



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS ENERGÉTICO Y DE CALIDAD DE  
LA ENERGÍA EN RADIO UNAM

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

PRESENTA:

ALEJANDRO MAQUEDA FLORES

DIRECTOR DE TESIS

M.I. IVÁN URZÚA ROSAS



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## *Agradecimientos y dedicatorias.*

*Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida, en el que logro concluir mi carrera profesional; un sueño por el que me he esforzado mucho para cumplirlo, siendo posible gracias a la ayuda de las personas que nombro a continuación y a las cuales dedico el presente trabajo. . .*

### *A mis padres:*

*Olivia y Alejandro, por darme la vida, educarme y encaminarme en mis estudios; que gracias a ello, hoy tengo la alegría de concluir mi carrera profesional.*

### *A mis abuelitos:*

*Ana y Felipe, por brindarme su cariño incondicional, sus consejos y enseñarme muchas cosas que me han servido para cumplir mis objetivos.*

*Vicente, gracias a ti estoy aquí y aunque no tuve la alegría de conocerte, sé que siempre estarás con nosotros.*

*Esther y Félix, por enseñarme muchas cosas en la vida y brindarme su apoyo incondicional que ha sido muy valioso e importante para mí, sobre todo en la etapa de mis estudios universitarios.*

*Estoy muy agradecido con todos ustedes. . . más que mis abuelitos, han sido como mis padres y sin ustedes no lo habría logrado ¡los quiero mucho!*

### *A mis tíos:*

*Adrián y Arturo, por convivir conmigo durante mi infancia, por consentirme en esa etapa y alegrarla con todos los juegos y momentos compartidos. . . siempre han sido como mis hermanos.*

*Vicente Emigdio y Sergio, que aunque no hemos convivido mucho, los estimo y espero sepan que siempre los tendré presentes en mi vida.*

*Cristina y Omar, por todos los momentos compartidos, por la confianza e interés en mí, pero sobre todo por su gran apoyo para que este trabajo se hiciera posible. . . siempre estaré agradecido con ustedes.*

*Magdalena, Claudia y Sonia, por todos los momentos vividos, por sus detalles y atenciones brindadas hacia mí.*

### *A todos mis familiares y amigos:*

*Por las experiencias vividas, por sus consejos, cariño, enseñanzas y atenciones, en especial a los que han estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida. Quiero decirles que estoy muy orgulloso de todos ustedes, y espero que tengan presente que siempre contarán con mi apoyo, sobre todo para los que se esmeran por obtener una carrera profesional ¡no descansaremos hasta lograrlo!*

***A todos mis compañeros de clase y profesores:***

*Compañeros con los que he compartido un salón de clases, desde el inicio de mis estudios hasta la carrera universitaria, por el tiempo que compartimos dentro y fuera de las aulas, por el compañerismo mostrado en las actividades grupales. . . pero sobre todo, por seguir formando parte importante en vida.*

*A todos mis profesores que han contribuido a mi formación, por compartirme su conocimiento y valores, los cuales me servirán para afrontar mi vida social y laboral. Estoy infinitamente agradecido con todos ustedes porque me han incentivado para concluir mi carrera profesional. . . siempre los tendré presentes.*

***Al departamento de Proyectos de Ahorro de Energía:***

*A todos los que lo forman, por brindarme la oportunidad de realizar mi servicio social y además, apoyarme con las herramientas necesarias para llevar a cabo el presente trabajo. Durante mi estancia con todos ustedes, he obtenido conocimientos importantes que me serán de gran utilidad en mi vida profesional, ¡muchas gracias!*

***A mi director de tesis:***

*M.J. Iván Urzúa Rosas, por los conocimientos, consejos y paciencia brindados desde que realicé mi servicio social, pero sobre todo por brindarme las herramientas necesarias para la elaboración del presente trabajo. . . gracias por ayudarme a concluir este proyecto.*

***A mis sinodales:***

*M.J. Augusto Sánchez Cifuentes, M.J. Héctor Mora García, Dr. Gonzalo Sandoval Rodríguez e Ing. Diana Zaragoza Lúñiga, por aceptar ser parte del presente trabajo, por su tiempo, por sus aportaciones y sobre todo por las observaciones brindadas para mejorar este proyecto.*

***A mi universidad:***

*Mi Alma Mater, de la cual me siento muy orgulloso. Estaré por siempre agradecido por permitirme ser parte de su historia y por haberme formado dentro de sus aulas; desde mis estudios de nivel medio superior en el Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel sur, hasta mis estudios universitarios en la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria. Mi querida UNAM, en mi corazón llevaré sus escudos, colores y legados, tratando de ser cada vez mejor persona y profesionista; poniendo en alto su nombre para que por siempre siga siendo la máxima casa de estudios de nuestro país. . .*

***"Por mi raza hablará el espíritu "***

***Alejandro Maqueda Flores.***

## INDICE

<b>Capítulo 1.- Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1- Radio UNAM.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2- Descripción del problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3- Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4- Alcance .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5- Metodología.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6- Resultados esperados.....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 2.- Eficiencia energética.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1- Definición.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2- Diagnóstico energético.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3- Beneficios de un diagnóstico energético.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4- Ahorro de energía eléctrica.....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 3.- Calidad de la energía eléctrica.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1- Tensión.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2- Distorsión de la forma de onda.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.1- Armónicos.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.2- Fluctuaciones de tensión.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3. Desbalance de tensión y corriente.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4. Demanda de energía eléctrica.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5. Factor de potencia.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6. Frecuencia.....</b>	<b>22</b>
<b>3.7. Factor “K”.....</b>	<b>23</b>
<b>Capítulo 4.- Diagnóstico energético.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Distribución de la carga instalada, análisis y uso general de la energía eléctrica. .</b>	<b>25</b>
<b>4.1.1. Cargas de cómputo.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.2. Cargas de misceláneos.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.3. Cargas de fuerza.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.4. Cargas de iluminación.....</b>	<b>26</b>

4.1.5. Distribución del consumo de energía eléctrica. ....	26
4.2. Niveles de iluminación.....	27
4.3. Indicadores energéticos .....	29
4.4. Medidas de Ahorro de Energía (MAE).....	31
4.4.1- MAE en cargas de cómputo. ....	32
Capítulo 5.- Facturación y cambio de tarifa eléctrica.....	46
5.1. Compañía suministradora CFE .....	46
5.2. Tarifa actual (03).....	46
5.2.1 Historial de demanda facturada en el año 2012. ....	47
5.3. Tarifa propuesta. ....	50
5.4. Análisis económico; estimación de ahorros. ....	53
5.5. Demanda eléctrica y capacidad del transformador. ....	54
Conclusiones y recomendaciones.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANÉXO 1.- Planos actuales de Radio UNAM. ....	70
ANÉXO 2.- Gráficas de parámetros eléctricos.....	75
ANÉXO 3.- Metodología para la medición de niveles de iluminación. ....	83
ANÉXO 4.- Parámetros considerados para la selección del sistema de iluminación propuesto.....	85
ANÉXO 5.- Simulación con luminarios propuestos. ....	95
ANÉXO 6.- Conceptos básicos de tarifas eléctricas. ....	100
ANÉXO 7.- Planos con apagadores y luminarios propuestos. ....	103
GLOSARIO .....	107
ACRÓNIMOS .....	109

