarios de luminarias por tecnologías más eficientes.

Otro artículo estudiado es el llamado, “Eficiencia y sostenibilidad energética en la empresa” [7], en donde se comparan las diferentes tecnologías que existieron hasta el 2008, con el propósito de evidenciar los equipos de mejor eficiencia eléctrica, además de manejar opciones de sensores para un mejor control de la iluminación en diferentes situaciones como lo son luz de día, intensidad luminosa, entre otros factores. En este estudio no se presenta un censo de cargas para hacer una comparación de costo beneficio, se mencionan normas europeas para el control de equipo eléctrico y su impacto en el medio ambiente.

Un estudio analizado para realizar una comparativa, fue el trabajo con título “Investigando el Problema del Uso de la Energía” [8] en el cual se mencionan las dificultades para hacer cambiar el pensamiento de ahorro de energía. Es un trabajo enfocado a la psicología de las personas y el entorno de fracaso de las campañas sobre ahorro de energía, el objetivo esencial mostrado es generar una solución con el fin de avanzar en el tema de ahorro de energía en el planeta.

En “Administración de energía en sistemas de iluminación” [9], se describen las partes de las luminarias; así como, los tipos de lámparas y sus consumos, ofertando una alternativa para sustitución de estas por dispositivos con mayor eficiencia energética, sin tomar en cuenta un censo de carga para comparar los costos beneficios en ahorro de energía.

“Ahorrar dinero con una iluminación mejor” [10] es el título de una investigación realizada entre un conjunto de empresas Alemanas y un investigador mexicano de la UNAM, en donde se efectúa un proyecto de ahorro de energía eléctrica consistente en la sustitución de los dispositivos de iluminación, consiguiendo ahorros hasta del 90% los cuales se encuentran relacionados con la antigüedad de las lámparas existentes. La desventaja de esta investigación, es considerar el ahorro de energía ligándolo con la consideración de niveles mínimos de luxes establecidos por la NOM-007-Ener-2014, por lo que la iluminación resultante es la mínima aceptable.

Por lo cual el estudio realizado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica de Tulancingo, tratado en este trabajo de tesis, el cual es detallado en capítulos subsecuentes, es una mezcla de propuestas de ahorro de electricidad tomando en cuenta las Normas Oficiales sobre iluminación.

3 Marco teórico

En este capítulo se presentan los elementos teóricos más significativos incluyendo definiciones, un resumen de los componentes que intervienen para el funcionamiento de una lámpara y una breve explicación de la historia de la iluminación a través del tiempo y su paso por México hasta la llegada a la Ciudad de Tulancingo, los programas de ahorro de energía eléctrica en el país y la forma en que la compañía proveedora de electricidad cobra el consumo a la Universidad Politécnica de Tulancingo.

3.1 Antecedentes de la iluminación en el mundo

Se calcula que aproximadamente hace unos 500,000 años los antepasados del hombre descubrieron el fuego, en la época prehistórica, se piensa que lo utilizaron para calentarse y cocinar sus alimentos y al ver que facilita la visibilidad en la oscuridad de las cavernas lo usaron para la iluminación mediante las llamas. De esta forma se cree que la flama fue la primera forma de iluminación artificial que se utilizó por el hombre. Se supone que hace 50,000 años apareció el primer candil, el cual pudo ser usado con combustibles, como: aceites o grasas de origen animal, los cuales se depositaban en recipientes hechos de piedra para su traslado. Hace 4,500 años en Mesopotamia, se utilizaban valvas de moluscos marinos como lámparas, o se fabricaban con formas similares en oro o alabastro [11].

Siglos más tarde se comenzaron a utilizar los tizones, que los Cretos y egipcios fueron mejorándolos, colocando paja envuelta o estopa alrededor de un pedazo de madera, embadurnadas con cera de abejas y resina, algunas veces perfumada [11].

En la antigua Grecia fueron empleados los candiles *lúchnoi* hechos con materiales como metales y cerámica. La vela se inventó en Egipto alrededor del siglo XIV AC. [11]

Es por ello que a continuación se describen algunas de los tipos de tecnologías para la iluminación que fueron utilizadas por diferentes culturas.

3.1.1 Lámparas de aceite

En Cártago y Fenicia se encontraron lámparas de aceite fabricadas en cerámica que datan del siglo X a.C., y que se dispersaron inmediatamente por todo el Mediterráneo [11].

En la antigua Roma se utilizaban como iluminación las lámparas de aceite, que se colgaban al techo con una cadena, que a lo largo del tiempo se iban decorando con labrados y ornamentos de metal. Más tarde, en la Edad Media, aparecieron otros tipos de iluminación, como las linternas con pabilos internos. La iluminación de amplios recintos se realizaba con hacheros y candelabros de hierro forjado, artesanalmente ornamentados. En 1859 se realizan en Estados Unidos las lámparas de querosén, derivado del petróleo por destilación [11].

3.1.2 Iluminación a gas

En 1795, William Murdoch, instaló un sistema de iluminación a gas de hulla para una fábrica en Inglaterra. El inventor alemán Freidrich Winzer fue la primera persona en patentar la iluminación a gas de hulla en 1804 y una "termolámpara" usando gas destilado de madera, que se patentó en 1799[11].

A comienzo del siglo XIX, la mayoría de las ciudades de Europa y Norteamérica tenían calles con este tipo de iluminación. La iluminación a gas dio lugar a la iluminación con sodio de baja presión y mercurio de alta presión en la década de 1930 y el desarrollo de la luz eléctrica la reemplazó la utilización del gas en los hogares [11].

3.1.3 Iluminación eléctrica

El químico inglés Sir Humphry Davy inventó la primera lámpara eléctrica de arco, provocaba la incandescencia de un hilo fino de platino en el aire al aplicar tensión en sus extremos para que circulase corriente. Basándose en los descubrimientos de Davy, el francés Foucault desarrolló una lámpara de arco, que por descarga eléctrica entre dos electrodos de carbón producía luz. Este método se utilizó para el alumbrado exterior en las calles [11].

En Francia, A.E. Becquerel teorizó acerca de la lámpara fluorescente en 1857. Sir Joseph Swan y Thomas Edison inventaron la primera lámpara eléctrica incandescente en la década de 1870[11].

En 1901 se inventó la lámpara de vapor de mercurio que es la precursora de la lámpara fluorescente. Just y Haran fabricaron en 1906 una lámpara con filamento de tungsteno que reemplazaba al de carbono. Un año más tarde se sustituyen con filamentos de wolframio a los de tungsteno, y en 1913 se fabricaron las primeras bombillas incandescentes rellenas con gas [11].

En 1911 Georges Claude inventó en Francia la lámpara de neón. En 1927 se patentó la lámpara fluorescente. Los bulbos de las lámparas fluorescentes están recubiertos en la parte interior para maximizar la eficiencia [11].

En este apartado se analizó la evolución que ha tenido la iluminación artificial y como ha cambiado el tipo de materiales para la fabricación de lámparas, como se ha mejorado y tratando de alargar la vida útil de estos equipos, facilitando los trabajos cotidianos del hombre, siendo de mucha importancia para la vida actual. En la siguiente sección se presenta una breve historia de cómo la electricidad llegó al país y a la ciudad de Tulancingo región en donde se encuentra la universidad objeto de este estudio. De igual manera se presenta un análisis de la forma en que la empresa suministradora cobra las

tarifas con el objeto de aprovechar las bondades que estas pueden tener para el ahorro de energía.

3.1.4 La electricidad en México

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país en 1879 estuvo en León, Guanajuato [12].

Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México [12].

En la actualidad la capacidad de generación en México es de 177 centrales generadoras de energía, lo que equivale a 49,854 MW (Megawatts), incluyendo a aquellos productores independientes que por ley están autorizados para generarla [12].

Los clientes a los que se suministra energía eléctrica están divididos por su actividad de acuerdo a la Figura 3.1

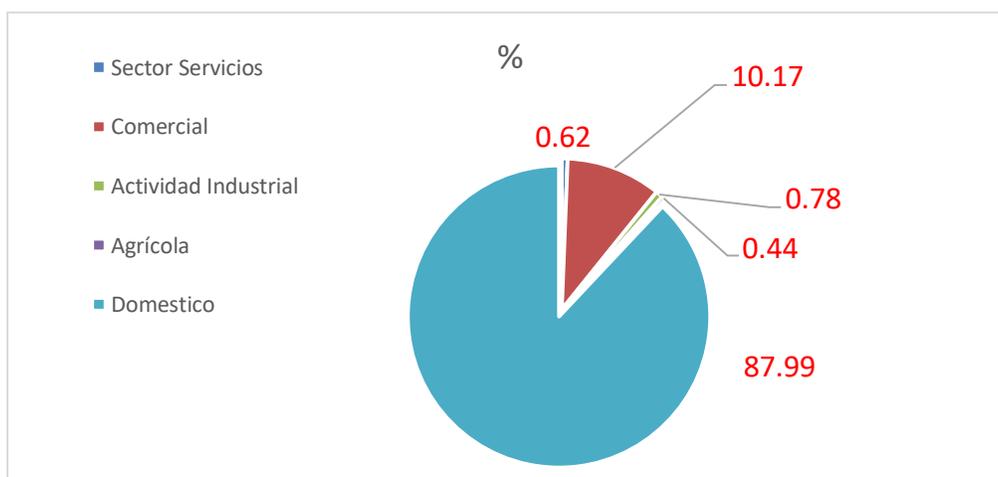


Figura 3.1 Porcentajes del consumo de energía eléctrica en México [12]

La capacidad instalada se integra con todas las formas de generación como se observa en la Figura 3.2

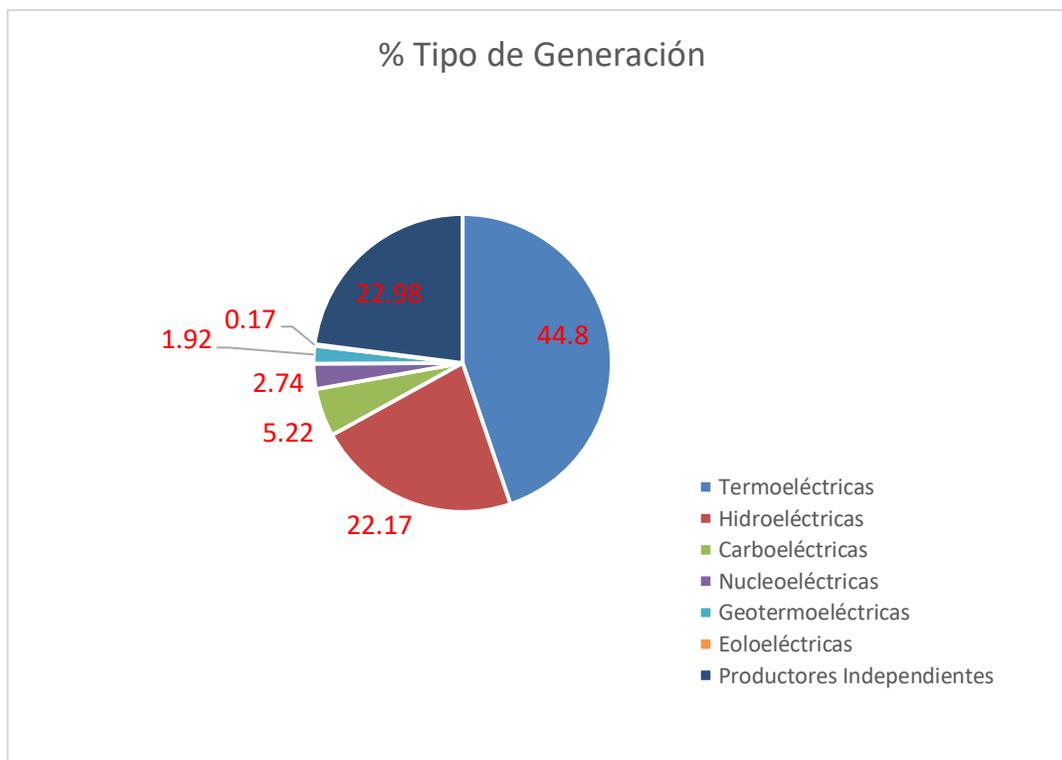


Figura 3.2 Generación de energía en México [12]

Es de gran importancia conocer que la forma mayor de generación de electricidad es a través de termoelectricas, ya que con ello se obtiene una referencia precisa del impacto que tiene el uso ineficiente de la energía y la daños que puede ocasionar al planeta.

Continuando con la incursión de la electricidad en el país, la historia dice que la electricidad llego a la ciudad de Tulancingo casi simultáneamente, que a la capital del país, ya que la ciudad de Necaxa fue unos de las primera plantas de generación y Tulancingo está justo en el paso para la ciudad de México, con lo cual se propició la llegada de la energía eléctrica [12].

3.1.5 La electricidad en Tulancingo

Se cree que fue en la época de 1900 cuando llegó la energía eléctrica al municipio de Tulancingo junto con la llegada del ferrocarril. En la fotografía de la Figura 3.3 se percibe la ciudad, con postes y circuitos de baja y mediana tensión.



Figura 3.3 Tulancingo en 1900, muestra la existencia de la energía eléctrica en la Ciudad [12]

El servicio de energía eléctrica en la Ciudad de Tulancingo jugó un papel muy importante, como en todas las ciudades del país, ya que activó la vida económica de esta, influyendo en todos los procesos y sectores productivos, permitiendo el desarrollo y éxito de la misma.

El crecimiento de la ciudad y la población disparó el consumo de la energía en todos los sectores, incluyendo el ámbito escolar, el análisis y propuestas presentadas en este trabajo de tesis son generados tomando como

referencia a la universidad Politécnica de Tulancingo de la cual se agrega una breve reseña en la sección siguiente.

3.1.6 Universidad Politécnica de Tulancingo

La universidad La Universidad Politécnica de Tulancingo (UPT), es una institución pública de educación superior, este organismo descentralizado de la administración pública del estado de Hidalgo, con personalidad jurídica y patrimonio propio y forma parte de la coordinación general de universidades tecnológicas y politécnicas, en la Figura 3.4 se puede ver una imagen de los inicios de esta universidad [14].



Figura 3.4 Universidad Politécnica de Tulancingo año 2002[14].

La UPT inicia operaciones en el 18 de Septiembre de 2002, formando parte de las 3 primeras UUPP del país. Actualmente se cuenta con una oferta educativa de: 8 Licenciaturas 7 Maestrías y un Doctorado [14].

Estadísticamente se han inscrito a la universidad 9,668 alumnos de los cuales han egresado de nivel licenciatura 2,944 alumnos y un 77% de estos se han titulado y 372 en nivel maestría referente al 26%, En la Figura 3.5 se aprecia la vista actual de esta, mostrando una gran evolución en comparación con sus inicios [14].



Figura 3.5 Universidad Politécnica de Tulancingo 2015

Haciendo una comparación entre la Figura 3.4 y la Figura 3.5 se pueden observar los cambios que ha tenido la universidad, mostrando una variación radical, ya que al incrementar notablemente su matrícula escolar, fue necesario un nuevo inmueble y por ende el consumo de energía eléctrica fue mayor, por esta razón se proponen en este trabajo opciones para disminuir el mismo.

En la sección siguiente se detalla la forma de tarifación que se aplica a la universidad, ya que es un aspecto principal con el fin visualizar los ahorros a los que pretenden llegar al aplicar las propuestas presentadas.

3.2 Sistemas de iluminación

Un sistema de iluminación comprende desde el receptor, el componente más importante que en este caso el ojo humano, hasta los componentes que emiten tal iluminación que se describirán en los siguientes subtemas.

3.2.1 Iluminación

El proceso de iluminación es percibido por uno de los sentidos más importantes del hombre, el ojo órgano receptor de la iluminación del entorno. El funcionamiento del ojo es basado en dos tipos de células fotosensibles ubicadas en la retina. Estas células son llamadas bastones y conos, estos últimos se encuentran agrupados en una pequeña área cercana a la retina. Los conos son sensibles a los niveles bajos de iluminación [15].

3.2.1.1 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa es definida como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido y su unidad de medida es la candela. [15].

Con el objeto de tener un claro ejemplo de la intensidad de iluminación en la Tabla 3.1 se enuncian los niveles de iluminación de fuentes de luz comunes.

Tabla 3.1 Intensidad de iluminación de las fuentes comunes.

Fuente	Iluminación en lux (lumen/m ²)
Luz del sol (difundida)	100,000
Sol en día nublado	10,000
Luz diurna en interiores, junto a una ventana	1
Luz diurna a la sombra, en exteriores	1,000 a 10,000
Luz de la luna	0.24
Luz de las estrellas	0.0003
Iluminación mínima recomendada donde se requiere gran atención	700

Las características propias de la iluminación y sus parámetros se describen a continuación.

3.2.1.2 Flujo Luminoso

Se define como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. También es conocido como la frecuencia del paso de la luz medida en lúmenes, es una medida del total de la luz emitida por una fuente, su unidad de medida es el lumen. [16]

3.2.1.3 Iluminancia

Es la densidad de la unidad de flujo de luz que es incidente en una superficie entre el cuadrado de las distancias, su símbolo es E y su unidad es el Lux ver Figura 3.6 [16].