## Capítulo 1

### Introducción

#### 1.1- Radio UNAM.

Radio UNAM es la emisora de la Universidad Nacional Autónoma de México. Representa un canal de difusión de la cultura y la ciencia en todas sus manifestaciones, de la diversidad de pensamiento y la música de calidad en beneficio de la comunidad universitaria y la sociedad, conforme a sus atribuciones legales y valores universitarios. Actualmente transmite 24 horas diarias, 365 días del año, en sus diversas frecuencias: XEUN-AM 860, XEUN-FM 96.1, Vía Satélite-SATMEX V (AM), Solidaridad II (FM), Internet (AM y FM).<sup>1</sup>

Las instalaciones de Radio UNAM se encuentran ubicadas en Adolfo Prieto #133, Benito Juárez, 03100 Distrito Federal. Cuenta con una edificación de 2 pisos, contando con un gran número de oficinas, algunas cabinas, una sala de computación, un auditorio y baños. En éste sitio se llevarán a cabo los objetivos del presente trabajo, analizando los usos de energía eléctrica en las áreas antes mencionadas de acuerdo a las posibilidades de acceso a cada uno de ellos.

La dependencia cuenta con suministro eléctrico por parte de Comisión Federal de Electricidad (CFE), el cual es trifásico en baja tensión 220[V], 60[Hz], con la tarifa 03 contratada actualmente.

#### 1.2- Descripción del problema.

Actualmente el suministro de energía eléctrica está comenzando a ser insuficiente, debido a que cada vez hay más actividades que requieren de este tipo de energía; la electricidad es muy útil en nuestra vida cotidiana. Por tal motivo, la calidad y el buen uso de la energía eléctrica permite a las empresas ser cada vez más competitivas, así el ahorro de energía es una alternativa viable para reducir costos de operación y mejorar los niveles de competitividad dentro del mundo industrial. Los usuarios de la energía eléctrica son los que generalmente detectan los posibles problemas de calidad de ésta; dichos problemas están relacionados principalmente con variaciones de tensión, transitorios, armónicos, etc. que afectan a los equipos sensibles, como son los que emplean dispositivos electrónicos, equipos de procesamiento, comunicaciones, iluminación y de control.

El presente proyecto se realiza a petición del Ing. Ignacio Espinoza, Subdirector de ingeniería en Radio UNAM, para conocer a fondo la demanda y variables eléctricas.

---

<sup>1</sup>[http://www.radiounam.unam.mx/images/Memoria/2013\\_DGRU\\_MEMORIA\\_PUBLICADA.pdf](http://www.radiounam.unam.mx/images/Memoria/2013_DGRU_MEMORIA_PUBLICADA.pdf)

Para satisfacer las necesidades de Radio UNAM, se deben utilizar diversos sistemas; como son los de comunicación, iluminación, calefacción, aire acondicionado, cómputo etc., que, desde el punto de vista eléctrico, llegan a ser una carga eléctrica altamente considerable. Es por ello que se debe garantizar la calidad de la energía, practicar su uso eficiente y llevar a cabo medidas viables de ahorro.

Por tal motivo, es necesario llevar a cabo un análisis de calidad y uso de la energía, para observar el consumo total, analizando las cargas conectadas e instaladas para que posteriormente se realicen medidas necesarias para mejorar el servicio y obtener un ahorro en el consumo eléctrico.

Además, gracias a que se le ha donado un transformador a Radio UNAM, se analizará la viabilidad de realizar un cambio de tarifa eléctrica de acuerdo a las características de carga instalada y demanda eléctrica que se tiene actualmente, para que con la tarifa propuesta, el costo de la energía sea menor y así obtener ahorros en la facturación eléctrica.

### **1.3- Objetivos.**

- ✓ Dar recomendaciones para la aplicación del ahorro y uso eficiente de energía en Radio UNAM, basadas en un estudio energético previo.
- ✓ Analizar la calidad de la energía con la información brindada por el analizador de señales, y en caso de presentarse problemas, proponer soluciones para solucionarlos o mitigarlos, para garantizar un sistema eléctrico seguro, confiable y continuo.
- ✓ Analizar los beneficios por el cambio de nivel de tensión: de baja tensión a media tensión (23[kV])

### **1.4- Alcance**

Se tratará de cumplir con los objetivos antes mencionados de acuerdo a las posibilidades de acceso del inmueble. Debido a que la solicitud por parte de la subdirección de ingeniería de Radio UNAM fue el monitoreo de los parámetros eléctricos, sólo se permitirá el acceso a las instalaciones durante el tiempo que se utilice para realizar ésta actividad.

La propuesta del análisis energético es iniciativa propia, por lo cual se llevarán a cabo las actividades correspondientes de éste proyecto de acuerdo al tiempo y acceso permitidos durante el monitoreo antes mencionado.

### 1.5- Metodología.

Se conocerá el estado del inmueble mediante una recopilación de datos mediante el siguiente procedimiento:

- ✓ Realizar un censo de carga en la dependencia para determinar algunos conceptos como carga instalada.
- ✓ Hacer un análisis de la calidad eléctrica, conectando un analizador de señales para observar las variables eléctricas del sistema (tensión, corriente, frecuencia, potencia, armónicos, factor de potencia, etc.), el cual nos aportará los valores y las gráficas del comportamiento de los parámetros eléctricos.
- ✓ Proponer soluciones a los problemas presentados en el inmueble basados en algunas normas y reglamentos, por ejemplo:

Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas (utilización), NOM-001-SEDE-2012.

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

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

Norma Oficial Universitaria. (1998). Instalaciones Electromecánicas emitida por la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM. México.

Reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica.

Especificación CFE L0000-45 "Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica".

- ✓ Se verificará que las instalaciones del inmueble cumplan con las normas anteriores, y en caso contrario se reportarán las fallas y se harán propuestas para solucionar los problemas.
- ✓ De acuerdo a la demanda y consumo eléctrico registrado en la facturación eléctrica y con las mediciones del analizador, realizar la propuesta del cambio de tarifa calculando los beneficios económicos.
- ✓ Realizar una conclusión final del proyecto, brindando propuestas y mostrando los beneficios obtenidos.

Para conocer las instalaciones de Radio UNAM y el diagrama unifilar se recomienda consultar el ANEXO 1.

La metodología a seguir para cumplir con los objetivos del presente trabajo se muestra en el siguiente diagrama:

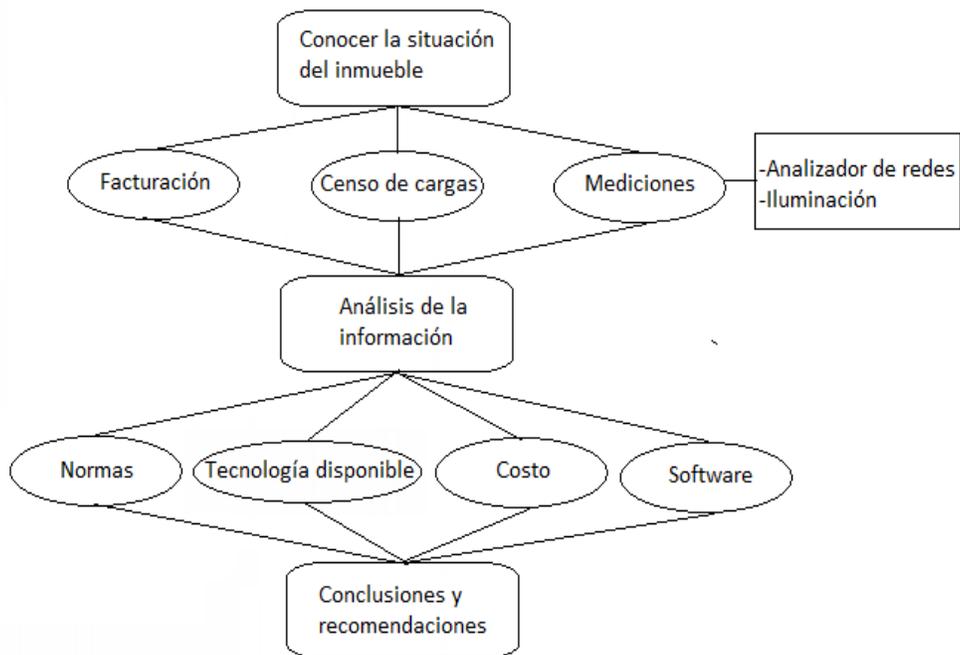


Figura 1.1- Metodología a utilizar.

**1.6- Resultados esperados.**

Sin duda alguna, este proyecto servirá para conocer el consumo y las variables eléctricas; analizando variaciones de tensión, sobre corrientes, factor de potencia, etc., y brindar soluciones en caso de presentarse problemas en dichos parámetros, garantizando la calidad de la energía eléctrica. Debemos de conocer, cuándo, cómo, dónde y cuánto se está utilizando de energía eléctrica, y si el consumo eléctrico es eficiente.

Al finalizar el estudio, analizaremos las posibles fallas o errores que se puedan presentar, y brindar recomendaciones para el nuevo sistema propuesto, brindando al usuario información sobre las posibles modificaciones que se le puedan hacer al sistema eléctrico de Radio UNAM y los beneficios obtenidos.

Por último, debemos de saber si es viable el cambio de tarifa eléctrica dependiendo de la demanda y consumo de la dependencia, detallando los posibles beneficios económicos, mediante tablas de comparación entre los costos de la energía con la tarifa actual y con la tarifa propuesta.

## Capítulo 2

### Eficiencia energética.

Durante este capítulo se proporcionará la definición de eficiencia energética, para reforzar conocimientos al lector y así facilitar el entendimiento de la importancia del análisis energético.

#### 2.1- Definición.

La eficiencia energética se define como la acción de reducir la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro con las mismas prestaciones pero un menor consumo de electricidad. Los hábitos de consumo no cambian, pero se consume menos energía ya que el consumo energético para llevar a cabo el mismo servicio es menor.

Para reducir al máximo el consumo eléctrico habría que implementar medidas de ahorro y eficiencia energética. Se obtendrían ahorros al modificar el comportamiento de uso y, además, también se ahorra electricidad al usar un equipo más eficiente. No se trata de disminuir la calidad de vida, sino de mantenerla, e incluso aumentarla. En resumen, se trata de consumir de una forma responsable.<sup>2</sup>

El principal fin de un diagnóstico energético es promover e inducir, con acciones y resultados, el uso eficiente de energía eléctrica, a través de proyectos que permitan la vinculación entre la innovación tecnológica y el consumo de energía eléctrica, mediante la aplicación de tecnologías eficientes.

Estos proyectos son utilizados para la modernización de instalaciones, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, de tal forma que con el ahorro y uso eficiente de la energía, se contribuya a la conservación de los recursos naturales no renovables. Estos proyectos permiten además desarrollar un mercado de consultoría y tecnologías de alta eficiencia, contribuyendo al crecimiento del empleo.<sup>3</sup>

#### 2.2- Diagnóstico energético

El diagnóstico energético nos ayuda a saber cuánto, cuándo, cómo, dónde y por qué se consume la energía, así como la forma de para establecer el grado de eficiencia en la utilización al determinar el índice energético de la dependencia.

Para ello, se requiere, tanto de una inspección minuciosa de las instalaciones, como de un análisis energético detallado de los consumos y la forma en que se use la energía. Las medidas que se implementan como resultado del diagnóstico energético, permiten alcanzar ahorros significativos en el corto, mediano y largo plazo.<sup>4</sup>

<sup>2</sup><http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

<sup>3</sup>[http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=219](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219)

<sup>4</sup>[http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion\\_control\\_demanda.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion_control_demanda.pdf)

### 2.3- Beneficios de un diagnóstico energético.

Cuando se realiza un diagnóstico energético se cuenta con la información para:

- ✓ Conocer el comportamiento y uso de la energía
- ✓ Evaluar cuantitativa y cualitativamente la energía que se consume
- ✓ Detectar áreas de oportunidad de ahorro y uso eficiente de energía
- ✓ Cuantificar los potenciales de ahorro de energía
- ✓ Analizar de manera detallada las instalaciones, a fin de estructurar propuestas técnicas viables, para ahorrar energía en los diversos sistemas eléctricos y térmicos
- ✓ Determinar la eficiencia energética de la dependencia o entidad en términos de índices energéticos
- ✓ Establecer un catálogo de acciones y medidas de ahorro
- ✓ Estimar la inversión requerida para la aplicación de las medidas de ahorro
- ✓ Determinación de beneficios energéticos, ambientales y económicos.<sup>5</sup>

### 2.4- Ahorro de energía eléctrica.

Actualmente el uso de la electricidad es fundamental para realizar gran parte de nuestras actividades; gracias a este tipo de energía tenemos una mejor calidad de vida. Gracias a la energía eléctrica obtenemos luz, calor, frío, imagen o sonido. Su uso es indispensable y difícilmente nos detenemos a pensar acerca de su importancia y de los beneficios al utilizarla eficientemente.

El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental para el aprovechamiento de los recursos energéticos; ahorrar equivale a disminuir el consumo de combustibles en la generación de electricidad evitando también la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera.