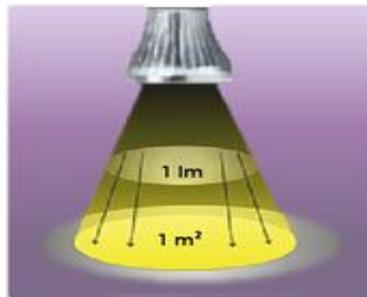


Figura 3.6 Incidencia de la luz ¹⁶

3.2.1.3.1 Lux

Es la medida métrica de iluminancia que es igual a 1 Lumen uniformemente incidente en 1 m² [16].

3.2.1.3.2 Luxómetro

El luxómetro es instrumento de medición que percibe la iluminancia real está constituido por una célula foto-eléctrica que capta la luz de un ambiente y la convierte en impulsos eléctricos que se presentan en una pantalla o mediante una aguja. En la Tabla 3.2 se establecen las especificaciones técnicas del luxómetro utilizado en el desarrollo de la medición de este proyecto.

Tabla 3.2 Especificaciones del luxómetro amprobe LM-1200

Especificaciones		
Iluminación+A4	Precisión a 23°C ± 5°C (73.4°F ± 5°F), < 75% R.H.	
Sensor	Fotodiodo de Silicio y filtro	
Medición de la frecuencia	2.5 veces por segundo	
Rango	20, 200, 2000, 20000, 200000 Lux	
	20, 200, 2000, 20000 Candelas Pie	
Exactitud	± 3% (Calibrado para lámpara incandescente estándar en 2854°K)	
	6% otras fuentes de luz visible	
	Desviación del ángulo del coseno	Características
	30°	± 2%
	60°	± 6%
	80°	± 25%
	Coseno angular corregida por JIS C 1609 : 1993 y 5119 CNS general Clase A	
Resolución	0.01 fc/lux	
Especificaciones generales		
Pantalla	Pantalla de cristal líquido de 3 3/4 (LCD) con una lectura máxima de 1999	
Frecuencia de muestreo	2.5 Veces por segundo para visualización digital	
Polaridad	Automática, positiva implícita, indicación de polaridad negativa	
Encima del rango	Muestra (OL) o (-OL)	
Cero	Automático	
Indicador de batería baja	Aparece cuando el voltaje de la batería cae por debajo del nivel operativo	
Temperatura / Humedad	Operación -10 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F); 0 to 80%RH	
	Almacenamiento -10 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F); 0 to 70%RH	
Altitud	2000m, Operación en interiores	
Batería	9V NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P Batería	
Vida de Batería	200 horas	
Apagado automático	Después de 6 min	

El principio de funcionamiento de las celdas fotoeléctricas y fotovoltaicas es la de transformar las radiaciones calóricas y visibles en electricidad. La celda fotoeléctrica basa su funcionamiento en la emisión termoiónica de electrones por los metales, cuando se ilumina el metal con una luz de longitud de onda pequeña. De esta manera es posible medir la iluminación en determinado punto sobre un área alejada de una fuente luminosa. La intensidad de la corriente que puede obtenerse con una celda fotoeléctrica es del orden de algunos micro-amperes por cada lumen de flujo luminoso [15].

El otro tipo de celda fotoeléctrica llamada celda fotovoltaica se puede observar en la Figura 3.7, en donde además se puede ver el proceso de la medición de esta celda, que está formada por una capa de óxido de cobre entre un disco de cobre y una delgada capa translúcida de oro o plata. El óxido de cobre constituye un material semiconductor (también puede ser selenio) que tiene la propiedad de emitir electrones cuando sobre una superficie incide radiación electromagnética entre 3000 y 7000 nm. Una delgada capa de unos 0.05 mm de espesor se deposita sobre una de las capas portadoras de hierro o de aluminio; el contra electrodo es también una capa de metal translucido [15].

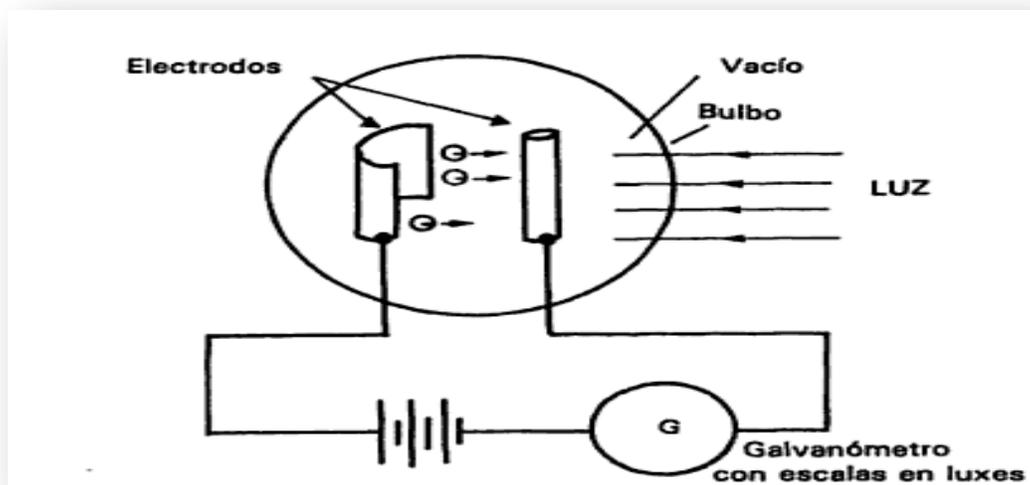


Figura 3.7 Proceso de medición del luxómetro. [15]

3.2.1.4 Luminancia

Es la luz emanando de una fuente de luz o la luz reflejada desde una superficie. En el sistema internacional, la unidad de luminancia es Candela por metro cuadrado (cd m^2) para identificar la diferencia entre el luminancia y flujo luminoso ver Figura 3.8 [16].

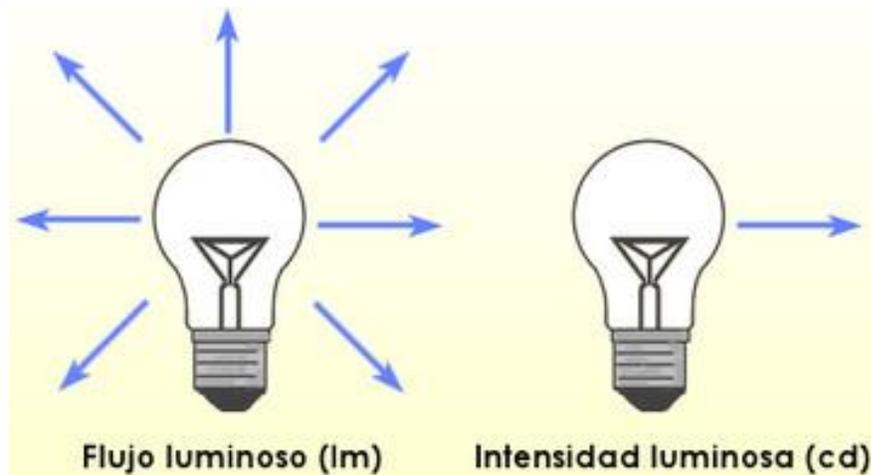


Figura 3.8 Diferencia entre el flujo luminoso e intensidad luminosa [16].

3.2.1.4.1 Candela

Es la unidad de Intensidad Luminosa, equivalente a la luz emitida por una candela (vela) patrón [16].

3.2.1.5 Brillo

Es un atributo subjetivo a la sensación visual de cualquier fuente de luz, esta incluye una gran variedad de términos como: resplandor, luz, oscuridad, penumbra, brillantez. El término brillo fue usado anteriormente como nombre de la unidad del brillo fotométrico, después el termino cambio a luminancia, reservando el término “Brillo” para designar a la sensación que producen las fuentes de luz [16].

3.2.1.6 Coeficiente de utilización (CU)

Para una habitación específica, la proporción de los lúmenes promedios entregados por una luminaria para un plano horizontal de trabajo, esto en base a los lúmenes generados por las lámparas de una sola luminaria. El plano de trabajo es usualmente considerado a una altura de 75 cm desde el piso, este valor puede cambiar dependiendo del trabajo o las condiciones requeridas para un área determinada [16].

3.2.1.7 Eficiencia

Es el valor de lúmenes por W (lm / W), indica la cantidad de lúmenes emitidos por Watt [16].

3.2.1.8 Reflectancia

La proporción de la luz reflejada por una superficie donde incide la luz. Es una aproximación de una superficie difusa. La reflectancia puede ser obtenida con un luxómetro. Es reflejo de luz en las superficies, afecta de manera notable las mediciones realizadas de la reflectancia. [16].

3.2.1.9 Curva de distribución

Es la representación gráfica del comportamiento de la potencia luminosa emitida por un luminario [16].

3.2.2 Aspectos clave de un sistema de iluminación

Los aspectos a considerar para tener una iluminación adecuada son los siguientes:

- Los sistemas de iluminación deben proporcionar comodidad visual dentro del local que se iluminará.
- Cada actividad requiere de sus propias condiciones luminosas.
- Los sistemas de Iluminación deben garantizar el confort visual.

3.2.2.1 Temperatura de la Luz

La temperatura de la luz se divide en tres grupos, cada uno con un espectro de temperatura del color individual. Como regla general, cuanto más blanca sea la luz emitida, más alto es el número de grados Kelvin como se ve en la Tabla 3.3 [17]. Donde se resume los colores de temperatura haciendo referencia a la Figura 3.9 para la especificación de grados Kelvin.

Tabla 3.3 Temperatura de la luz

Tonos de luz	Temperatura del color
Luz natural	> 5000 Kelvin
Blanco frío	3300 - 5000 Kelvin
Blanco cálido	< 3300 Kelvin

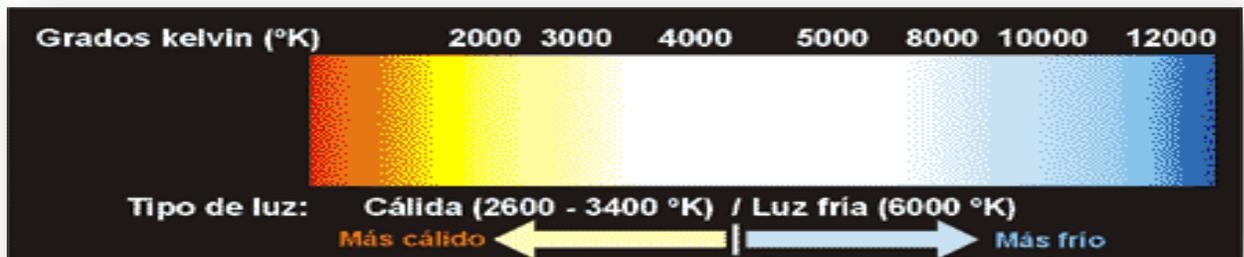


Figura 3.9 Tipos de luz según la temperatura (Luz fría-luz cálida) [18].

Se usan lámparas de 2800K aproximadamente cuando se quiere dar ambiente cálido o zona de confort con baja iluminancia, por ejemplo en habitaciones, salas, hoteles [17].

Las lámparas de temperatura de color que oscilan a los 4000K o pueden ser instaladas en las tiendas comerciales [17].

Finalmente las lámparas de 5600 K (llamadas frecuentemente luz de día) se utilizan para las zonas de ventas en las que se desea un buen

rendimiento de color o donde es necesario realizar un trabajo detallado como en talleres o fábricas.[17]

3.2.2.2 Ergonomía

Según el diccionario de la real academia española la ergonomía es el estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina [19]. Por lo que en este texto se define que la ergonomía en la iluminación, es la adaptación de la iluminancia que existe en el sistema de alumbrado de un edificio, en la Figura 3.10 se muestra un ejemplo en el que no se cumplen con las condiciones antes mencionadas.



Figura 3.10 Mala aplicación de iluminación ya afectando la ergonomía visual [20].

Por otro lado para la Asociación Internacional de Ergonomía, la ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona [21].

Según la Asociación Española de Ergonomía, es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar [21].

El objetivo de la ergonomía es adaptar el trabajo a las capacidades y posibilidades del ser humano. Todos los elementos de trabajo ergonómicos se diseñan teniendo en cuenta quiénes van a utilizarlos [21].

3.2.2.2.1 Clasificación de la ergonomía

La ergonomía se puede clasificar en las siguientes áreas:

- Ergonomía de puestos / ergonomía de sistemas.
- Ergonomía de concepción o ergonomía de corrección.
- Ergonomía geométrica.
- Ergonomía ambiental.
- Ergonomía temporal o cronoergonomía.
- Ergonomía informática: hardware y software.

3.2.2.2.2 Ergonomía ambiental

La Ergonomía Ambiental es la rama de la Ergonomía, especializada en el estudio de los factores ambientales, generalmente físicos, que constituyen el entorno del sistema formado por la persona y el equipo de trabajo y su influencia en los aspectos relacionados con la seguridad, la eficiencia y la confortabilidad. Incluye el estudio de los ambientes térmico, visual, acústico, mecánico, electromagnético y de distribución del puesto de trabajo [22].

La Ergonomía Ambiental trata aquellos aspectos del ambiente físico, que descarta la higiene Industrial por no suponer un riesgo de enfermedad profesional, pero que si pueden llegar a afectar al nivel de confort en el trabajo y por tanto a la efectividad con la que este debe realizarse [22].

Entre los principales campos de actuación, dentro de esta disciplina, que deben abordarse están:

El Ambiente Visual: Para que el trabajo se lleve a cabo de forma eficaz, la visión del trabajador y la iluminación del centro de trabajo deben adecuarse de manera óptima. Hay que analizar por tanto una serie de variables que influyen sobre el entorno y el rendimiento visual del trabajador [22].

Estas variables son:

- Variables del puesto de trabajo: Tamaño, distancia, contraste, color, movimiento, reflexión lumínica, etc.
- Variables de la percepción visual: Edad del trabajador, características oculares, percepción de la profundidad de campo y cromática, etc.
- Variables de iluminación: Nivel de iluminación, distribución de la luz, deslumbramientos, definición de colores, etc.
- Variables del puesto de trabajo: Elementos que condicionan el campo visual, postura de trabajo, etc.

La ergonomía en la actualidad es fundamental para el óptimo aprovechamiento de oficinas y lugares de trabajo, como para los estudiantes y demás ámbitos. En países europeos ya se han realizado este tipo de estudios y guías para determinar los parámetros y características del sistema de iluminación así como el tipo de luminarias con las cuales un lugar debe de contar para ver si la habitación es ergonómicamente factible. Por ello en este estudio se trabaja de la mano con las normas mexicanas así como los organismos enfocados a la administración de la energía para alcanzar un ahorro en las aulas y talleres a través de propuestas con los niveles mínimos permitidos, además de determinar a través de estudios minuciosos las mejores prácticas que llevarán al ahorro de energía.

3.2.2.2.3 Objetivos de la ergonomía y de la psicología

Los principales objetivos de la ergonomía y de la psicología aplicada son los siguientes:

- Identificar, analizar y reducir los riesgos laborales (ergonómicos y psicosociales).
- Adaptar el puesto de trabajo y las condiciones de trabajo a las características del operador.
- Contribuir a la evolución de las situaciones de trabajo, no sólo bajo el ángulo de las condiciones materiales, sino también en sus aspectos socio-organizativos, con el fin de que el trabajo pueda ser realizado salvaguardando la salud y la seguridad, con el máximo de confort, satisfacción y eficacia.
- Controlar la introducción de las nuevas tecnologías en las organizaciones y su adaptación a las capacidades y aptitudes de la población laboral existente.
- Establecer prescripciones ergonómicas para la adquisición de útiles, herramientas y materiales diversos.
- Aumentar la motivación y la satisfacción en el trabajo.

3.2.3 Tipos de luminarias

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica del sistema de lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras [23].

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que

pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que deben cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Entre los componentes que más destacan de una luminaria están: el gabinete integrado por el reflector, el refractor, las lámparas, y en algunos casos también balastos [23].