Ahorrar y usar eficientemente la energía eléctrica, así como cuidar el medio ambiente, no son sinónimo de sacrificar o reducir nuestro nivel de bienestar o el grado de satisfacción de nuestras necesidades cotidianas, por el contrario, un cambio de hábitos y actitudes pueden favorecer una mayor eficiencia en el uso de la electricidad, el empleo racional de los recursos energéticos, la protección de la economía y la preservación de nuestro entorno natural.<sup>6</sup>

La importancia del ahorro de energía eléctrica, es la forma más sencilla y eficaz para reducir las emisiones contaminantes, para reducir el calentamiento global del planeta y el cambio climático. Se obtienen ventajas para el medioambiente y la salud humana, al disminuirse el grado de contaminación del aire, respiramos mejor, vivimos en un entorno más limpio y menos contaminado.

---

<sup>5</sup>[http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion\\_control\\_demanda.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion_control_demanda.pdf)

<sup>6</sup><http://portalsej.jalisco.gob.mx/ahorro-energia>

La contaminación atmosférica ha provocado que en algunas ciudades, por ejemplo, la Ciudad de México, no estén permitidas las actividades deportivas durante semanas e incluso meses, y que las personas permanezcan en sitios cerrados, para evitar la respiración de los gases contaminantes disueltos en el aire.

Las ventajas no solo son para el medio ambiente, sino que también son económicas y nos afectan como consumidores, ya que cada vez el precio de la energía eléctrica ha ido en aumento en los últimos años. Al modificar los hábitos de consumo o sustituir los aparatos eléctricos por otros más eficientes también nos permite ahorrar dinero.

Los problemas sobre el medioambiente, la salud humana y el agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos, que se derivan de la forma en que producimos y consumimos energía, han obligado a muchos países a tener que tomar medidas para:

- ✓ Reducir la utilización de combustibles fósiles.
- ✓ Aumentar la eficacia y la eficiencia de la tecnología, mejorando el rendimiento de los procesos utilizados en la producción y transporte de la energía y, el de los equipos y aparatos que utilizamos.
- ✓ Promover una cultura del ahorro basada en mejorar y optimizar el uso de la energía.

La eficiencia y el ahorro energético se relacionan con el uso racional de la energía. Esto significa aprovechar los recursos energéticos de manera inteligente, de modo que se logre mantener o incluso, mejorar nuestra calidad de vida con menos consumo energético, reducir los costes de energía y cuidar el medioambiente.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup><http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

## Capítulo 3

### Calidad de la energía eléctrica.

Debido a los avances tecnológicos, el incremento de la demanda eléctrica y los costos de energía, se ha tenido más consideración a la calidad de la energía. La calidad de la energía eléctrica es un tema relativamente nuevo y es un área compleja que cubre gran cantidad de temas. Los problemas de calidad de la energía pueden permitir diferentes soluciones, por lo que la elección óptima a un problema es por lo general una mezcla de soluciones para una situación específica. Es necesario identificar el problema y evaluar las posibles soluciones, principalmente por razones económicas, pues algunas soluciones requieren mayores inversiones.<sup>8</sup>

Equipos como variadores de velocidad de motores, equipos de iluminación, cómputo, rectificadores, etc. producen corrientes armónicas que circulan a lo largo de toda la instalación, provocando calentamiento en los conductores y transformadores.

La medición de las variables eléctricas en el suministro de energía en Radio UNAM, nos permitirá tomar decisiones de cómo, cuándo y por qué estamos utilizando esa energía y nos dará la capacidad de buscar alternativas para la corrección de cualquier problema detectado.

En este capítulo se definen conceptos característicos de variables eléctricas utilizadas en este trabajo para analizar la calidad de la energía. Además se muestran los resultados obtenidos de las mediciones, haciendo una comparación con los rangos permitidos por las normas pertinentes.

El sistema de alimentación de Radio UNAM es trifásico (3 Fases – 4Hilos) con 2H – 250KCM por fase, 2H – 250 KCM neutro, 220[V], 60 [Hz] y cuenta con una planta de emergencia de 250[kW] de la marca IGSA. El transformador que se considera conectar al sistema es trifásico con capacidad de 225[kVA], y 4.52% de impedancia.

El monitoreo se realizó con el analizador de redes y calidad de la energía eléctrica marca AEMC modelo 3945, el cual fue instalado a la salida del tablero de transferencia de la planta de emergencia, para que así, se observe la energía entregada por la planta de emergencia en caso de un corte en el suministro eléctrico.

El analizador fue conectado durante una semana, siendo la primera medición a las 12:00am del día martes 26 de Febrero del 2013, y la última medición realizada el día martes 5 de Marzo del 2013 a las 12:00am, con un periodo de muestreo de 5 minutos, dándonos un total de 2017 muestras.

---

<sup>8</sup>Baggini, A. (1998). Handbook of Power Quality. Italy: John Wiley & Sons Enríquez.

Las variables a analizar son: tensión, corriente eléctrica, desbalance en tensión y corriente, porcentaje de Distorsión Armónica Total (*DAT%*) en tensión y corriente, frecuencia, factor de potencia, *flicker* y factor "K".

A continuación se analiza el comportamiento de las variables eléctricas:

### 3.1- Tensión.

Basándonos en el Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en el artículo 18° del Capítulo V Del Suministro y venta de Energía Eléctrica, en el apartado II, nos menciona que: *"las tolerancias en el voltaje de alta, media o baja tensión no excedan de diez por ciento en más o en menos y tiendan a reducirse progresivamente"*.

Esto quiere decir, que en nuestro caso, la tensión de alimentación que se debe proporcionar es de 127[V] (tensión medida de fase-neutro) esto para cada una de las 3 fases y que la tolerancia no debe exceder el 10% en más o en menos, es decir, la tensión entre fase y neutro debe de estar dentro del rango de 114.3[V] a 139.7[V] cada una.

En la siguiente tabla podemos observar los valores máximo, mínimo y promedio de tensión en cada una de las tres fases:

TENSIÓN [V]			
FASE	A	B	C
<b>MAXIMO</b>	131.8	132.6	133.7
<b>MINIMO</b>	122.3	122.3	122.3
<b>PROMEDIO</b>	129.6	130.8	131.4

Tabla 3.1-Valores de tensión medidos: máximo mínimo y promedio por cada fase.

Podemos apreciar en la tabla 3.1 los valores de tensión para cada una de las tres fases. Observamos que los valores están dentro del rango permitido por el reglamento de la ley del servicio público mencionado anteriormente, ya que en ningún momento se rebaza la tolerancia indicada. Es muy importante tener la variable de tensión en sus valores nominales, para mantener funcionando correctamente las cargas eléctricas en el inmueble.

Para observar mejor el comportamiento del valor eficaz (RMS) de tensión, consultar las gráficas del ANEXO 2. En conclusión, no se reportan anomalías de la variable de tensión.