En la Figura 3.11 se muestran algunos ejemplos de las luminarias que se pueden encontrar en la universidad así como en la vida cotidiana los cuales serán descritos brevemente a continuación

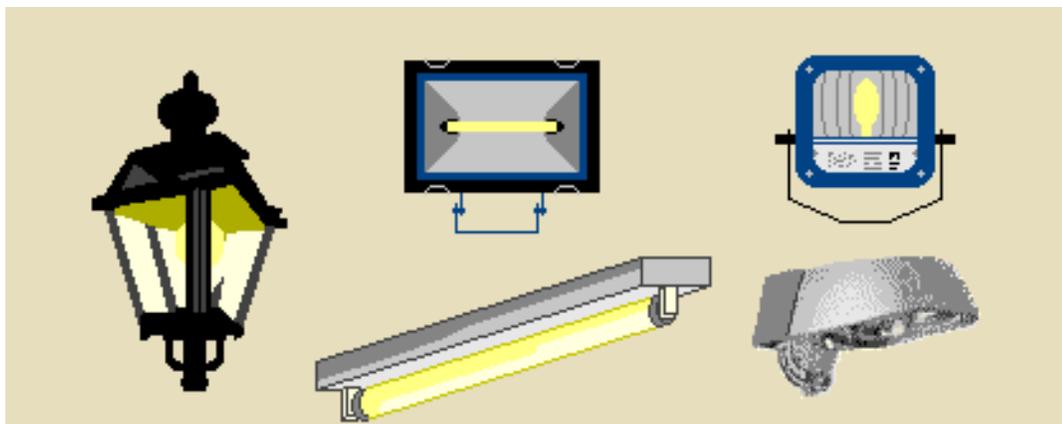


Figura 3.11 Tipos de luminarias [23]

Para pasar a la parte material del sistema de iluminación, se debe empezar con los balastos, que son los dispositivos encargados de proporcionar la corriente para operar las lámparas fluorescentes.

3.2.3.1 Lámparas incandescentes

A pesar de tener más de 130 años de su invención, en la actualidad ya está prohibida su fabricación, aún siguen siendo muy utilizadas, sobre todo en

áreas rurales o sectores con menos oportunidades económicas, esto se debe a que son fáciles de adquirir por su bajo costo.

Una de las ventajas que presentan, es que funcionan aun cuando el voltaje no alcanza la tensión de operación, proporcionando una iluminación más tenue de lo que originalmente deberían trabajar [24]. Un claro ejemplo del uso actual de este tipo de lámpara se puede ver en edificio F de la universidad Figura 3.12.



Figura 3.12 Lámpara Incandescente

3.2.3.1.1 Lámpara incandescente halógena

La incandescencia halógena ver Figura 3.13, es una variación de las lámparas incandescentes, pero con la diferencia que a esta última se le integra cierta cantidad de gas halógeno que mejora la vida y la eficacia, ya que el gas evita que se evapore el filamento de wolframio (W), además de que contienen en lugar de vidrio un cristal de cuarzo el cual es capaz de soportar las altas temperaturas necesarias para poder trabajar con el filamento de tungsteno y

alcanzar mayores resultados en cuestión de brillo, eficiencia y un tiempo de vida útil, más prolongado que las incandescentes comunes [24].



Figura 3.13 Lámpara incandescente halógena

3.2.3.2 Lámpara de descarga

Las lámparas de descarga constituyen una forma de producir luz más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. La luz se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. A diferencia de la incandescencia, la tecnología de descarga necesita un equipo auxiliar (balasto, cebador) para su funcionamiento. Según el tipo de gas y la presión a la que se somete [24].

3.2.3.3 Lámparas fluorescentes tubulares

El principio de funcionamiento de lámparas de vapor de mercurio a baja presión de elevada eficacia y vida. Las cualidades de color y su baja luminancia las hacen idóneas para interiores de altura reducida. Ocupan el segundo lugar de consumo después de las incandescentes, principalmente en oficinas, comercios, locales públicos, industrias, etc. Esto, junto a su menor diámetro

les proporciona una alta eficacia luminosa, que puede alcanzar hasta 104 lm/W ver ejemplo de esta tecnología en la Figura 3.14 y 3.15 [24].

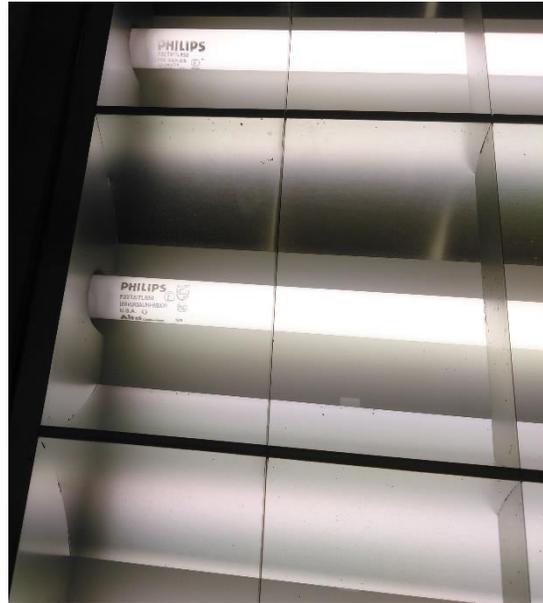


Figura 3.14 Lámpara LFC



Figura 3.15 Lámpara fluorescente

3.2.3.4 LED (Light Emitting Diode, diodos emisores de luz)

La tecnología de iluminación con LED's está basada en semiconductores que transforman la corriente eléctrica en luz, se caracterizan por tener una larga vida y un bajo consumo lo cual permite ser hasta un 60% más eficiente que una lámpara incandescente. Un ejemplo de este tipo de tecnología se observa en la Figura 3.16 y Figura 3.17 [24].



Figura 3.16 Lámpara tipo LED [25]



Figura 3.17 Variaciones de las lámparas LED

3.2.3.4.1 Eficiencia energética del LED

En la actualidad la lámpara de LED es la que mejor aprovecha la energía eléctrica, por lo que se recomienda para determinados tipos de lugares según las necesidades de iluminación. En la Tabla 3.4 se presenta un breve resumen comparativo para identificar los consumos que tiene cada tipo de tecnología.

Tabla 3.4 Consumos por tipo de tecnología de lámparas

Lúmenes (lm)	CONSUMO SEGÚN EL TIPO DE LÁMPARA W			
	LEDs	Incandescentes	Halógenas	CFL y fluorescentes
50 / 80	1.3	10	---	---
110 / 220	3.5	15	10	5
250 / 440	5	25	20	7
550 / 650	9	40	35	9
650 / 800	11	60	50	11
800 / 1500	15	75	70	18
1600 / 1800	18	100	100	20
2500 / 2600	25	150	150	30
2600 / 2800	30	200	200	40

3.2.4 Iluminación de la UPT

Dentro de los tipos de lámparas que fueron encontrados en las instalaciones de la UPT, se enumeran: incandescentes, fluorescentes, de vapor de sodio, así como lámparas de descarga. Para la propuesta de cambio de iluminación por sistemas con alta eficiencia energética se consideraron varios factores que influyen en la elección, entre estos factores se destaca el tipo de luminaria y el tipo de lámpara, de igual manera el tipo de habitación ya que este es determinante para cumplir con los requerimientos de iluminación que se deben cumplir para satisfacer las necesidades de la NOM.

Una vez que se determinan las áreas que se pretende iluminar y se establecen los lúmenes con los que se deben cumplir para crear un sistema ergonómico, se elige la posición y tipo de luminaria.

El sistema de iluminación en un plantel de educación es fundamental para el buen aprovechamiento educativo de los estudiantes debido a que si no se cuentan con los parámetros establecidos por las Normas Mexicanas se puede llegar a provocar una deficiencia lumínica que durante un tiempo de exposición prolongado perjudica la visión de los estudiantes debido al sobreesfuerzo visual.

Es importante hacer énfasis que cada una de las áreas en una institución educativa, tiene diferentes parámetros de iluminación según sea el uso de la misma.

3.2.4.1 Ficha técnica de lámparas instaladas actualmente.

En esta sección se muestran las fichas técnicas; en la Tabla 3.5 así como en la

Tabla 3.6, de las lámparas que con mayor predominancia existen en la universidad resumiendo el tipo de tecnología, potencia en Watts, así como la temperatura de la luz que emiten.

Tabla 3.5 Ficha técnica lámpara curvalum 32W [26]

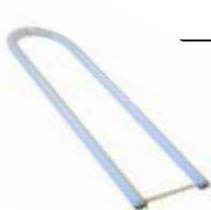
LÁMPARA FLUORESCENTE CURVALUM T8 32 WATTS 4100°	
DESCRIPCIÓN CORTA:	
Lámpara fluorescente curvalum t8 32 watts 4100°k	
- Marca: General Electric (GE) y/o Osram Sylvania.	
CARACTERÍSTICAS:	
- Lúmenes Iniciales: 2700.	
- Lúmenes Medios: 2565.	
- Promedio de vida: 20000 hrs.	
-FP: 93.7%	

Tabla 3.6 Ficha técnica lámpara T8 32W

LÁMPARA FLUORESCENTE T8 32 WATTS 4100°K	
CARACTERÍSTICAS:	
- Lúmenes Iniciales: 3100.	
- Lúmenes Medios: 2591.	
- Promedio de vida: 40000 hrs.	
- Medidas: 47.78 in (1213.61 mm).	
- Temperatura de color: 5000° K.	
- Índice de Rendimiento de Color(CRI): 82%.	
-FP: 94.5%	

3.3 Medición de los parámetros de iluminación

En esta sección se presentan las formulas necesarias para llevar a cabo los cálculos para poder determinar los puntos de colocación de las luminarias, así como los niveles de lúmenes, flujos luminosos y cantidad de luminarias necesarias, con diferentes sistemas de iluminación.

3.3.1 Método de los lúmenes

También denominado, sistema general o método del factor de utilización, el método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla para calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de $\pm 5\%$ y nos da una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación. Este método se utiliza para obtener una iluminación general y uniforme de un determinado espacio,

además es útil para conocer la cantidad de luminarias y cómo han de estar situadas [27].

3.3.1.1 Cálculo de flujo luminoso necesario

Par el cálculo del flujo luminoso se emplea la Ecuación (1)

Ecuación (1)

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

E_m = nivel de iluminación medio (en LUX)

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

S = superficie a iluminar (m^2).

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

C_u = Coeficiente de utilización (es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa, lo proporciona el fabricante de la luminaria)

C_m = Coeficiente de mantenimiento (indica el grado de conservación de una luminaria).

3.3.1.2 Cálculo del número de luminarias

La Ecuación (2) ayuda para determinar el número de luminarias

Ecuación (2)

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

NL = número de luminarias

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

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

n = número de lámparas que tiene la luminaria.

3.3.1.3 Flujo luminoso total

Para el cálculo del flujo luminoso total necesario (Φ_T) se siguen los siguientes pasos:

1. Fijar los datos de entrada de acuerdo a la Ecuación (1, se determina:
 - a) Dimensiones del local. (a, b y H)
 - b) Altura del plano de trabajo. (h')
 - c) Nivel de iluminancia media. (Em)
 - d) Elección del tipo de lámpara.
 - e) Elección del tipo de luminaria (catálogos comerciales) y su altura de suspensión.
2. Determinar el coeficiente de utilización (Cu). Según datos del fabricante de la luminaria a partir de coeficientes de reflexión y el índice del local Ecuación 10.
3. Determinar el coeficiente de mantenimiento (Cm). Según el tipo de local.
4. Establecer el número de luminarias. Ecuación (2)
5. Precisar el emplazamiento de las luminarias.
6. Comprobar los resultados (nivel de iluminación medio superior al de tablas).
- 7.

3.3.1.4 Altura de las luminarias

Para colocar las lámparas, es necesario establecer una altura adecuada, es por ello que en la Tabla 3.7, se establecen las fórmulas de acuerdo a los diferentes escenarios existentes en nuestro entorno [28].

Con el fin de que la visibilidad sea la adecuada para cada área de trabajo.

Tabla 3.7 Altura para instalación de lámparas [28].

Sitio	Altura recomendada
Locales de altura normal (Oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo <i>Ecuación (3)</i> $h = \frac{2}{3} * (h^1 - 0.85)$
	Óptimo: <i>Ecuación (4)</i> $h = \frac{4}{5} * (h^1 - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	<i>Ecuación (5)</i> $d^1 \approx \frac{1}{4} * (h^1 - 0.85)$
	<i>Ecuación (6)</i> $h \approx \frac{3}{4} * (h^1 - 0.85)$

3.3.2 Método del punto por punto (o de iluminancias puntuales)

Este método se utiliza para conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos [29]. Este método no es aplicable con tubos fluorescentes [29]. En las Figura 3.18 y 3.19, se muestran la forma para realizar el cálculo en el plano horizontal y vertical respectivamente, de acuerdo a la Ecuación (7 y la Ecuación (8).

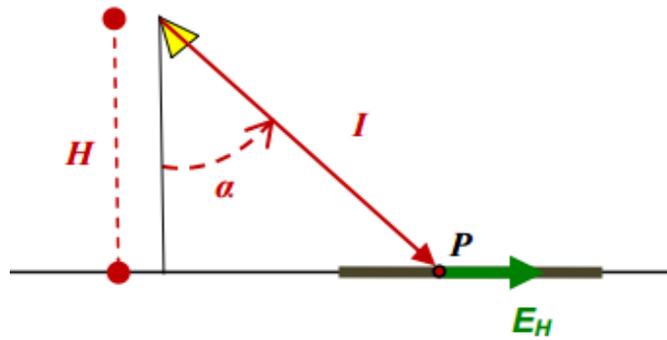


Figura 3.18 Cálculo de punto por punto horizontal [29]

Ecuación (7)

$$E_H = \frac{I * \cos^3 \alpha}{H^2}$$

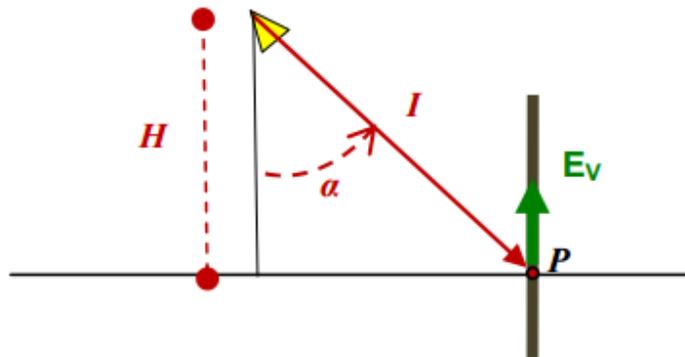


Figura 3.19 Cálculo plano vertical [29]

Ecuación (8)

$$E_V = \frac{I * \cos^2 \alpha * \text{sen} \alpha}{H^2}$$

Donde:

E_H = Nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en Lux)

E_V = Nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (en Lux)

I = Intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente. Puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades que generalmente proporciona el fabricante de luminarias.

α = Ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical que pasa por la luminaria

H = Altura del plano de trabajo a la lámpara (en m).

3.4 Análisis tarifario

En esta sección se tratan los conceptos básicos empleados por la empresa suministradora de energía para el cobro del consumo energético; además, se analiza el comportamiento del consumo eléctrico mediante histogramas, que permiten visualizar los incrementos y decrementos a través de varios periodos de tiempo.

3.4.1 Análisis de la tarifa HM (Horaria en media tensión)

La UPT se encuentra en la Tarifa HM u Horaria en Media Tensión por sus siglas; esta es de uso general, quiere decir que se puede destinar para cualquier lugar en donde se requiera media tensión de voltaje referente a 23 mil volts en corriente alterna. Para obtener este tipo de servicio, la empresa suministradora establece que la parte contratante deberá contar con una demanda energética mayor o igual a 100 kW, la UPT tiene contratados 112kW.

3.4.1.1 Cargos considerados en la facturación eléctrica

Para la facturación en la tarifa HM se consideran cuatro diferentes cargos, los cuales a su vez conforman el concepto general de energía y se enuncian a continuación [30]:

1. Demanda Facturable (kW)
2. Consumo kWh en periodo Base.
3. Consumo kWh en periodo Intermedio.
4. Consumo kWh en periodo Punta.

3.4.1.2 Periodos horarios para el cobro del suministro eléctrico

La compañía suministradora se basa en tres periodos horarios; los cuales sirven para establecer diferentes tarifas monetarias para realizar el cobro de la energía, dichos periodos son: Base, Intermedio y Punta, que cambian de

estacionalidad al igual que los horarios establecidos por el Centro Nacional de Metrología.

3.4.1.2.1 Periodo Base

El rango de horas del día que comprende este periodo va desde las 0:00 horas hasta las 6:00am. Es el periodo recomendable para el aprovechamiento eléctrico ya que es el más económico o tarifa más baja. De acuerdo a las actividades escolares de la UPT, no es posible el aprovechamiento de este periodo.

3.4.1.2.2 Periodo intermedio

Este periodo le continúa al periodo base, abarca más de 10hrs del día, considerando el horario de actividades de la UPT es el de mayor impacto en la facturación, tiene un costo intermedio como su nombre lo indica.

3.4.1.2.3 Periodo punta

Por último el horario Punta, presenta el costo de energía eléctrica más elevado, ya que en este horario la compañía suministradora de electricidad, tiene mayor demanda por lo cual, el costo de generación de energía aumenta. Si la UPT deja de utilizar la electricidad en este horario cuyo rango de horas del día es cambiante de acuerdo al periodo estacional (horario de verano e invierno) se logrará disminuir la facturación total, obteniendo ahorros sin necesidad de realizar cambios a la tecnología de iluminación actual.

3.4.1.2.4 Rango de horarios tomando en cuenta el periodo estacional.

Los periodos base, intermedio y punto, son cambiantes de acuerdo al periodo estacional, la Tabla 3.8 hace referencia al horario de verano y la Tabla 3.9 está relacionada con el de invierno [30].