### 3.2- Distorsión de la forma de onda.<sup>9</sup>

La distorsión de la forma de onda es una desviación del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente, por el contenido espectral de la desviación.

<sup>9</sup> <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>

### 3.2.1- Armónicos

La especificación de CFE L0000-45 da la siguiente definición de armónica: “*Componente senoidal de una onda periódica no senoidal llamada fundamental, que tiene una frecuencia correspondiente a un número múltiplo entero de la onda de frecuencia fundamental*”, que en el caso de nuestro país, la frecuencia fundamental es de 60 [Hz]. En otras palabras, los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema y son debidos a características no lineales de los dispositivos y cargas en el sistema. Estos dispositivos pueden ser fuentes de corriente que inyectan corrientes armónicas en el sistema. La distorsión de la corriente provoca la distorsión de la tensión.

Actualmente puede encontrarse un número importante de cargas no lineales: televisores, computadoras personales, videograbadoras, equipos de audio, hornos a microondas, lámparas fluorescentes compactas, etc., las que introducen un elevado contenido armónico de corriente en la red de distribución. Muchos de estos dispositivos utilizan fuentes rectificadoras, que en esencia consisten en diodos rectificadores de onda completa que alimentan a un capacitor conectado en paralelo con la carga. La carga y descarga del condensador provoca distorsiones en la forma de onda de la corriente presentando crestas puntiagudas.

Las cargas no lineales originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro. Esto puede ser peligroso para algunos equipos y cargas sensibles (ej. dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, etc.), además de los problemas de calentamiento que originan en las líneas y transformadores de distribución.

Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia. Los sistemas eléctricos tienen señales periódicas; por ejemplo, una tensión distorsionada se puede representar como:

$$V(t) = V_1 \cos(\omega t + \theta_1) + V_2 \cos(2\omega t + \theta_2) + V_3 \cos(3\omega t + \theta_3) + \dots [1]$$

Donde:

$V_n$ : Es la amplitud de la armónica n.

$\theta_n$ : Es la fase de la armónica n.

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio en por ciento denominado Distorsión Armónica Total (*DAT%*) o en inglés *Total Harmonic Distortion (THD%)*. Puede ser aplicable tanto para corriente como para tensión. Este índice se define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental.

Este valor es usualmente expresado como un porcentaje de la onda fundamental. Así para la onda de corriente será:

$$DATD\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H I_h^2}{I_1^2}} \times 100 \tag{2}$$

Donde:

*DATD%*: Distorsión Armónica Total en Demanda en porciento

*I<sub>h</sub>*: Componente de la “h” armónica en corriente.

*I<sub>1</sub>*: Componente de frecuencia fundamental en corriente.

*h*: Número de armónica.

*H*: 25 como mínimo

De forma similar se expresa la distorsión en la tensión:

$$DATT\% = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H V_h^2}{V_1^2}} \times 100 \tag{3}$$

Donde:

*DATT*: Distorsión Armónica Total en Tensión

*V<sub>h</sub>*: Componente de la “h” armónica en tensión.

*V<sub>1</sub>*: Componente de frecuencia fundamental en tensión.

*h*: Número de armónica.

*H*: 25 como mínimo

En la siguiente gráfica se muestra un ejemplo de distorsión en la onda debido a armónicos:

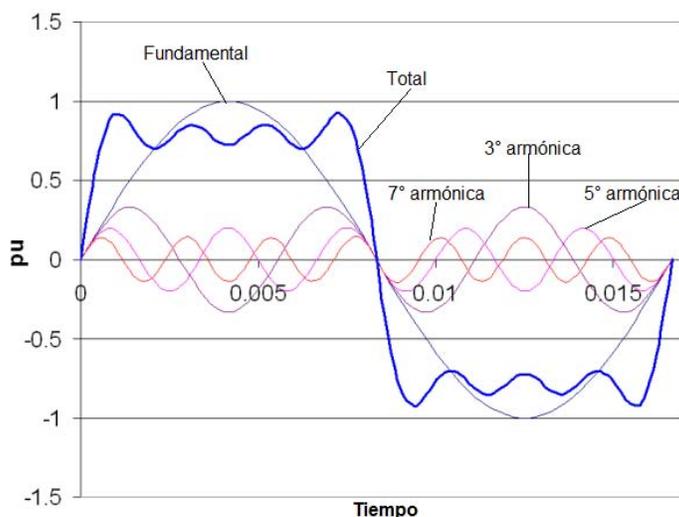


Figura 3.1- Gráfica de corriente armónica.<sup>10</sup>

El análisis de Fourier aplicado a la tensión y a la corriente distorsionada en un sistema eléctrico, consiste en calcular la magnitud y fase de la fundamental y de cada una de las armónicas.

<sup>10</sup>[http://www02.abb.com/global/clabb/clabb151.nsf/0/a00d8896c8e9ac57c1257a090078d63a/\\$file/Transformers+especiales+Hern%C3%A1n+Escarria.pdf](http://www02.abb.com/global/clabb/clabb151.nsf/0/a00d8896c8e9ac57c1257a090078d63a/$file/Transformers+especiales+Hern%C3%A1n+Escarria.pdf)

Los resultados de los análisis se pueden representar en forma de un histograma denominado espectro de magnitud y de fase. En esta gráfica como su nombre lo indica, informa el valor de cada una de las armónicas, tomando como base el valor de la fundamental.

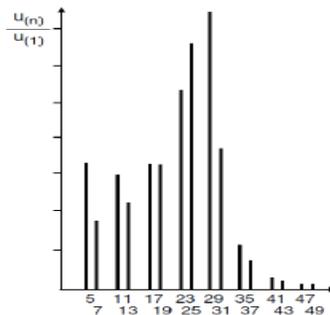


Figura 3.2.- Ejemplo de Histograma de espectro armónico.<sup>11</sup>

Generalmente para la mayoría de las cargas no lineales, la magnitud de los armónicos disminuye conforme aumenta su orden.

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- ✓ Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
- ✓ Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
- ✓ Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- ✓ Provocan la disminución del factor de potencia.
- ✓ Están asociados con el calentamiento de condensadores.
- ✓ Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.
- ✓ Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.
- ✓ Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.

La mitigación de los efectos nocivos de los armónicos puede llevarse a cabo mediante:

- ✓ La utilización de filtros pasivos para mitigar los armónicos indeseables.
- ✓ Utilización de transformadores de aislamiento.
- ✓ Uso de filtros activos.
- ✓ Uso de reactores de línea.
- ✓ Uso de transformadores en conexión zig-zag.

<sup>11</sup>Baggini, A. (1998). *Handbook of Power Quality*. Italy: John Wiley & Sons.