Estos horarios están establecidos en el territorio nacional, excepto la franja fronteriza con los Estados Unidos de América, el horario de verano inicia el primer domingo del mes de abril a las 2:00hrs., momento en el cual los relojes se adelantan una hora y termina el último domingo del mes de octubre a las

2:00 horas. En la Tabla 3.8 se muestran los horarios y periodos de facturación correspondiente al verano.

Tabla 3.8 Horarios del periodo estacional de verano [30]

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a Viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00	20:00 - 22:00
		22:00 - 24:00	
Sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	NO HAY PUNTA
		19:00 - 24:00	
Domingo y Festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

En la Tabla 3.9 se observa la estructura del horario de invierno, que es aplicado a partir del último domingo de octubre al primer domingo de abril. Comparando con la Tabla 3.1 existe un incremento de dos horas para el periodo punta.

Tabla 3.9 Horarios del periodo por estacional de Invierno [30]

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a Viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00	18:00 - 22:00
		22:00 - 24:00	
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00	19:00 - 21:00
		21:00 - 24:00	
Domingo y Festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	NO HAY PUNTA

Una vez comprendido que los horarios son un factor que influyen en la facturación de la energía eléctrica, en la siguiente sección se explica la importancia y los alcances que tiene el ahorro de energía en el mundo y como puede beneficiar para disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmosfera, el efecto invernadero y sus consecuencias en el mundo, además del beneficio económico que obtendría la universidad.

3.5 Ahorro de energía

En México se tiene diferentes organismos que atienden a los diferentes sectores de la población del país, de acuerdo del empleo de la electricidad, dividiéndose en: uso doméstico, pequeñas y medianas empresas y grandes industrias.

Estos organismos se enfocan en un solo objetivo encaminado al ahorro de Energía Eléctrica. Todos ellos implementan diferentes programas consistentes en créditos para cambio de equipos, eficiencia energética, e incluso se realizan concursos de innovación, todo esto para lograr que disminuya el consumo de electricidad y con ello el cuidado del medio ambiente. De igual manera con el incremento de la población e industrias las necesidades de energía eléctrica han ido en aumento desenfrenadamente, requiriéndose mayor generación utilizando combustóleos, que contaminan la atmosfera por medio de las emisiones generadas por la quema del mismo, sumando la contaminación de industrias y automóviles del mundo, provocando el calentamiento global, el cual se ve reflejado en fenómenos meteorológicos causando catástrofes naturales que repercuten en la población.

En los siguientes apartados se describen los organismos y programas que se existen en México.

3.5.1 CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía)

Este organismo fue formado para establecer un fundamento que sirva como referencia en tema del ahorro de energía, tiene como objetivo central, promover la eficiencia energética y fungir como órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía. Sus principales intereses son promover el aprovechamiento sustentable de la energía, a través de la adopción de medidas y prácticas donde se implemente el uso eficiente de la energía en los diferentes sectores de la economía y la población. [31]

En la página oficial de este organismo se encuentran documentos para el ahorro de energía, de uno de ellos se tomaron algunas recomendaciones para disminuir el consumo de energía en los equipos de iluminación.

3.5.2 FIDE (Fideicomiso de ahorro de energía)

Este es otro de los programas del cual se obtuvo información para este trabajo de investigación. El Fide es un fideicomiso privado, constituido el 14 de agosto de 1990, en apoyo al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica, su objetivo es realizar acciones que permitan inducir y promover el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en industrias, comercios y servicios, MiPyMES, municipios, sector residencial y agrícola. El FIDE presta servicios de asistencia técnica a los consumidores, para mejorar la productividad, contribuir al desarrollo económico, social y a la preservación del medio ambiente. [32].

El organismo encargado de regular las cuestiones relacionadas con la energía se describe en la sección siguiente.

3.5.3 SENER (Secretaria de energía)

Este órgano tiene como objetivo conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional.[33].

3.6 Detectores de presencia para reducir el consumo de electricidad

En esta sección se tratan los detectores de presencia, también denominados PIR (detectores de presencia por infrarrojos pasivos), este tipo de dispositivo puede ser una parte fundamental para lograr ahorro de energía eléctrica en el sistema de iluminación de cualquier inmueble ya que funcionan del mismo modo que los detectores de movimiento (registran la radiación

térmica de su entorno o de su zona de detección). Si se registra radiación térmica en la zona de detección, causada, por ejemplo, por una persona que se acerca, el detector de presencia la transforma en una señal eléctrica mensurable y la luz se enciende [34]

La diferencia entre un detector de movimiento y un detector de presencia radica en la sensibilidad de los sensores. Los detectores de presencia poseen unos sensores mucho más sensibles que los detectores de movimiento y registran incluso los más mínimos movimientos. Los sensibles sensores dividen la zona de detección de un detector de presencia de forma homogénea en hasta 1000 zonas. En cambio, un detector de movimiento solamente reacciona a los cambios importantes en la imagen térmica y, por tanto, es apropiado principalmente para el uso en exteriores [35].

Otra diferencia entre los detectores de movimiento y los detectores de presencia es la medición de la luz. Un detector de movimiento mide la luminosidad una sola vez, cuando enciende la luz al detectar un movimiento. Si continúa registrando movimiento, por ejemplo por la mañana en una oficina, la luz permanece encendida a pesar de que con la luz diurna ya sería suficiente y el valor de luminosidad ajustado ya hace tiempo que se ha superado. Por el contrario, los detectores de presencia miden la luminosidad de forma permanente: Si se supera un valor de luminosidad individual ajustado, el detector de presencia apaga la luz aunque registre un movimiento [35].

Gracias a esta medición de luz permanente, el detector de presencia no sólo puede encender la luz artificial en caso de que la luz diurna sea insuficiente, sino también volver a apagar la iluminación cuando la luz diurna es suficiente. En la práctica, el detector de presencia debe ser capaz de determinar, con la luz artificial encendida, si la luz diurna va a ser suficiente una vez se haya apagado la luz artificial. Para ello hay dos métodos distintos:

medición de la mezcla de luz y medición real de luz diurna [35]. Que se explican en las secciones siguientes.

3.6.1 Medición de la mezcla de luz detectores de presencia

En la medición de la mezcla de luz, el detector de presencia mide la suma de luz artificial y luz diurna. Para apagar la luz artificial en el momento adecuado al aumentar la luz diurna, el detector de presencia debe conocer la proporción de luz artificial, ver la Figura 3.20, donde se observa el proceso que realiza. El detector determina automáticamente este valor analizando continuamente todos los procesos de conmutación de la iluminación en la habitación. Esto le permite calcular en todo momento la intensidad actual de la luz diurna a partir de la luminosidad total medida. La ventaja de la medición de la mezcla de luz radica en que ésta trabaja con todas las fuentes de luz: se pueden utilizar bombillas LED, halógenas y fluorescentes. La medición de la mezcla de luz es la base para la regulación constante de luz [35].

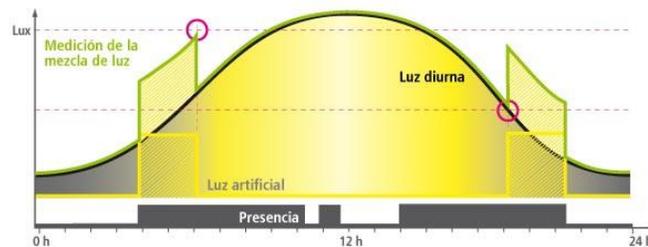


Figura 3.20 Medición de la mezcla de luz*

3.7 Normas Oficiales relacionadas con los niveles óptimos de iluminación

Las normas que dictan los niveles requeridos de iluminación se encuentran en la Norma Oficial Mexicana, las cuales son enunciadas en los apartados subsecuentes.

3.7.1 Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014. Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales

Al hablar de ahorro de energía en sistema de iluminación es necesario que se consideren las normas existentes en México, por ellos se describe la Norma Oficial Mexicana NOM 007-ENER-2014, cuya principal finalidad es establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología [36].

La Norma Oficial Mexicana hace referencia sobre los niveles de iluminación de las áreas de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado, o DPEA como se abreviará en este texto, también esta norma rige a los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales ya construidos (no nuevos) a donde se requiera realizar modificaciones y ampliaciones, con el propósito de que se diseñen y construyan de tal forma que se haga uso eficiente de la energía eléctrica utilizando equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.[37]

Además cabe destacar que en la norma se establece el método de cálculo para la determinación DPEA de los sistemas de alumbrado con el fin de verificar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana [37].

El campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana comprende los sistemas de alumbrado interior y exterior de los edificios no residenciales nuevos con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3kW; así como a las ampliaciones y modificaciones de los sistemas de alumbrado interior

y exterior con carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3kW de los edificios existentes [37]

Para determinar las DPEA se deben calcular a partir de la carga total conectada de alumbrado en relación al área total por que se pretende iluminar y se resume en la fórmula que a continuación se describe en la Ecuación 9 [37].

Ecuación 9

$$DPEA = \frac{\text{Carga Total conectada para alumbrado}}{\text{Area Total Iluminada}}$$

La DPEA está expresada en W/m², la carga total conectada para alumbrado, que incluye la potencia total del sistema de alumbrado, está expresada en Watts y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado. En la Tabla 3.10 se hace referencia a las áreas que se encuentran dentro de la universidad, las cuales no deben exceder estos niveles NOM-007 [37].

Tabla 3.10 Referencias de DPEA (W/m²) según la NOM-007-Ener-2014 relacionadas con las diferentes áreas de la UPT.

Tipo de edificio	DPEA (W/m²)
Oficinas	
Oficinas	12
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15
Establecimientos comerciales	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	15
Restaurantes	
Bares	14
Cafeterías y venta de comida rápida	15
Restaurantes	14
Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	10
Recreación y Cultura	
Salas de cine	12
Teatros	15
Centros de convenciones	15

Gimnasios y centros deportivos	14
Museos	14
Templos	14
Talleres de servicios	
Talleres de servicio para automóviles	11
Talleres	15

En el siguiente tema se establecen niveles de iluminación que deben tener las áreas de trabajo según la norma NOM-025 de la secretaria de trabajo y previsión social.

3.7.2 Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

De las normas enunciadas en el marco teórico está es la de mayor importancia, ya que es la guía fundamental para determinar los parámetros de iluminación necesarios para cada área de la universidad, ya que todos los inmuebles están obligados a cumplir las condiciones que se señalan.

Esta norma establece los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores [38].

Con el fin de realizar mediciones en el sitio de estudio, es necesario considerar los números de zonas de acuerdo a la Tabla 3.11, respetando los parámetros establecidos en la Tabla 3.12, donde se muestran los niveles mínimos de iluminación establecidos por esta norma para los diferentes puestos de trabajo, que son la principal referencia para la medición de luxes en las distintas áreas de la universidad.

Tabla 3.11 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
$1 \leq IC < 2$	9	12
$2 \leq IC < 3$	16	20
$3 \leq IC$	25	30

Con el fin de llevar a cabo lo establecido en la Tabla 3.11, es necesario tomar en cuenta la Ecuación 10:

Ecuación 10

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

Dónde:

IC = índice del área

x, y = dimensiones del área (largo y ancho) en metros.

h = altura de la luminaria respecto al plano de trabajo en metros.

Tabla 3.12 Niveles de iluminación NOM-025-STPS-2008

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

Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	2000

Como se observa en la tabla anterior se establecen niveles mínimos de iluminación (luxes) con el fin de cumplir con esta norma, de acuerdo a los diferentes sitios de trabajo.

4 Medición y censo de los equipos de iluminación en la UPT

Debido a los incrementos en la demanda de electricidad por parte de UPT y los aumentos en los costos de facturación, se propone una propuesta de reducción del consumo eléctrico enfocada a los sistemas de iluminación.

4.1 Histórico de energía eléctrica facturada de la UPT

La información histórica sirve de evidencia de la forma en que factura la empresa suministradora el servicio eléctrico y del consumo energético de la universidad. En la Tabla 4.1, se muestran los costos aplicables en el periodo Enero-Diciembre de 2015, además de los kWh empleados en el periodo punta, intermedio y base, estos datos fueron obtenidos de la página oficial de la empresa suministradora (Comisión Federal de Electricidad). La tabla se anexa con el fin de subrayar los periodos de mayor uso de energía eléctrica, estableciendo que se emplea una mayor cantidad de energía en el periodo

punta, pudiéndose disminuir el empleo de la energía si las actividades propias de la universidad se planearan para el periodo base o intermedio.

Tabla 4.1 Costos de kWh para la tarifa HM

REGIÓN	PERIODO 2015	\$ DEMANDA FACTURABLE	\$ kWh-PUNTA	\$ kWh-INTERMEDIO	\$ kWh-BASE
Sur	ENERO	\$181.85	\$1.9991	\$1.1064	\$0.9205
	FEBRERO	\$184.54	\$1.9591	\$1.0390	\$0.8644
	MARZO	\$185.41	\$1.8882	\$0.9515	\$0.7916
	ABRIL	\$186.24	\$1.8263	\$0.8785	\$0.7309
	MAYO	\$187.41	\$1.8102	\$0.8553	\$0.7116
	JUNIO	\$188.07	\$1.7834	\$0.8243	\$0.6858
	JULIO	\$188.67	\$1.7770	\$0.8148	\$0.6779
	AGOSTO	\$189.58	\$1.7889	\$0.8220	\$0.6839
	SEPTIEMBRE	\$191.27	\$1.8748	\$0.8993	\$0.7482
	OCTUBRE	\$193.74	\$1.8379	\$0.8472	\$0.7049
	NOVIEMBRE	\$194.53	\$1.7789	\$0.7840	\$0.6523
	DICIEMBRE	\$194.51	\$1.6848	\$0.6940	\$0.5774

En la Figura 4.1 se muestra el comportamiento de los últimos 3 años del consumo de energía que facturó la Universidad Politécnica de Tulancingo, para lo cual es importante destacar el notable incremento en el consumo de energía en el periodo 2014, por lo cual se tomó la iniciativa para realizar el proyecto para ahorro de energía en el sistema de iluminación [39].

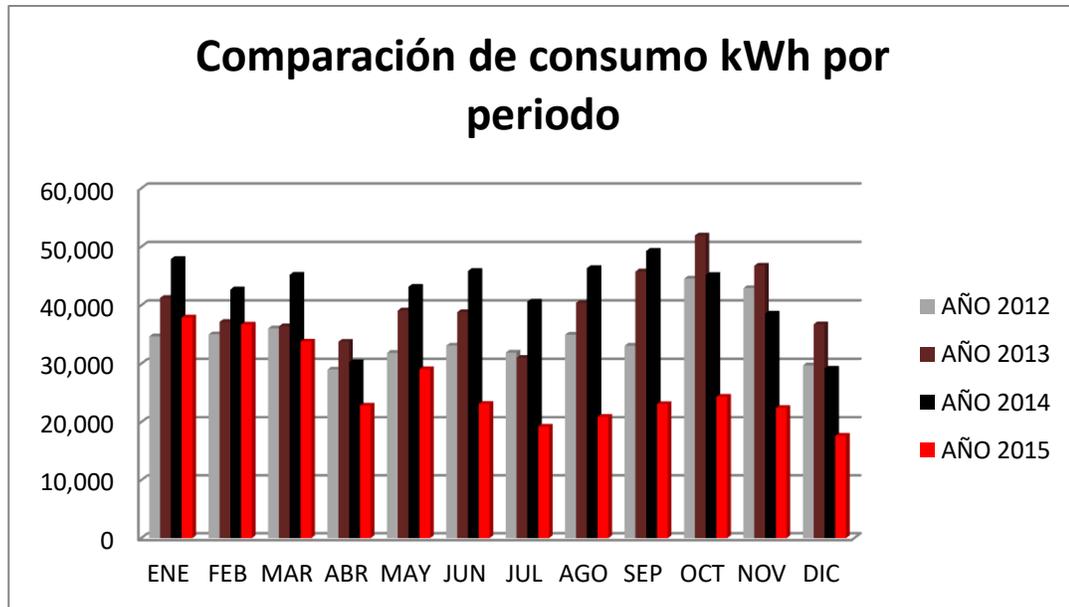


Figura 4.1 Comparación en consumo periodo 2012-2015

4.2 Parámetros requeridos, dictados por la Norma Oficial Mexicana

En particular, los edificios cubiertos por la Norma Oficial Mexicana 007, son aquellos, cuyos usos autorizados en función de las principales actividades y tareas específicas que en ellos se desarrollen, queden comprendidos dentro de los siguientes tipos: oficinas, escuelas y demás centros docentes, talleres de servicio [33].

Los valores de DPEA que deben cumplir los sistemas de alumbrado interior de los edificios indicados en el campo de aplicación de la presente Norma Oficial Mexicana, no deben exceder los valores indicados en la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3. En la Tabla 4.2 Niveles de DPEA permitidos por la NOM 007-2014 se muestran los valores DPEA necesarios de acuerdo a las diversas áreas relacionadas de la universidad.

Tabla 4.2 Niveles de DPEA permitidos por la NOM 007-2014

Tipo de Edificio	DPEA (W/m ²)
------------------	--------------------------

Oficinas	12
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15
Laboratorio Escolar	13.78
Cafeterías y venta de comida rápida	15
Pasillos	7.1
Escaleras	7.43
Sanitarios	10.55

En la Tabla 4.3 se muestra un resumen extraído de los parámetros establecidos por la NOM-025-STPS-2008, términos habituales empleados en las escuelas de México, para el caso de esta investigación sirven como base fundamental, ya que establecen los parámetros mínimos que debe tener cada una de las áreas relacionadas con la Universidad Politécnica de Tulancingo.

Tabla 4.3 Resumen de la cantidad de luxes necesarios en las áreas de trabajo según la NOM-025STPS-2008

Tipo de Edificio	LUXES
Oficinas	300
Aulas	300
Bibliotecas	300
Laboratorio Escolar	500
Cafeterías y venta de comida rápida	100
Pasillos	50
Escaleras	50
Sanitarios	50

4.3 Medición de la luminosidad en las instalaciones de la UPT

De acuerdo a los parámetros de toma de mediciones citado en el marco teórico se presenta una serie de evidencias de la forma de colocación del luxómetro (Figura 4.2) y los valores (Luxes) obtenidos, como se muestra en la Tabla 4.4 en donde el número de total de luxes es cambiante de acuerdo a la cercanía o lejanía de las luminarias en un salón de clases.



Figura 4.2 Medición de luxes en aula

Tabla 4.4 Medición de luxes en aula de clases en los puntos del área de trabajo

300	825	926	816	916	749	463	
374	585	1024	1130	1026	1153	891	535
508	667	1074	1225	1052	1213	990	619
378	626	988	1154	988	1154	923	553

La importancia de la iluminación de los pasillos es primordial para salvaguardar alumnos y personal docente, la toma de mediciones de la iluminancia se llevó a cabo de acuerdo a la evidencia fotográfica mostrada en la Figura 4.3.



Figura 4.3 Medición de iluminancia en pasillos con referencia en la NOM-025-STPS 2008

Los niveles de iluminación del pasillo principal del edificio B es mostrado en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Niveles de iluminación de pasillo principal

360
Luminaria
331
Luminaria
335
Luminaria
298
Luminaria
213
Luminaria
385

Para llevar a cabo la medición en el inmueble fue necesario recorrer edificio por edificio, aula por aula y oficina por oficina con el fin de recabar a detalle los datos y el número de equipos de alumbrado que se encontraban instalados en la universidad, así como la cantidad de luxes que emiten cada

uno de estos y de esta forma tener la relación precisa para poder hacer las propuestas para ahorro de energía.

En la Figura 4.4 se puede observar el uso del luxómetro Amprobe a una altura de 90cm de altura sobre una mesa de trabajo en un aula con un luminosidad de 520 luxes como se observa a detalle en la Figura 4.5.

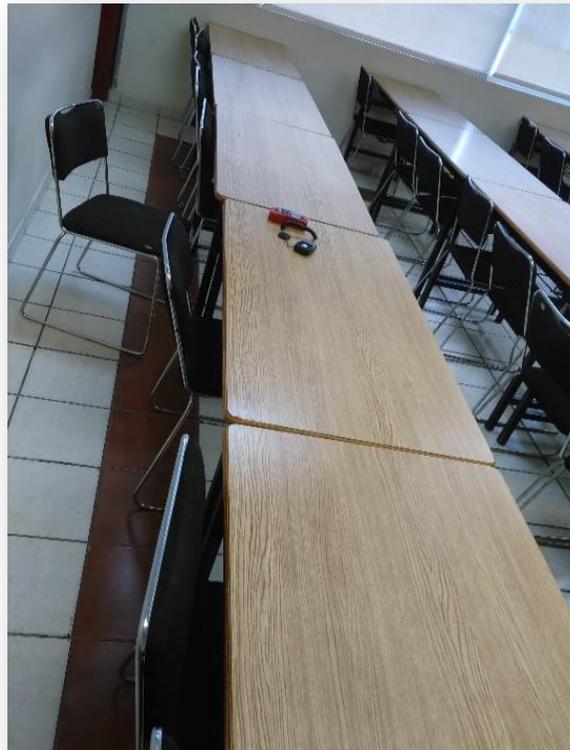


Figura 4.4 Medición en aulas a la altura de mesa de trabajo.



Figura 4.5 Medición en mesa de trabajo

La medición se realizó en todas las áreas de incidencia de luz artificial, como lo son: aulas, laboratorios, biblioteca, cafetería, oficinas, pasillos, etc. Las muestras fueron adquiridas a diferentes alturas incluyendo de igual manera a nivel de suelo, esto con el fin de obtener los valores lumínicos que existen en la universidad y poder determinar si se cumplen con los valores necesarios, tomando como base la NOM-007.

4.4 Censo de carga de alumbrado eléctrico por área

Para entender que es un censo de carga, se debe comprender que una carga es todo aquello que se encuentra conectado a un circuito eléctrico, en este caso es el alumbrado de la Universidad Politécnica de Tulancingo

Para lograr un ahorro de energía, es necesario realizar un censo de carga del sistema de iluminación y de esta forma saber cuánto potencia eléctrica está consumiendo cada lámpara conectada a la red eléctrica de la universidad. En la tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos mostrando por columnas información de relevancia, incluyendo cantidad de lámparas, modelo de lámpara, potencia en Watts, demanda consumida (kW), luxes recomendados en el área de acuerdo a las normas, Luxes medidos y DPEA's.

Tabla 4.6 Tabla censo de alumbrado en edificio I

Área	Cantidad	Equipo	Potencia Watts	Demanda kW	Luxes recomendados	Luxes medidos	DPEA's
Sanitario de hombres	3	LFC	22	0.066	50	150	11
Sanitario de mujeres	3	LFC	22	0.066	50	150	11
Salón usos múltiples	6	LVS	250	1.500	200	250	15
Pasillo exterior	1	LFC	105	0.105	100	180	7
total	13		kW	1.737			

Tabla 4.7 Tabla censo de alumbrado en edificio E

Área	Cantidad	Equipo	Potencia Watts	Demanda kW	Luxes recomendados	Luxes medidos	DPEA's
Pasillo	3	L H	90	0.270	100	316	7
Pasillo	17	LFC	13	0.221	100	316	7
Laboratorio	32	T-8	32	1.024	1000	550	14
Laboratorio	14	U-LFC	32	0.448	1000	550	14
Pasillo	8	U-LFC	32	0.256	100	316	7
Laboratorio comunicaciones	24	U-LFC	32	0.768	1000	550	14
Almacén	8	U-LFC	32	0.256	200	200	10
Laboratorio electrónica	27	T-8	32	0.864	1000	550	14
Laboratorio electrónica	6	U-LFC	32	0.192	1000	550	14
Laboratorio de computación	12	U-LFC	32	0.384	1000	550	14
Óptica y sistemas de visión	18	T-8	32	0.576	1000	550	14
Laboratorio de redes	4	U-LFC	32	0.128	1000	550	14
Laboratorio de redes	36	T-8	32	1.152	1000	550	14
Almacén	4	U-LFC	32	0.128	200	200	10
Laboratorio de química	18	T-8	32	0.576	1000	550	14
Laboratorio de química	12	U-LFC	32	0.384	1000	550	14
Pasillo	10	U-LFC	32	0.320	100	316	7
Pasillo	8	U-LFC	32	0.256	100	316	7
Oficinas revolución	21	T-8	32	0.672	300	400	12
Oficinas revolución	45	T-8	32	1.440	300	400	12
Laboratorio de metrología	12	T-8	32	0.384	1000	550	14
Laboratorio de metrología	6	U-LFC	32	0.192	1000	550	14
Oficinas revolución	21	T-8	32	0.672	300	400	12
Oficinas revolución	2	T-8	32	0.064	300	400	12
Sanitario de hombres	6	U-LFC	32	0.192	50	200	11
Sanitario de mujeres	6	U-LFC	32	0.192	50	200	11
TOTAL	380		kW	12.011			

Tabla 4.8 Tabla censo de alumbrado en edificio A

Área	Cantidad	Equipo	Potencia Watts	Demanda kW	Luxes recomendados	Luxes medidos	DPEA's
Pasillo exterior	56	T-8	32	1.792	100	316	7
A 14	12	T-8	32	0.384	300	380	14
A 13	12	T-8	32	0.384	300	380	14
Pasillo exterior	2	LFC	105	0.210	100	316	7
Pasillo	6	HALOGENO	50	0.300	100	316	7
Departamento de servicios esc.	15	T-8	32	0.480	300	400	12
Auditorio	36	T-8	32	1.152	200	300	15
Auditorio	5	HALOGENO	50	0.250	200	300	15
Pasillo	21	T-8	32	0.672	100	316	7
Pasillo	4	HALOGENO	50	0.200	100	316	7
Sanitarios de hombres	10	T-8	13	0.130	50	200	11
Sanitarios de mujeres	10	T-8	13	0.130	50	200	11
Sala de video conferencias	18	T-8	32	0.576	200	300	15
A 19	18	T-8	32	0.576	300	380	14
Caja	6	T-8	32	0.192	300	400	12
Servicios educativos	6	T-8	32	0.192	300	400	12
Pasillo	18	T-8	32	0.576	100	316	7
Oficina administrativa	18	T-8	32	0.576	300	400	12
Oficina administrativa	6	T-8	32	0.192	300	400	12
Oficina administrativa	66	T-8	32	2.112	300	400	12
Oficina administrativa	12	LED	4	0.048	300	400	12
Oficina administrativa	12	T-8	32	0.384	300	400	12
Comunicación social	21	T-8	32	0.672	300	400	12
A-3 laboratorio	18	T-8	32	0.576	1000	550	14
A 12	18	T-8	32	0.576	300	380	14
Laboratorio de computo	18	T-8	32	0.576	1000	550	14
A 11	18	T-8	32	0.576	300	380	14
Aula azul	18	T-8	32	0.576	300	380	14
Sala de video conferencias	18	T-8	32	0.576	200	300	15
Pasillo	30	T-8	32	0.960	100	316	7
A 10	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 26	12	T-8	32	0.384	300	380	14
TOTAL	558		kW	17.556			

EDIFICIO A PLANTA BAJA

Tabla 4.9 Tabla censo de alumbrado en edificio A

EDIFICIO A PLANTA ALTA

Área	Cantidad	Equipo	Potencia Watts	Demanda kW	Luxes recomendados	Luxes medidos	DPEA's
Sanitarios de hombre	10	LFC	13	0.130	50	200	11
Sanitarios de mujer	10	LFC	13	0.130	50	200	11
A 9	18	LFC	32	0.576	300	380	14
A 8	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 7	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 6	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 5	18	T-8	32	0.576	300	380	14
Pasillo exterior	1	LFC	105	0.105	100	316	7
A 4	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 1	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 2	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 3	18	T-8	32	0.576	300	380	14
A 18	18	T-8	32	0.576	300	380	14
Consultorio dental	3	T-8	32	0.096	300	400	12
A 17	6	T-8	32	0.192	300	380	14
A 15	6	T-8	32	0.192	300	380	14
A de ingeniería	6	T-8	32	0.192	300	400	12
TOTAL	222		kW	6.797			

Tabla 4.10 Tabla censo de alumbrado en edificio CIDETyP

CYDETIP

Área	Cantidad	Equipo	Potencia Watts	Demanda kW	Luxes recomendados	Luxes medidos	DPEA's
Sanitario de hombres	16	U-LFC	32	0.512	50	200	11
Sanitarios de mujeres	16	U-LFC	32	0.512	50	200	11
Laboratorio CIM	8	LFC	105	0.840	50	200	11
Pasillo	92	U-LFC	32	2.944	100	316	7
Sala de video conferencias	16	U-LFC	32	0.512	200	300	15
Laboratorio robótica	16	LFC	105	1.680	1000	141	14
Laboratorio control automático	12	U-LFC	32	0.384	1000	364	14
A 3	12	U-LFC	32	0.384	300	380	14
Laboratorio manufactura	8	LFC	105	0.840	1000	550	14
Laboratorio manufactura	16	U-LFC	32	0.512	1000	550	14
Laboratorio de ingeniería civil	4	LFC	105	0.420	1000	550	14
A 2	16	U-LFC	32	0.512	300	380	14
Fábrica de software	4	LFC	105	0.420	1000	550	14
Fábrica de software	3	T-8	32	0.096	1000	550	14
Sala de juntas	12	U-LFC	32	0.384	200	300	15
A 1 posgrado	12	U-LFC	32	0.384	300	380	14
Laboratorio de ing. renovables	8	LED	48	0.384	1000	550	14
Laboratorio de física	16	T-8	105	1.680	1000	550	14
Unidad de ensamble	8	LFC	105	0.840	1000	550	14
Pasillo exterior	32	LFC	13	0.416	100	316	7
Pasillo	280	U-LFC	32	8.960	100	316	7
TOTAL	607		kW	23.616			

Tabla 4.11 Tabla censo de alumbrado en edificio B

ÁREA	CANT.	EQUIPO	POTENCIA WATTS	DEMANDA kW	LUXES RECOMENDADOS	LUXES MEDIDOS	DPEA's
Pasillo	17	HALOGENO	50	0.850	100	316	7
Pasillo	72	T-8	32	2.304	100	316	7
B 1	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 3	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 5	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 7	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 9	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 11	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 13	18	T-8	32	0.576	300	575	14
Auditorio	51	T-8	32	1.632	200	300	15
Sanitario de hombres	6	T-8	32	0.192	50	200	11
Sanitario de mujeres	6	T-8	32	0.192	50	200	11
B 15	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 17	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 19	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 21	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B-25	18	T-8	32	0.576	300	575	14
OFICINA	12	T-8	32	0.384	300	400	12
OFICINA	9	T-8	32	0.288	300	400	12
OFICINA	21	U-LFC	17	0.357	300	400	12
OFICINA	6	T-8	32	0.192	300	400	12
ESCALERA	5	HALOGENO	50	0.250	100	316	7
PASILLO	69	T-8	32	2.208	100	316	7
Coordinación	18	T-8	32	0.576	300	400	12
Dirección de vinculación	24	T-8	32	0.768	300	400	12
Dirección de ciencias	6	T-8	32	0.192	300	400	12
B 10	36	T-8	32	1.152	300	575	14
B 26	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 24	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 22	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 20	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 8	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 18	18	T-8	32	0.576	300	575	14
Cedula de producción material digital	18	T-8	32	0.576	1000	0	14
B 16	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 6	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 14	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 4	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 12	18	T-8	32	0.576	300	575	14
B 2	18	T-8	32	0.576	300	575	14
Pasillo exterior	24	LFC	13	0.312	100	316	7
TOTAL	832		kW's	26.249			

EDIFICIO B

Tabla 4.12 Tabla censo de alumbrado en edificio centro de información

CENTRO DE INFORMACION

ÁREA	CANT.	EQUIPO	POTENCIA WATTS	DEMANDA kW	LUXES RECOMENDADOS	LUXES MEDIDOS	DPEA's
Centro de información	18	LFC	13	0.234	300	400	12
Sanitario de hombres	8	U-LFC	32	0.256	50	200	11
Sanitario de mujeres	8	U-LFC	32	0.256	50	200	11
Pasillo centro de información	112	T-8	32	3.584	100	316	7
Biblioteca	60	T-8	32	1.920	300	380	14
Gestión	8	T-8	32	0.256	300	400	12
Desarrollo	8	T-8	32	0.256	300	400	12
Oficina de México	40	T-8	32	1.280	300	400	12
Cubículos	56	T-8	32	1.792	300	400	12
Pasillo	100	T-8	32	3.200	100	316	7
Laboratorio de computo 1	40	T-8	32	1.280	500	479	14
Laboratorio de computo 2	40	T-8	32	1.280	500	479	14
Laboratorio de computo 3	20	T-8	32	0.640	500	479	14
Laboratorio de computo 4	40	T-8	32	1.280	500	479	14
Laboratorio de computo 5	40	T-8	32	1.280	500	479	14
15 c	12	T-8	32	0.384	300	380	14
Coordinación de idiomas	8	T-8	32	0.256	300	400	12
Laboratorio de inglés 1	20	T-8	32	0.640	500	479	14
Laboratorio de inglés 2	40	T-8	32	1.280	500	479	14
Laboratorio de francés	30	T-8	32	0.960	500	479	14
Cafetería	62	LFC	23	1.426	300	300	15
Sanitarios de hombres	30	LFC	14	0.420	50	200	11
Sanitarios de mujeres	30	LFC	14	0.420	50	200	11
Cocina	15	LFC	23	0.345	50	200	11
TOTAL	845		kW's	24.925			

En la Tabla 4.13 se muestra un resumen de la carga en iluminación instalada en la institución especificando la cantidad de lámparas en cada edificio según la clasificación que se dio anteriormente. Cabe resaltar que según los datos con que se celebró el contrato de energía eléctrica con la empresa suministradora, la suma de la carga en iluminación que se encontró a la fecha de hoy representa un 65% de la carga total instalada.