*Distorsión Armónica Total en Tensión (DATT%)*

De acuerdo a la especificación CFE L0000-45, TABLA 2-“Límites máximos de Distorsión Armónica Total en Tensión en el punto de acometida” nos muestra los límites máximos permitidos de DATT de acuerdo a la tensión de alimentación. La tabla se muestra a continuación:

Tensión [kV]	DATT%
Menor de 1	8
De 1 a 35	6,5
Mayor de 35	3

Tabla3.2-“Límites máximos de Distorsión Armónica Total en Tensión en el punto de acometida”  
Fuente: Especificación CFE L0000-45 TABLA 2

La tensión de alimentación que tenemos en la dependencia es de 127 [V<sub>F-N</sub>] y 220[V<sub>F-F</sub>] por lo tanto los límites máximos de *DATT%* son de 8%.

Se tabularon los resultados máximos, mínimos y promedio mostrados por el analizador, los cuales se muestran a continuación:

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN TENSIÓN [%]			
FASE	A	B	C
MÁXIMO	3.2	2.7	3.1
MÍNIMO	1.4	1.2	1.5
PROMEDIO	2.1	1.9	2.2

Tabla 3.3- Resultados en la medición de *DATT%*.

De acuerdo a la tabla anterior, nos muestra los valores mínimo, máximo y promedio de *DATT%* para cada fase, los cuales se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos en la norma, por lo cual podemos concluir que no hay problema con éste parámetro. Para mayor visualización del comportamiento de la *DATT%*, la gráfica se encuentra en el ANEXO 2.

*Distorsión Armónica Total en Demanda (DATD%)*

En el caso de la distorsión armónica en corriente los límites están determinados por el tamaño relativo de la carga con respecto al sistema del que se alimenta y se expresa como el cociente entre la corriente de corto circuito (*I<sub>cc</sub>*) y la corriente de demanda máxima (*I<sub>L</sub>*), a la frecuencia fundamental.

De acuerdo a la especificación CFE L000-45 TABLA 3-“Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV” nos muestra los límites máximos permitidos para la *DATD%* de acuerdo a la impedancia relativa del sistema.

Para calcular la impedancia relativa se necesita la corriente de corto circuito del sistema, la cual se obtiene con ayuda del método del bus infinito:

$$I_{cc} = \left[ \frac{VA_{Transformador}}{(\sqrt{3})(V_{f-f})} \right] \left[ \frac{100}{\%Impedancia} \right] \quad [4]$$

Donde:

$I_{cc}$ : Corriente de corto circuito

$VA_{Transformador}$ : Capacidad del transformador en [VA]

$V_{f-f}$ : Tensión entre fases

$\%Impedancia$ : Porcentaje de impedancia del transformador

Se consideró este método porque con él se puede calcular la corriente de corto circuito máxima que puede ofrecer el sistema, estando en el caso extremo y así realizar el cálculo de máximas magnitudes de corriente.

De acuerdo a los datos del transformador, se sustituyen en la ecuación anterior para obtener la  $I_{cc}$ :

$$I_{cc} = \left[ \frac{225,000}{(220)(\sqrt{3})} \right] \left[ \frac{100}{4.52} \right] = 13,064[A] \quad [5]$$

Para calcular la corriente máxima de carga  $I_L$ , utilizamos el historial de demanda máxima medida en el año 2012 brindado por el recibo de facturación (ANEXO 6), donde se muestra que el valor máximo medido fue en el mes de Junio, con un valor de 72[kW] y un factor de potencia de 97.24, con éstos datos obtenemos la  $I_L$ , como se muestra a continuación:

$$I_L = \frac{72,000}{(\sqrt{3})(220)(0.9724)} = 194.31[A] \quad [6]$$

Finalmente calculamos la impedancia relativa:

$$I_c/I_L = \frac{13,064}{194.31} = 67.23 \quad [7]$$

Con la Impedancia relativa obtenida, observamos los valores máximos permitidos de  $DATD\%$  en la siguiente tabla:

Impedancia relativa ( $I_{cc}/I_L$ )	DATD%
$(I_{cc}/I_L) < 20$	5
$20 \leq (I_{cc}/I_L) < 50$	8
$50 \leq (I_{cc}/I_L) < 100$	12
$100 \leq (I_{cc}/I_L) < 1\ 000$	15
$(I_{cc}/I_L) \geq 1\ 000$	20

Tabla 3.4- "Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV"  
Fuente: Especificación CFE L000-45 TABLA 3

Para la impedancia relativa que obtuvimos ( $I_{cc}/I_L$ ), la  $DATD\%$  máxima permitida es de 12%.

Los resultados de la medición son los siguientes:

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN DEMANDA [%]			
FASE	A	B	C
MÁXIMO	14.4	11.0	20.9
MÍNIMO	4.7	4.2	3.9
PROMEDIO	8.6	4.2	9.8

Tabla 3.5- Resultados de la medición de *DATD*%.

Observando el promedio de los valores registrados en las 3 fases, concluimos que están dentro del rango permitido de acuerdo a la especificación CFE L0000-45. TABLA 3, pero se observa que los valores máximos en la fase A y en mayor rango la fase C, sobre pasan el 12% máximo permitido.

Analizando los resultados de la medición, de acuerdo al total de 2017 mediciones, identificamos el número de valores que exceden al 12% los cuales se muestran en la siguiente tabla:

VALORES QUE EXCEDEN EL 12% PERMITIDO EN <i>DATD</i> %			
FASE	A	B	C
# Valores >12%	74	0	477
% Valores >12%	4%	0%	24%

Tabla 3.6- Porcentaje de datos de *DATD*% que exceden el 12% permitido.

Del total de datos obtenidos, el 4% se encuentran por arriba del máximo permitido en la fase A, en la fase B todos los valores están de acuerdo a la especificación, mientras que en la fase C tenemos 477 muestras, representando un 24% del total de mediciones. En el gráfico del ANEXO 2, se puede apreciar los valores de *DATD*% que sobrepasan el límite permitido, y mostrando la hora aproximada cuando esto sucede. Se tomarán en cuenta estos valores para analizarlos en la conclusión de éste trabajo

### 3.2.2- Fluctuaciones de tensión.

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos de tensión especificados. Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas "*flicker*" o también conocido por sus siglas en inglés "*PST*" (*Perceptibility Short Term*- Perceptibilidad corto plazo).

El término *flicker* se deriva del impacto de las fluctuaciones de iluminación en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como parpadeo. Una de las causas más comunes de las fluctuaciones de tensión en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco. En otros sistemas más débiles las fluctuaciones se pueden deber a la presencia de equipos de soldadura por arco y cargas similares.

La señal de *flicker* se define por su magnitud R.M.S. expresada como por ciento de la tensión nominal. Típicamente magnitudes tan bajas como 0,5% de la tensión del sistema pueden producir un parpadeo en las lámparas perceptible por el ojo humano.