Tabla 4.13 Resumen de luminarias en la Universidad Politécnica de Tulancingo

EDIFICIO	LÁMPARAS	CARGA INSTALADA kW
EDIFICIO I	13	1.737
EDIFICIO E	380	12.011
EDIFICIO A	780	24.353
CIDETYP	607	23.616
EDIFICIO B	832	25.937
CENTRO DE INFORMACIÓN	845	24.925
TOTAL	3457	112.579

4.5 Software de apoyo para el sistema de iluminación

Para facilitar la comprensión del comportamiento de la luz en las aulas de la universidad, pasillos y demás área se utilizó el software DIALux el cual facilita la simulación de las luminarias que conforman el sistema eléctrico actual.

4.5.1 DIALux

DIALux es un software que ayuda al cálculo y proyección de un sistema de iluminación que permite realizar proyectos integrales de alumbrado, teniendo en cuenta los estándares nacionales e internacionales [40] ver Figura 4.6.

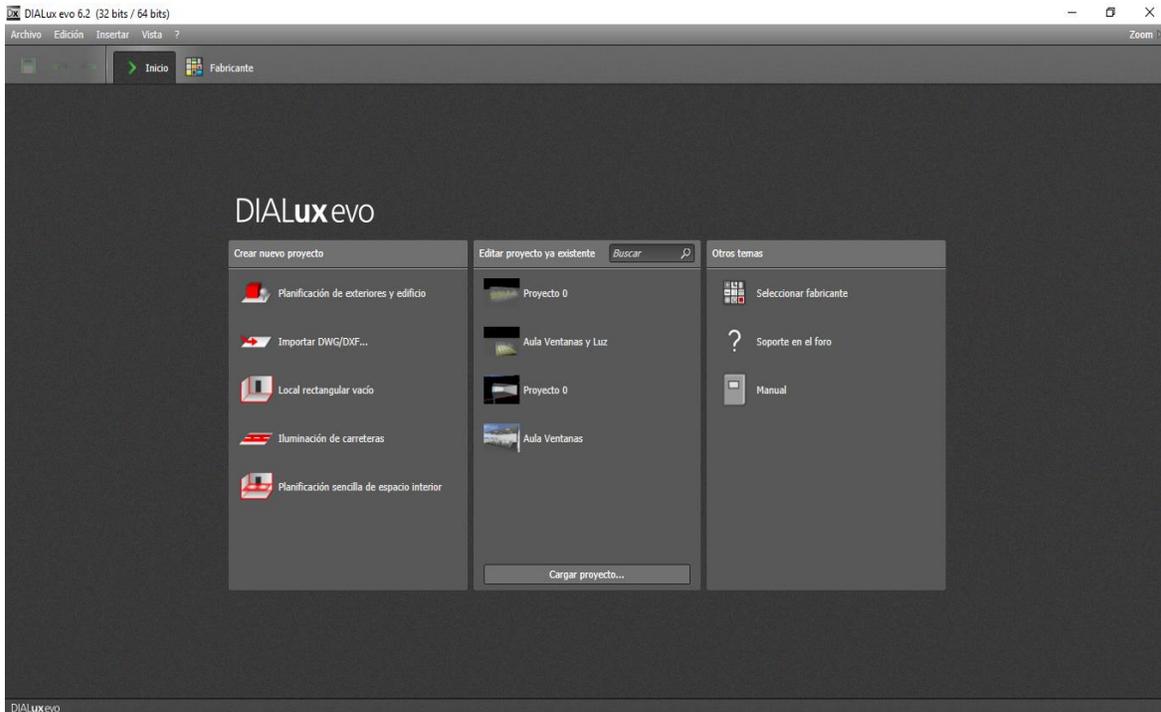


Figura 4.6 Simulador Dialux

El software se empleó para la simulación de una aula de la universidad, con el fin de obtener los niveles de iluminación, ya que es uno de los sitios donde pretende las medidas de ahorro de energía. Uno de los beneficios de este

software es, que permite simular escenarios lo más parecidos al inmueble real, ya que facilita la incorporación del mobiliario y fuentes de luz natural que pudieran influir en los cálculos del proyecto como se muestra en las Figura 4.7 y 4.15.

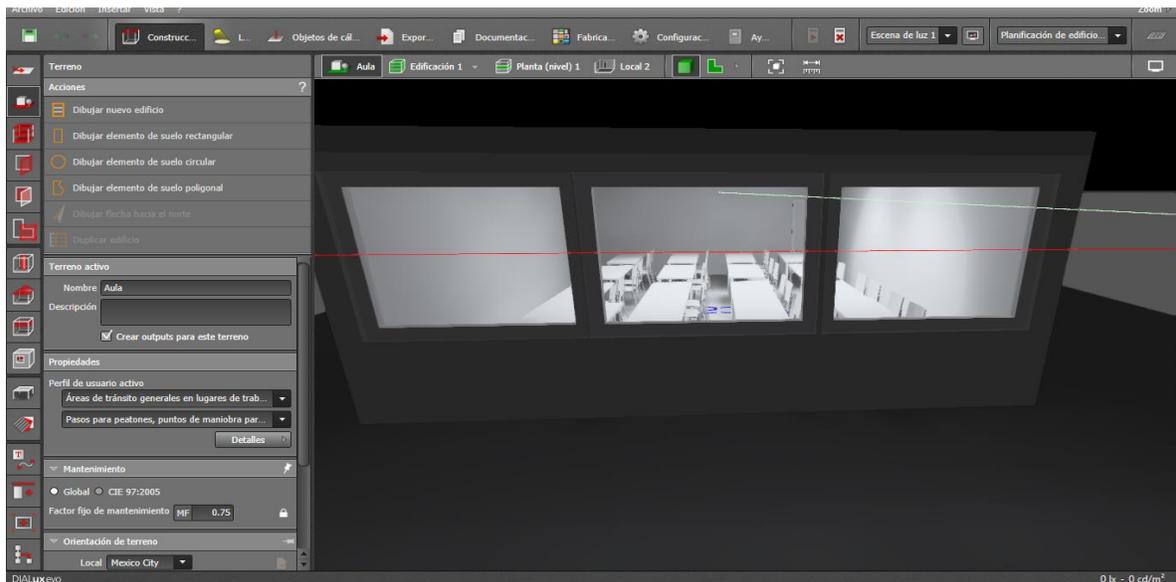


Figura 4.7 Programa Dialux simulación de aula de clases con incorporación de ventana

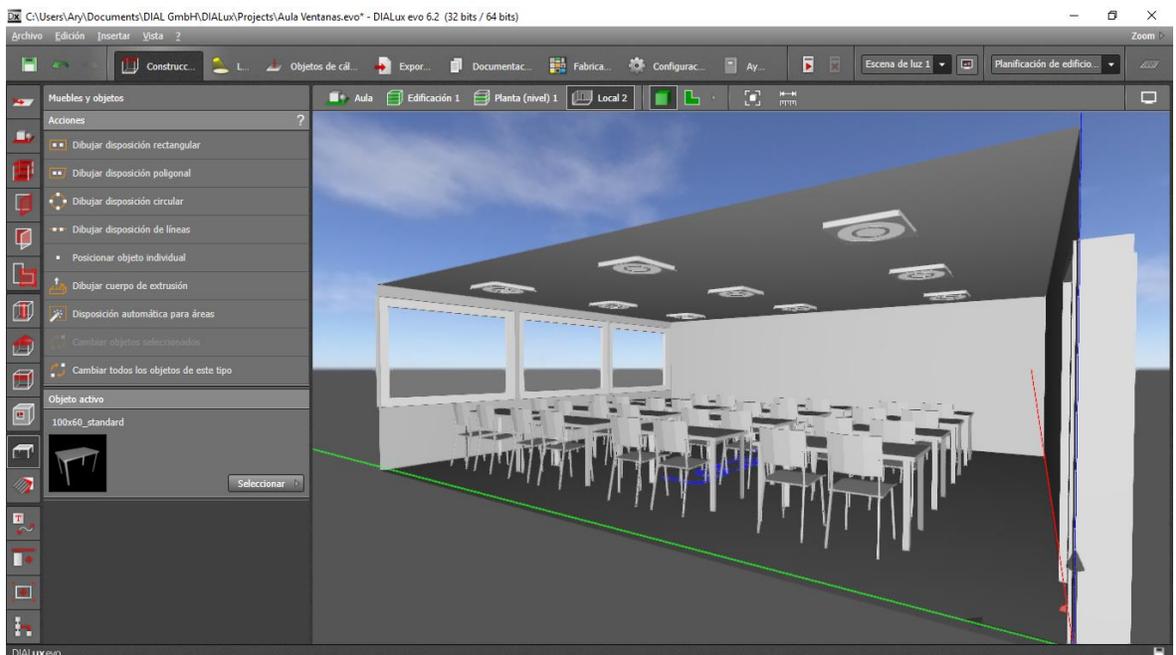


Figura 4.8 Aula de clases con mobiliario

En las Figura 4.9 a la 4.19 se muestra la simulación del aula de clases, con las condiciones ideales de luxes en el área de trabajo y la distribución de las lámparas.

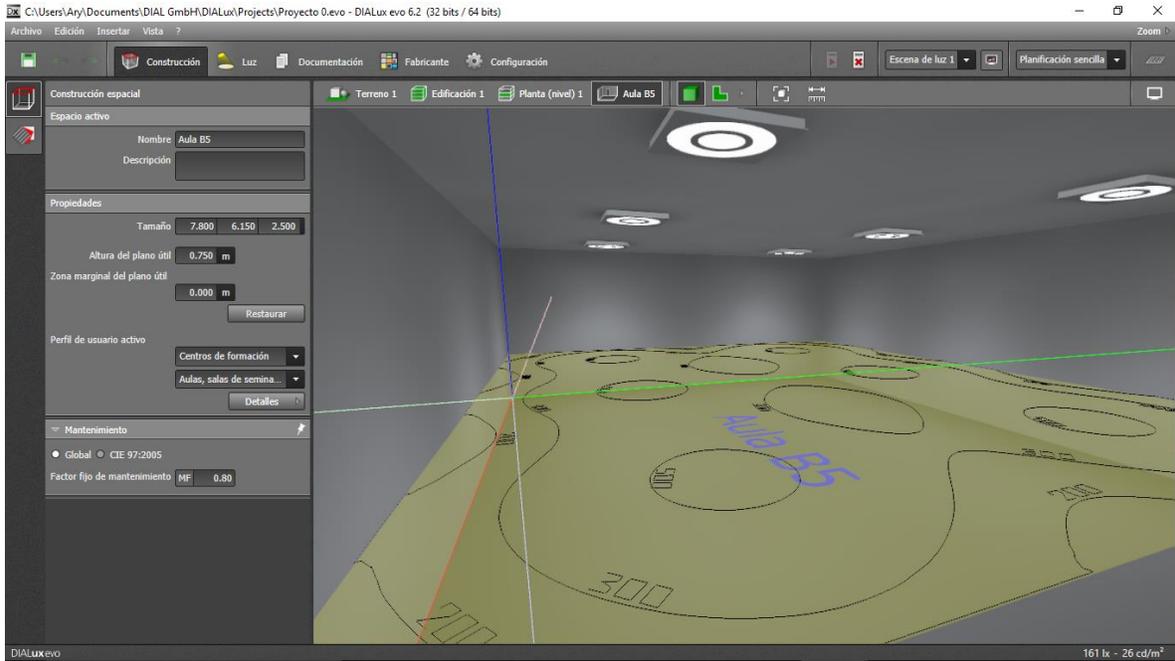


Figura 4.9 Distribución de lámparas con niveles bajo norma

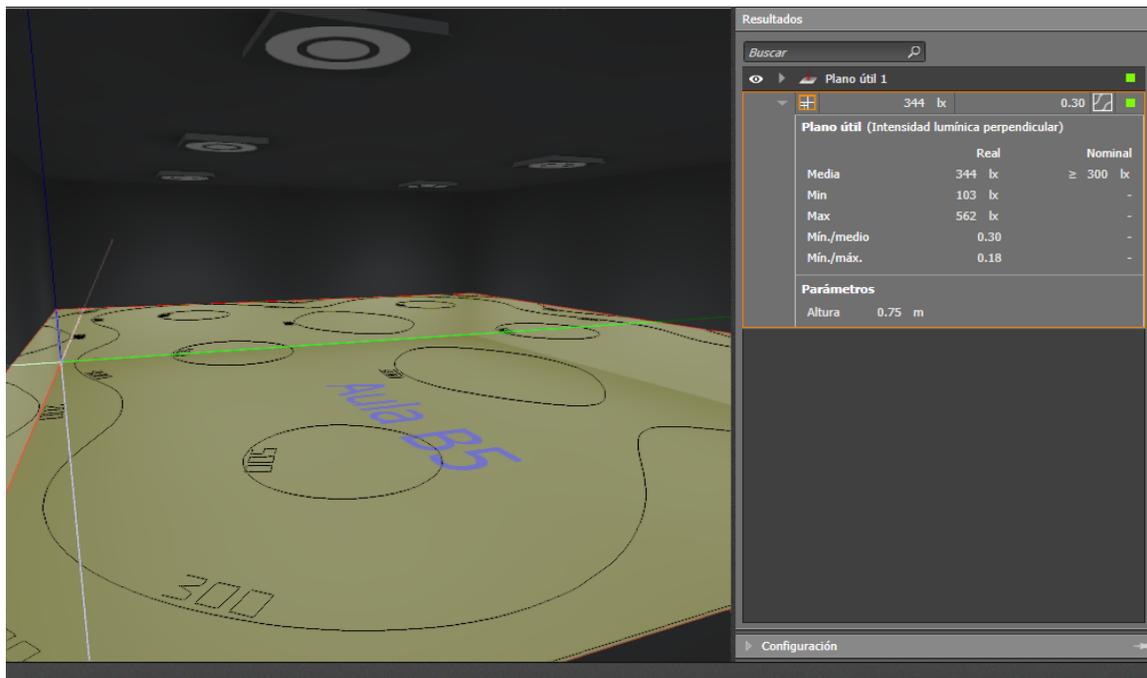


Figura 4.10 Distribución de iluminación y plano útil.

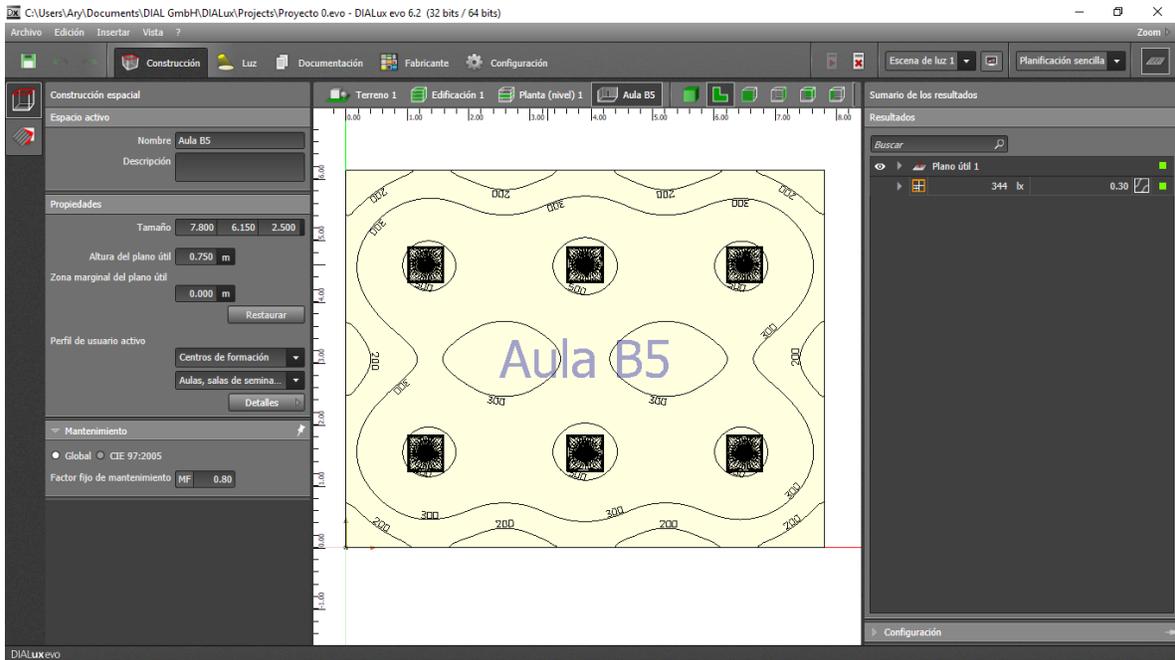


Figura 4.11 Distribución de lámparas y niveles bajo norma

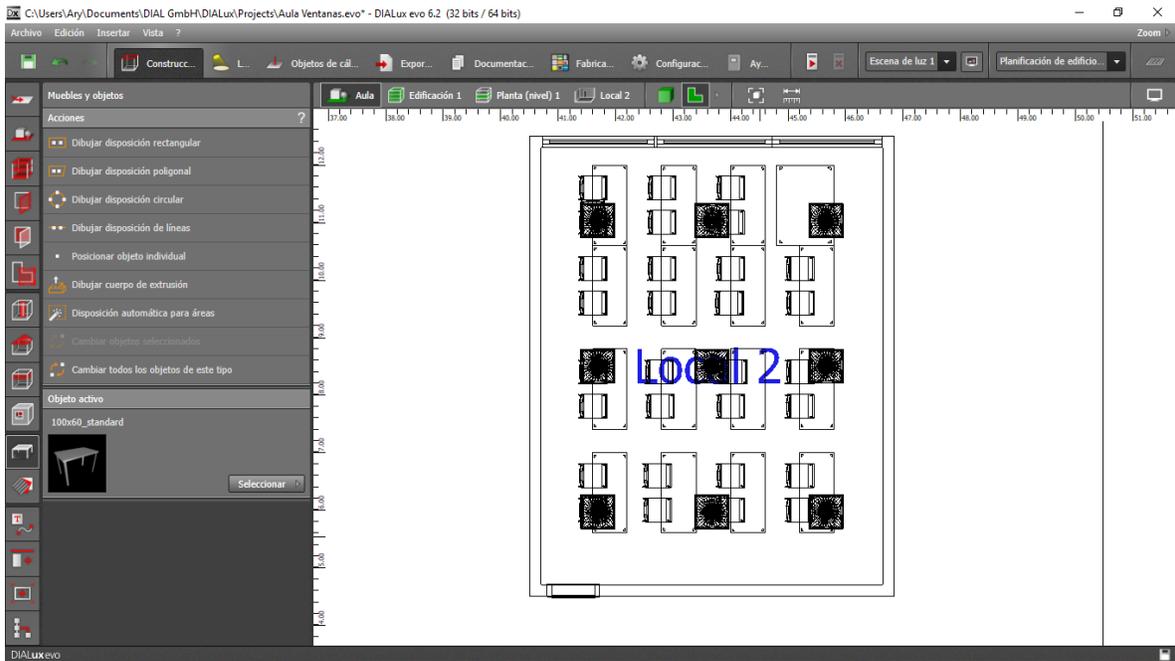


Figura 4.12 Posición de lámparas y en plano útil.