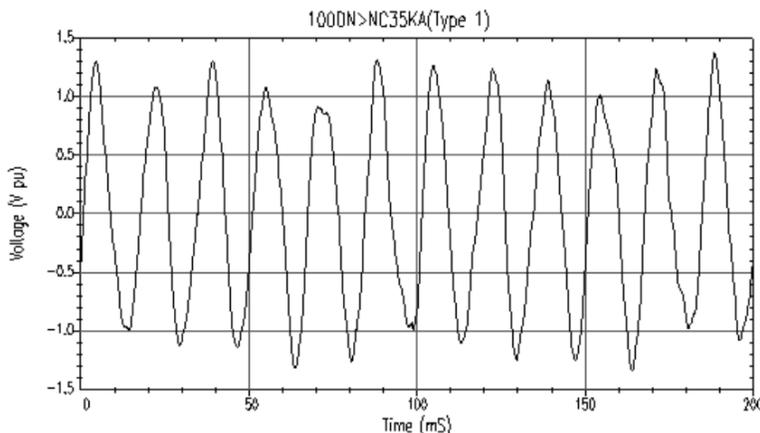


Figura 3.3- Fluctuaciones de Tensión (*flicker* o PST) Fuente: Norma IEEE Estándar 1159 de 1995.

Como vemos en la gráfica anterior, las variaciones de tensión pueden ser crestas o valles, y éstas deforman la onda senoidal de tensión, disminuyendo el valor nominal de tensión.

Además, las variaciones se clasifican de acuerdo a su tiempo de duración (corta y larga duración) y a la magnitud del valor eficaz. Se dice que el sistema sufre una interrupción en el servicio eléctrico cuando el valor pu es menor al 0.1. Todos estos tipos de fluctuaciones afecta a las cargas eléctricas, y algunas veces se pueden notar en los equipos de iluminación, al sufrir parpadeos dependiendo del tipo de variación.

*Variaciones de Tensión de Corto Plazo (PST) o flicker (flk).*

El PST (*Perceptibility Short Term- Perceptibilidad corto plazo*) o *flicker*, es un indicador de cómo varía la tensión. El sistema debe de estar dentro del rango permitido para el correcto funcionamiento de los equipos, o de lo contrario, podrían dañarse.

En la especificación CFE-L000045, TABLA 1- “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica”, nos muestra los valores permisibles de las variaciones de tensión.

Indicador	Límite
<b>Pst</b>	≤1
<b>Plt</b>	≤0,65
<b>dt</b>	≤3,3% Durante el cambio de tensión para más de 500 ms
<b>dc</b>	≤3,3%
<b>dmax</b>	≤4% Sin condiciones adicionales
	≤6% Para equipo que es conmutando manualmente o con una frecuencia mayor a 2 veces por día y también con arranque retardado de más de 10 s, o arranque manual después de una interrupción en el suministro de energía.
	≤7% Para equipo que es conmutado hasta dos veces al día.

Tabla 3.7- “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” Fuente: Especificación CFE-L000045, TABLA 1

De acuerdo a las mediciones obtenidas por el analizador de señales, se muestran los datos máximo, mínimo y promedio del PST en la siguiente tabla:

PST			
FASE	A	B	C
<b>MÁXIMO</b>	1.03%	1.03%	1.21%
<b>MÍNIMO</b>	0.34%	0.31%	0.23%
<b>PROMEDIO</b>	0.431%	0.435%	0.347%

Tabla 3.8- Resultados de la medición del PST.

En la tabla anterior nos muestra los valores máximos, mínimos y promedio del PST, en los cuales observamos que los valores promedio se encuentran dentro del límite permitido. Algunos valores sobre pasan el 1% permitido, pero de acuerdo con el promedio de los valores medidos en las tres fases, concluimos que no hay problemas con éste indicador.

### 3.3. Desbalance de tensión y corriente

El desbalance o desequilibrio de tensión es una perturbación que se presenta en suministros trifásicos. Ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje.

El desbalance también puede ser definido usando componentes simétricas como la relación de la componente de secuencia cero ó la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, expresada en porcentaje.

El desbalance de tensión afecta principalmente a cargas trifásicas, en especial a maquinaria eléctrica rotatoria con calentamiento y vibración adicional a la condición normal. El desbalance de tensión puede tener como origen el desbalance de la corriente de la demanda o asimetrías en la red de suministro: líneas de transmisión no transpuestas, cargas monofásicas no balanceadas en las tres fases, entre otras.

Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta, fallas de aislamiento en conductores no detectadas, etc.

En la siguiente gráfica podemos apreciar un ejemplo de desbalance de tensión:

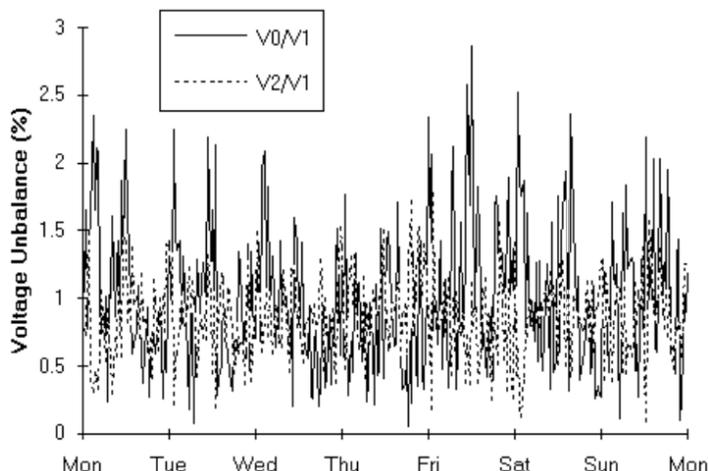


Figura 3.4- Desequilibrio de Tensiones. Fuente: Norma IEEE Estándar 1159 de 1995.

De acuerdo a la especificación CFE L000-45. Tabla 6 “Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida”, nos menciona los límites máximos permisibles de desbalance de tensión. La tabla se muestra a continuación:

Tensión [kV]	Desbalance %
Menor de 1	3
Mayor o igual de 1	2

Tabla 3.9- “Desbalance máximo de tensión en el punto de acometida”  
Fuente: Especificación CFE L000-45.Tabla 6

Los resultados de la medición son los siguientes:

DESBALANCE EN TENSIÓN [%]	
MÁXIMO	1.7
MINIMO	0.0
PROMEDIO	0.8

Tabla 3.10- Resultados de la medición de desbalance de tensión.

Tomando los datos de la medición, se observa que están dentro del rango permitido de acuerdo a la especificación, pues ningún valor sobre pasa el límite permitido del 3%, por lo tanto no representa algún problema éste parámetro, a pesar de tener PST y DATD fuera de lo permitido.

*Desbalance en corriente*

Al igual que el desbalance de tensión, el desequilibrio de corriente es producido por cargas monofásicas conectadas en sistemas trifásicos, sin mantener una igualdad de carga en cada una de las líneas.