5 Propuestas de mejora y resultados

En este capítulo se realizan las propuestas que más convienen a la universidad para poder disminuir el consumo de energía eléctrica y con ello reducir el impacto ambiental, sin dejar a un lado la ergonomía.

Una vez analizado el sistema de iluminación de la Universidad, se mencionan a continuación las propuestas para conseguir ahorrar energía eléctrica, en Figura 5.1 está un claro ejemplo del uso adecuado de la energía, ya que existe un sensor de presencia.



Figura 5.1 Buena práctica en el aprovechamiento de iluminación en aulas.

5.1 Cambio de tecnología

Debido al gran porcentaje de carga que representa la iluminación para esta institución es necesario hacer una propuesta que permita reducir el consumo de energía, aprovechando las ventajas que representan las lámparas con tecnología LED (Light Emitting Diode). En la Tabla 5.1 se resume el tipo de tecnología de equipo de iluminación instaladas actualmente en la UPT y la carga total que representan.

Si se reemplazaran las lámparas actuales por tecnología LED, se podría disminuir un 51% la carga o consumo, lo que podría arrojar un ahorro de igual porcentaje, ya que el consumo variará según el uso que se dé a los equipos y los hábitos de consumo que se tienen actualmente.

Tabla 5.1 Resumen de cargas en iluminación

Concepto	Carga	Unidad de Medida
Carga total en Lámparas	113	kW
25% de Balastro	29	kW
Carga Total con Balastro	141	kW

5.1.1 Cambio de lámparas por tecnología LED

En esta opción, se pretende cambiar los sistemas de iluminación sustituyéndolos, por una más eficiente que en este caso son los equipos con tecnología LED. En la Tabla 5.2 se presenta un resumen general de la propuesta de ahorro de energía eléctrica por el cambio de lámparas instaladas actualmente por la tecnología LED, obteniendo una disminución del 64% en consumo de energía por cambio en el tipo de equipos según la ficha técnica ver Tabla 5.3 y Tabla 5.4.

Tabla 5.2 Resumen del sistema de iluminación de UPT por tipo de tecnología

TIPO DE TECNOLOGÍA Y CONSUMO		
Tipo de lámpara	Suma de kW	Suma kW LED's
Halógeno	1.85	0.17
L H	0.27	0.12
LED	0.432	0.432
LFC	10.222	3.976
LVS	1.5	0.288
T-8	76.864	28.824
U-LFC	21.28	5.985
Total general	112.418	39.795

5.1.1.1 Curva LED

En la siguiente Tabla 5.3 se hace la descripción de la lámpara de tecnología LED que sustituiría a la lámpara fluorescente, detallando los aspectos más importantes que se deben considerar como lo son: luxes, lúmenes, tensión nominal, y el consumo. Un detalle importante que se debe tener en cuenta, es la perdida de lúmenes, ya que la tecnología LED tiene una disminución de casi el 40% según las hojas de especificaciones de ambas lámparas. Las cuales disminuyen la irradiación sin afectar seriamente la propuesta, beneficiándose con el ahorro de energía eléctrica.

Tabla 5.3 Ficha técnica lámpara curva LED [4].

TUBO LED T8 / 18W / 60CM / DURACIÓN 50,000 HRS / 1,270 LÚMENES / GARANTÍA 5 AÑOS	
\$218.00	
Eficiencia	≥85%
Voltaje de Entrada	90 - 285
Consumo (Watts)	18W
Lúmenes Totales	1,270
Eficiencia Lumínica (Lm/ w)	108 +/- 4
Rango de Operación	No
Rango de Protección	No
Factor de Potencia (PF)	≥ .90
Duración en Horas	50,000 hrs
Garantía de Fábrica	5 años
Led	CHIP SMD SAMSUNG
Índice de Reproducción Cromática (CRI)	80
Angulo Apertura	240º
Temperatura de Trabajo	-20ºC +45ºC
Distorsión Armónica	≤ 15%
Uso Ideal Para	Oficinas / Comercio, Salas de Juntas, Aulas de Clase, Centros Comerciales, Gimnasios / Salones, Hospitales / Clínicas, Quirófano / Emergencias, Laboratorios / Farmacias
Atenuable / Dimmer	No
Conector / Socket	No
Voltajes de Operación	110v ~ 220v
Dimensiones	A(mm) 600 B (mm) φ26
Peso	No

5.1.1.2 Tubo Slim T8

Para realizar el cambio de las lámparas fluorescentes instaladas actualmente por tecnología LED no es necesario que se realizar inversión alguna, ya que este tipo de lámpara se adapta a la infraestructura eléctrica actual del plantel. En la Tabla 5.4 se pueden apreciar las características del tubo Slim de 9W que sustituye la tecnología actual. Logrando la reducción del consumo de energía. Para ello solo es necesario instalarla en lo conectado actualmente, eliminando únicamente el balastro que está actualmente, cabe resaltar que la terminal debe ser similar a la que está instalada para no tener impedimento para este cambio.

Tabla 5.4 Tubo slim T8 (9W)

Lámpara Tubo LED Slim T8 Fosforado 60cm 10W	
Precio	\$150.00
	IVA incluido
Fuente de alimentación	driver insolado
Eficiencia del suministro de energía	0.89
Temperatura de operación	-20°-- +60°
Voltaje de operación	85-265v 50/60Hz
Consumo	10W
Cantidad de LED's	84
Temperatura de color	blanco cálido (2700k-3500k) blanco puro (4500-500k) blanco frío (6000k-7000k)
Ángulo de apertura	180°
Flujo luminoso	900 lm
Vida útil	50,000 horas (puede variar)
Cuerpo	mica fosforada, cuerpo de aluminio y plástico
Grado de Protección IP	IP50
Compatibilidad	terminales T8
Contenido	1 Tubo T8
Tipo de empaque	tubo de cartón
Garantía	1 año

Se pretende ahorrar el 65 % de consumo cambiando las lámparas T8 y Curvalum por tecnología LED de características similares, por cual se

ahorraría el mismo porcentaje en la facturación que actualmente tienen las luminarias instaladas.

En las siguientes secciones se calcularán los costos de inversión y el tiempo de recuperación. Que es fundamental para determinar si es conveniente la sustitución por la tecnología LED.

Para ello se obtuvo un presupuesto vía internet de las lámparas tipo T8 y curvalum.

5.1.2 Inversión por cambio de tecnología

Una vez establecida la cantidad, así como el tipo de tecnología y modelo se debe hacer el cálculo de la inversión por esta sustitución. En la Tabla 5.5 se realiza el cálculo por cambio de tecnología.

Tabla 5.5 Costo de inversión por tecnología LED

Lámpara Tipo	N. Lámparas	Sustitución Led \$	Precio	Consumo Actual	Carga Propuesta	Carga Actual	Carga LED's
T-8	2402	\$150.00	\$360,300.00	32	10	76.864	24.02
U-LFC	665	\$218.00	\$144,970.00	32	18	21.28	11.97
Inversión Total			\$505,270.00				

Una vez calculado la inversión se debe calcular el costo beneficio por la sustitución de estos equipos y los ahorros que estos representan. El cual se desarrollara en la siguiente sección.

5.1.3 Costo beneficio

Para determinar si es conveniente el cambio de tecnología es necesario analizar el costo de inversión de los equipos que se pretenden instalar, de igual forma calcular el ahorro que se obtendrá con el cambio de la tecnología, y por último el tiempo de recuperación de la inversión.

Primero se determina el ahorro en kilowatts por cambio de equipos de iluminación, en la Tabla 5.6 se puede observar los beneficios en la reducción del

consumo de energía eléctrica comparando las tecnologías instaladas actualmente, si se sustituyera por una tecnología LED.

Tabla 5.6 Ahorro por sustitución de lámparas

Tecnología	No. Lámparas	Tipo	Consumo Actual	Carga Propuesta	Carga Actual	Carga LED's
Lámpara	2402	T-8	32	10	76.864	24.02
Lámpara	665	U-LFC	32	18	21.28	11.97

Para obtener el consumo diario, mensual y anual de los equipos instalados, es necesario realizar la siguiente operación. La carga en iluminación instalada se multiplica por uso diario propuesto de 8 horas, para poder sacar un consumo promedio diario, que después se debe multiplicar por 30.5 días que aproximadamente tiene un mes, por los doce meses en el año, para obtener el consumo anual, expresado mejor en la siguiente formula:

Ecuación 11

$$CPA = Kw * 8hr * 30.5 \text{ días} * 12 \text{ meses}$$

Una vez establecido el consumo anual, se debe un promedio del importe de los kWh de la tarifa horaria, que en el caso del 2015 es de \$0.8764. Como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 5.7 Consumo anual tecnología actual

Tipo	Consumo Promedio diario kWh	\$ kWh Mensual	\$ Anual Actual
T-8	768.64	\$20,209.08	\$242,508.99
U-LFC	212.8	\$5,594.94	\$67,139.25
Totales	981.44	\$25,804.02	\$309,648.25

Se aplica lo mismo para la sustitución del consumo en la tecnología LED.

Tabla 5.8 Consumos anuales LED y ahorro

Tipo	Consumo Promedio diario kWh	\$ kWh Mensual	\$ Anual Led	Ahorro Anual
T-8	192.16	\$5,052.27	\$60,627.25	\$181,881.75
U-LFC	95.76	\$2,517.72	\$30,212.66	\$36,926.59
Totales	287.92	\$7,569.99	\$90,839.91	\$218,808.33

5.2 Implementación de Sensores de Presencia

Otro de las opciones que se proponen para ahorro de energía es la instalación de sensores de presencia para reducir el tiempo que las lámparas permanecen encendidas.

Los detectores de presencia sirven para el ahorro de energía desenergizando los lugares donde no se requiere que estén encendidas, por ejemplo se podrían incluir sensores como el que se observa en la Figura 5.2 en los pasillos, ya que al no detectar la presencia de personas, el equipo abrirá el circuito apagando la lámpara donde esté instalado, reduciendo de esta forma el consumo de energía.



Figura 5.2 Sensor de presencia

Las aplicaciones más comunes de los sensores de presencia, son en lugares de paso como escaleras, pasillos, recibidores, accesos a viviendas ya que son zonas de ocupación intermitente y por ello susceptibles a dejar las luces encendidas a nuestro paso, dependiendo del caso pueden llegar a ahorrar hasta un 20% [42]. Por otra parte también existe otro tipo de sensores menos complejos que solo sirven para funciones básicas que se mencionan en la siguiente sección.

5.2.1 Detectores infrarrojos

Los detectores PIR son los detectores de presencia más sencillos y habituales, están basados en la diferencia de calor emitido por los seres humanos en movimiento respecto al del espacio vacío, no son capaces de “ver” a través de obstáculos [43]



Figura 5.3 Sensor de presencia infrarrojo

Por todo ello, los detectores PIR están indicados en zonas de paso como escaleras o aparcamientos, pero es necesario evitar fuentes de calor que apunten directamente o se encuentren cercanas, ya que desestabilizan el sensor [43]. Un claro ejemplo para la instalación de este tipo de sensores se observa en la Figura 5.4 donde a pesar de que no hay nadie en el pasillo este se encuentra iluminado provocando un consumo de energía innecesario.



Figura 5.4 Desperdicio de energía en pasillo.

5.2.2 Sensor ultrasónico

Una tecnología más avanzada que sirve para detectar movimiento está basada en la emisión de ondas de ultrasonidos fuera del rango de audición humana. En este caso, la diferencia entre la frecuencia de la onda emitida y recibida es interpretada como la existencia de personas. Estos sensores, de tipo activo, son capaces de “ver” a través de esquinas y objetos, por lo que son aconsejables para la detección de movimientos pequeños y suelen cubrir superficies mayores. [43]

Este tipo de detector está indicado para las oficinas, las salas de reuniones, así como pasillos largos y vestíbulos. Su principal desventaja es que no sólo responden al movimiento humano, sino que también el movimiento de puertas, ventanas, cortinas, o incluso papeles saliendo de una impresora podrían activar el detector. Este tipo de sensores quedaría muy adecuado a las aulas de clase.

5.2.3 Sensores pasivos

Una variedad menos avanzada de los detectores de ultrasonidos son los denominados “pasivos” o “microfónicos”, que se basan simplemente en la detección de presencia por medio de “escuchar” el sonido emitido en un amplio rango de frecuencias. A pesar de que es posible configurar para que “aprendan” a distinguir sobre algunos ruidos de fondo continuos como el aire acondicionado o motores, los modelos pasivos provocan un mayor porcentaje de falsos encendidos respecto a los modelos activos.

Este tipo de detectores funcionan bien en aplicaciones tales como puestos de trabajo en oficinas, almacenes, trasteros, etc. [43]

Es por ello que la propuesta de la instalación de los sensores de presencia, es en aulas de clases debido a que no se tiene concientizado en el alumnado el ahorro de energía, y de esta forma al no detectar la presencia de personas se desenergizarían las lámparas instaladas en esta área de esta área reduciendo así el consumo de energía eléctrica.

5.2.4 Detectores duales

Los detectores más avanzados son los que combinan las dos tecnologías anteriores, infrarrojos y ultrasonidos, tanto pasivos como activos, y son denominados “duales”. La ventaja que ofrecen es la eliminación de falsos

encendidos y apagados, así como el aumento de la sensibilidad y de la superficie cubierta.

Los duales son los más indicados para espacios donde se requiere un alto nivel de detección, por lo que las aplicaciones más indicadas son salas de conferencias o aulas, así como el resto de situaciones en los que el resto de tecnologías causaría errores [43].

5.2.5 Detectores de presencia para un control de la iluminación energéticamente eficiente

Los detectores de presencia de Theben HTS le ofrecen todas las opciones posibles para controlar la iluminación de una forma energéticamente eficiente e inteligente. Además de su aplicación clásica para controlar la luz en salas de oficinas, pasillos y edificios públicos, también permiten controlar la calefacción y el aire acondicionado. De este modo, ahorra costes energéticos y reduce notablemente las emisiones de CO₂. Los detectores de presencia reaccionan a los más mínimos movimientos y, al mismo tiempo, miden la luminosidad de la habitación. Si no se registra ningún movimiento o si se supera un valor de luminosidad definido, el detector de presencia apaga la luz automáticamente.

Los lugares estratégicos de la UPT para instalación de detectores infrarrojos son, en las aulas de clases, laboratorios, centros de información y talleres ya que por el uso frecuente que se da a estas áreas, se implica un gran consumo de energía eléctrica, y la implementación de estos dispositivos ayudaría a mitigar el consumo irracional de energía eléctrica.

5.2.6 Costo de inversión

El costo de la inversión oscila entre los \$150.00 por sensor de movimiento pirométrico (PIR). En la siguiente Tabla 5.9 se especifican la ficha técnica del producto propuesto con el cual se puede lograr un ahorro de energía el cual tiene un costo en el mercado de \$140.00 y por mayoreo de \$110.00.

Tabla 5.9 Sensor de presencia propuesto [Error! Bookmark not defined.]

SENSOR DE MOVIMIENTO (PIR) PARA TECHOPIR-120	
Alimentación:	110-130 Vca 60 Hz
Carga:	800 W máx. (Incandescente) 200 W máx. (fluorescente – ahorradora)
Temperatura de operación:	0°C a 40°C
Humedad de operación:	<93% no condensada
Temporizador programable de	10 seg. a 7min.
Ángulo de detección:	360°
Velocidad de movimiento:	de 0,6 a 1,5 m/s
Distancia máxima de detección:	6m (<24°C)
Luz ambiente	< 3-2000 LUX ajustable
Altura recomendable de instalación:	de 2,2 a 4m



Los lugares para la instalación de estos equipos son en las aulas, baños y pasillos de la universidad, que por la frecuencia de uso pueden lograr ahorro representativo para la facturación final. En la Tabla 5.10 se observa el número de sensores que son necesarios, no incluye instalación ni mando de obra.

Tabla 5.10 Inversión de sensores de presencia

Instalación de Sensores		
Área	No.	Importe \$
Pasillos	17	\$ 1,870.00
Aulas	16	\$ 1,760.00
Baños	44	\$ 4,840.00
Total	77	\$ 8,470.00

En la Figura 5.5 se puede ver un ejemplo de este tipo de dispositivos instalados actualmente, se encuentran instalados en 3 aulas del edificio A de la universidad.



Figura 5.5 Con la implementación en uso de sensores

Este tipo de dispositivos beneficiarían a la universidad de manera muy sustancial ya que según la información proporcionada por el personal de mantenimiento, los vigilantes son los encargados de encender y apagar la iluminación de los pasillos interiores y exteriores.

5.3 Sistema de fotocelda

Se propone instalar en los pasillos exteriores un sistema de fotocelda que encienda las lámparas al ponerse el sol, y las apague al momento en que los rayos del sol incidan sobre estas, logrando un ahorro de 10% considerando que

cuando se hace forma manual existe una hora de diferencia que sí se hiciera de forma automática. Los horarios manuales de encendido y apagados se detallan en la Tabla 5.11 y en la Tabla 5.12.

Tabla 5.11 Horarios del programa para apagado y encendido de iluminación exterior

Alumbrado Exterior		
Periodo	Enciende	Apagan
Horario de verano	19:00	08:00
Horario de invierno	18:00	08:00

Tabla 5.12 Horarios del programa para apagado y encendido de iluminación de aulas.

Alumbrado Interior		
Periodo	Enciende	Apagan
Horario de verano	19:00	08:00
Horario de invierno	18:00	08:00

En la Figura 5.6 y la Figura 5.7 tiene la información detallada de la puesta y salida de sol en los horarios de verano e invierno en la ciudad de Tulancingo Hidalgo. Esta información nos proporciona un panorama más claro de las horas luz que existe en esta región.

En el periodo de verano existen más horas de sol en total, las horas de sol serán 12:25:45 las cuales permiten reducir el uso de luz natural para iluminar las áreas exteriores [44].



Figura 5.6 Salida y puesta de sol horario de verano [28]

Mas sin embargo, en el periodo estacional de invierno se reducirán las horas de sol serán a 10:56:12 haciendo visible la necesidad de iluminación artificial. [44]

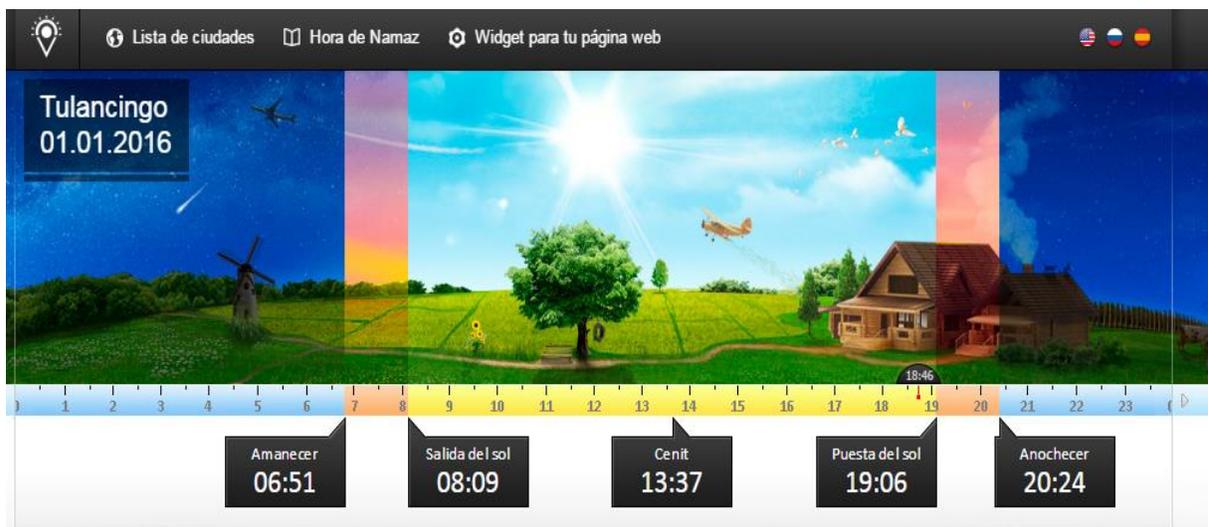


Figura 5.7 Salida y puesta de sol horario de invierno [28]

Para los pasillos interiores se debe considerar una foto celda que apague la luz de la luminarias en horarios donde el paso de los alumnos sea iluminado por la luz natural del sol y cuando esta luz no sea suficiente las encienda, al mismo tiempo es necesario instalar un temporizador que desenergice a estas,

después de que finalicen las actividades escolares, de esta forma se podría tener un control más preciso del consumo de energía por iluminación.

5.4 Programación de horarios de clases

En esta última sección se propone otra medida para el ahorro económico, tomar acciones que reduzcan la facturación de la energía eléctrica sin necesidad de realizar inversiones, esto se puede lograr a través de la utilización estratégica de la tarifa HM (Tarifa horaria en media tensión) que permite reducir los costos cuando no se utiliza el horario punta.

Esto quiere decir que si dejamos de conectar las cargas que mayor consumo representa en el periodo punta por ejemplo los motores y máquinas de los diversos talleres que existen en la universidad, se puede reducir un porcentaje representativo en el costo total de la energía. Por lo cual se propone que se programen los horarios de estos talleres fuera de los periodos punta: de 18:00 a 22:00hrs en el horario de invierno y 20:00 a 22:00hrs en el horario de verano.

Esta medida es una opción que sumada a las demás acciones propuestas en los subtemas anteriores ayudarían a reducir los costos de la facturación de la universidad y cualquier otra escuela que se encuentre contratada en tarifa HM.

5.5 La importancia del factor de potencia en el sistema de iluminación.

Es el porcentaje o proporción de Energía que es aprovechada por un sistema electrónico en este caso se tiene instaladas luminarias.

Esta energía o Potencia eléctrica se mide en kW y es relación entre la potencia activa /potencia aparente es la que da lugar al factor de potencia.

Ecuación 12

$$FP = \frac{P}{S}$$

El Factor de Potencia es la relación entre:

P=Potencias Activa (P)

S=Aparente (S).

Si la onda de corriente alterna es perfectamente senoidal, FP y Cosφ coinciden.

Ecuación 13

$$P = V * I * \cos\phi$$

P = Potencia de consumo eléctrico, expresada en watt (W)

I = Intensidad de la corriente que fluye por el circuito, en ampere (A)

cos φ = Valor del factor de potencia o coseno de “φ”

El factor de potencia se mide en una escala de 0 a 1. Si un circuito funciona a una eficiencia del 100%, Entonces el factor potencia será de 1. En la Tabla 3.5 y 3.6, se muestra las fichas técnicas del factor de potencia de las lámparas que están instaladas en la universidad, y comparadas con las características de la lámparas propuestas, no habría modificaciones en el FP general de la escuela.

6 Conclusiones

De la investigación y análisis que se realizó para desarrollar este trabajo de tesis, se concluye que en la actualidad, un sistema de iluminación artificial, es una parte fundamental en la vida cotidiana de los seres humanos, por ello se puede decir, que los circuitos de alumbrado son indispensables para iluminar cualquier centro de trabajo y/o edificio, ya que facilitan la visibilidad para realizar las labores de nuestro día a día.

Al momento de hablar de una institución educativa, como es la Universidad Politécnica de Tulancingo, la iluminación artificial juega un papel muy importante en las aulas y áreas de enseñanza, ya que esta ayuda a mejorar la visión de los estudiantes. El gran uso de la luz artificial en los planteles educativos representa un porcentaje importante en las facturaciones de energía eléctrica, que resulta en altos costos monetarios que afectan el presupuesto de las universidades pudiendo emplearlo en otras áreas como la investigación y desarrollo científico.

Con los datos obtenidos de las mediciones realizadas, se determina que existen áreas del plantel que no cumplen con los niveles de iluminación establecidos por las Norma NOM-025 STPS 2008, ya que en algunos sitios no son suficientes y en otros sobrepasan los luxes requeridos, perdiéndose la ergonomía, lo que puede tener como consecuencias un bajo aprovechamiento en la comunidad estudiantil o afectaciones en la visión.

La necesidad de implantar un sistema de iluminación eficiente que permita el ahorro de energía eléctrica y que a su vez coadyuve con la ergonomía ambiental es primordial y requiere que sea contemplado en el presupuesto de la universidad. La eficiencia del sistema requiere además del análisis detallado del empleo de la iluminación por parte de administrativos, docentes y alumnos,

para realizar las correcciones necesarias para llegar al ahorro de energía eléctrica.

Otra parte que se debe considerar es el pronóstico del ahorro, así como la inversión del proyecto, para poder calcular el costo beneficio de la inversión.

Otra medida que se puede llevar a cabo y no requieren inversión es el aprovechamiento de las tarifas eléctricas, las cuales fueron establecidas por el suministrador del servicio eléctrico ya que al ser utilizadas de manera estratégica se evita la carga más representativa en el horario punta, con lo cual la facturación mensual disminuye, representando una ventaja importante ya que puede implementar sin modificación física del sistema eléctrico.

El principal aporte de este trabajo de tesis es el censo de cargas, las condiciones actuales de iluminación y las propuestas de mejoría, sin dejar atrás las normas regulatorias de los sistemas de iluminación en nuestro país.

7 Referencias bibliográficas

1. (s.f.). <http://www.upt.edu.mx/>. Obtenido de <http://www.upt.edu.mx/>.
- AMPROBE, T. T. (2008). *AMPROBE LM-100 / LM-120 MANUAL DE USO*. Estados Unidos: APROBE Tes Tools.
- Blanca Giménez, V. (2011). *Criterios de elección de lámparas*. Castilla Cabanes: R. M., & Martínez Antón.
- Blanca Giménez, V. C. (s.f.).
- Castilla Cabanes, N. (2011). *L U M I N O T E C N I A*. Valencia: E.T.S. Arquitectura .
- Ceballos, N. d. (2010). *Sistema inteligente para el ahorro de energía en lámparas fluorescentes*. Mexico DF: Instituto Politécnico Nacional.
- Dirección General de Industria, E. y. (2006). *Guía Técnica de Iluminación Eficiente*. Mostoles Madrid: Comunidad de Madrid.
- edificios, A. d. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). *Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. España: 2005.
- Elías, U. C. (2008). *Ahorro de energía eléctrica mediante el control proporcional integral de la iluminación*. Zacatecas: Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Enrique A. Sierra, A. A. (2005). *Sistema experto para control inteligente de las variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional del Comahue Buenos Aires 1400 – (8300) – Neuquen.
- Gonzalez, C. J. (2009). *Eficiencia y sostenibilidad energetica en la empresa, sistemas de iluminación*. A. Coruña: Centro Tecnológico de eficiencia y sostenibilidad Energetica.

- Iluminación, C. E. (2001). *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación: centros docentes*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- J Eduardo garcía, F. R. (2007). *Investigando el Problema del Uso de la Energía*. Sevilla: Universidad de Sevilla .
- Jorge Chapa Carreón, J. C. (1990). *Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría*. México: Limusa.
- Lopez, J. R. (s.f.). *Administración de energía en sistemas de iluminación*. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Martínez Antón, A. (10 de 11 de 2011). *RiuNet*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/>
- MARTINEZ, F. H. (2012). *SABERLITE SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO EN AHORRO DE ENERGÍA*. CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA.
- Martinez, F. H. (2012). *Saberlite Sistema de iluminación basado en Ahorro de energía*. CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN.
- Rubio, i. R. (2009). *Sistemas de iluminación automática para edificios inteligentes: confort visual y ahorro energetico*. Queretaro : Universidad Autonoma de Queretaro, Facultad de ingenieria.
- Ull Solís, Á. (2008). *El impacto de la actividad universitaria sobre el medio ambiente*. Valencia: Universitat de Valencia.
- Vazquez, S. G. (s.f.). *Configuración de Instalaciones domóticas y automáticas*. Madrid España: Paraninfo.
- Zayas, D. J. (2009). *Ahorrar dinero con una iluminacion mejor*. Mexico DF: UNAM.
- (Castilla Cabanes, 2011)
- (Martínez Antón, 2011)

-
- 1 Martínez, f. h. (2012). Saberlite Sistema de Iluminación basado en Ahorro de
Energía. Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex.: Universidad Nacional autonoma
- 2 Ceballos, N. d. (2010). Sistema inteligente para el ahorro de energía en lámparas
fluorescentes. Mexico DF: Instituto Politécnico Nacional
- 3 Elías, U. C. (2008). Ahorro de energía eléctrica mediante el control proporcional
integral de la iluminación. Zacatecas la iluminación
- 4 Rubio, i. R. (2009). Sistemas de iluminación automática para edificios inteligentes:
confort visual y ahorro energético. Queretaro
- 5 Enrique A. Sierra, A. A. (2005). Sistema experto para control inteligente de las
variables ambientales de un edificio energéticamente eficiente. Buenos Aires,
Argentina: Universidad Nacional del Comahue Buenos Aires 1400 – (8300)
- 6 Ull Solís, Á. (2008). El impacto de la actividad universitaria sobre el medio
ambiente. Valencia: Universitat de Valencia.
- 7 Gonzalez, C. J. (2009). Eficiencia y sostenibilidad energética en la empresa,
sistemas de iluminación. A. Coruña: Centro Tecnológico de eficiencia y
sostenibilidad Energética
- 8 J Eduardo García, F. R. (2007). Investigando el Problema del Uso de la Energía.
Sevilla: Universidad de Sevilla
- 9 Lopez, J. R. Administración de energía en sistemas de iluminación. El Salvador:
Universidad de El Salvador
- 10 Zayas, D. J. (2009). Ahorrar dinero con una iluminación mejor. Mexico DF:
UNAM
- 11 <http://www.fragailuminacion.com.ar>
- 12 <http://www.explorandomexico.com.mx>
- 13 <http://www.tulancingo.com.mx/informacion/historia/antecedentes.htm>
- 14 <http://www.upt.edu.mx/>
- 15 orge Chapa Carreón, J. Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría
- 16 <http://ksa-ie.weebly.com/definiciones-generales-de-iluminacioacuten.html>
- 17 http://www.osram.es/osram_es/noticias-y-conocimiento/lamparas-fluorescete
- 18 http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_7.htm
- 19 <http://www.rae.es/>
- 20 www.ergocupacional.com
- 21 <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php>
- 22 <http://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/la-ergonomia-ambiental-i/>
- 23 <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/luminar1.html>
- 24 Guía Técnica de Iluminación Eficiente.
- 25 www.siesol.com.mx
- 26 <http://lamparasy luminarias.com.mx>
- 27 (Martínez Antón, 2011)
- 28 <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>
- 29 (Castilla Cabanes, 2011)
- 30 <http://www.cfe.gob.mx/Industria/Paginas/Industria.aspx>
- 31 <http://www.conuee.gob.mx/>
- 32 <http://www.fide.org.mx/>
- 33 <http://www.gob.mx/sener>
- 34 <http://www.icas.com.do/>
- 35 <http://www.theben.es/>

-
- 36 <http://www.conuee.gob.mx/>
 - 37 <http://www.dof.gob.mx/>
 - 38 <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas>
 - 39 <http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx>
 - 40 <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux.html>
 - 41 <http://www.tecnologialed.com.mx/T8-Curvalum-Led>
 - 42 <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/587-sensor-de-presencia>
 - 43 <http://twenergy.com/a/como-funciona-un-detector-de-presencia-912>
 - 44 http://salidaypuestadelsol.com/Mexico/Tulancingo_14045.html