De la gráfica que muestra la demanda en corriente eléctrica (ANEXO 2), observamos que la corriente varía en cada una de las fases, pues en la fase B se concentra una mayor demanda con respecto a las otras 2 fases. Los valores los podemos analizar más adelante en la tabla de desbalance en corriente.

En la especificación CFE L000-45. TABLA 7-“Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida”, nos muestra los límites de desbalance de corriente permisibles. Dicha tabla se muestra a continuación:

Impedancia Relativa (I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub> )	Desbalance %		
	Menor a 1 kV	De 1 kV a 35 kV	Mayor a 35 kV
(I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub> ) < 20	5	2,5	2,5
20 ≤ (I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub> ) < 50	8	4	3
50 ≤ (I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub> ) < 100	12	6	3,75
100 ≤ (I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub> ) < 1000	15	7,5	4
(I <sub>cc</sub> /I <sub>L</sub> ) ≥ 1 000	20	10	5

Tabla 3.11- “Desbalance máximo permitido de corriente en el punto de acometida” Fuente: Especificación CFE L000-45.TABLA 7

Los resultados obtenidos de la medición son los siguientes:

DESBALANCE EN CORRIENTE [%]	
MÁXIMO	35.5
MINIMO	0.9
PROMEDIO	13.3

Tabla 3.12- Resultados de la medición del desbalance en corriente

De los cálculos anteriormente hechos, obtuvimos un valor de impedancia relativa=98, y el valor de la tensión es menor a 1[kV], por lo tanto, de acuerdo a la TABLA 7 de la especificación CFE, el desbalance de corriente debe ser menor al 12%, lo cual no se cumple. Solo el 42% de los registros se encuentran dentro del rango permitido.

De la gráfica de demanda de corrientes (ANEXO 2) vemos que existen corrientes en el conductor Neutro, esto se debe al desbalance de cargas, ya que se tiene mayor demanda en la fase B. Además, esto puede provocar un desbalance en tensión (en éste caso no ha ocurrido).Es conveniente realizar medidas para corregir éste problema que es originado por la demanda irregular que hay entre las tres líneas, por lo que se tomará en cuenta el incumplimiento de éste parámetro y en la conclusión del presente trabajo se propondrá una solución

### 3.4. Demanda de energía eléctrica.

Como se mencionó anteriormente, el sistema de alimentación principal del inmueble es de 3 fases-4Hilos, 2Hilos-250KCM por fase y 2Hilos-250KCM en Neutro y el interruptor principal es trifásico de 500[A].

De acuerdo con la tabla 310-15(b) de la NOM-001-SEDE-2012“Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2,000 [V] nominales y 60 °C a 90 °C”, los conductores de alimentación tienen una ampacidad nominal de 255 [A] por cada conductor, debido a que son 2 conductores por fase, nos da un total de 510 [A], por lo tanto el interruptor sí protege a los conductores de una sobrecarga.

A continuación se muestran las mediciones obtenidas por el analizador en la semana de medición:

CORRIENTE [A]				
FASE	A	B	C	NEUTRO
<b>MÁXIMO</b>	123	133	115.4	49.9
<b>MÍNIMO</b>	39.3	43.5	26.9	14.3
<b>PROMEDIO</b>	66.8	72.6	60	23.8

Tabla 3.13- Demanda en corriente eléctrica.

De la tabla se observa que el valor máximo registrado en las mediciones es de 133[A] en la fase B, valor que está muy por debajo de la ampacidad por fase, representando el 26.6% del valor de la protección. La protección protege correctamente a los conductores de sobre corrientes pero, estos están sobrados con respecto a la corriente de máxima demanda medida que circula por ellos. Además, se observa que la demanda en corriente promedio es mayor en la fase B, contrariamente que en la fase C, que es el menor valor promedio de las tres fases. Para corregir dicho problema se sugiere un balanceo de cargas, compensando la fase C con carga de la fase B. En la conclusión del presente trabajo se tratará este problema con mayor detalle. En la siguiente tabla se muestra la demanda eléctrica que registró el analizador:

DEMANDA ELÉCTRICA		
	[W]	[VA]
<b>MÁXIMO</b>	37,949.68	38,856.31
<b>MÍNIMO</b>	14,343.48	14,832.58
<b>PROMEDIO</b>	25,189.69	25,895.66

Tabla 3.14- Demanda eléctrica en [W] y [VA].

Los valores de la tabla anterior serán de gran utilidad para la selección de la tarifa propuesta, que se tratará en el capítulo 5 del presente trabajo.

### 3.5. Factor de potencia.<sup>12</sup>

El factor de potencia (F.P.) es la relación que existe entre la potencia activa [W] y la potencia aparente [VA] y se puede determinar con la expresión:

$$FP = \cos \alpha = \frac{P}{S} = \frac{W}{VA} \tag{8}$$

Donde:

$FP = \cos \alpha$  =: Factor de potencia

P: Potencia activa

S: Potencia aparente

<sup>12</sup><http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>

Es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la potencia de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, y la compañía suministradora (CFE) recomienda lo siguiente:



Figura 3.5- Recomendación para valores del FP. <sup>13</sup>

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que la potencia real es igual a la potencia aparente. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Considerando lo anterior el factor de potencia por debajo del 90 significa una potencia mayor a la estrictamente necesaria y en consecuencia un incremento innecesario en el importe de facturación por este concepto.

De acuerdo al comportamiento del factor de potencia se aplica una penalización cuando el F.P. es < al 90, o bonificación cuando el F.P. es > al 90% conforme a lo siguiente:

CONCEPTO	FÓRMULA	% MÁXIMO APLICABLE
BONIFICACIÓN	$\frac{1}{4} \left[ 1 - \left( \frac{90}{F.P.} \right) \right] \times 100$	2.5
PENALIZACIÓN	$\frac{3}{5} \left[ \left( \frac{90}{F.P.} \right) - 1 \right] \times 100$	120

Figura 3.6- Bonificación y penalización por parte de CFE. <sup>14</sup>

Factor de potencia adelantado: Cuando la intensidad de corriente está adelantada respecto a la tensión, se dice que tiene un F.P. adelantado. Esto se presenta en un circuito capacitivo.

Factor de potencia atrasado: Cuando la intensidad de corriente está atrasada respecto a la tensión, se dice que tiene un Factor de Potencia atrasado. Esto se presenta en un circuito inductivo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las mediciones del factor de potencia (valores máximo, mínimo y promedio) para cada una de las 3 fases:

FACTOR DE POTENCIA			
FASE	A	B	C
MÁXIMO	1.00	1.00	0.98
MÍNIMO	0.95	0.95	0.83
PROMEDIO	0.99	0.99	0.93

Tabla 3.15- Resultados de las mediciones del F.P.

<sup>13, 12</sup><http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energa/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>

Anteriormente se mencionaron los valores del factor de potencia en los cuales CFE genera recargos o bonificaciones; para valores menores a 90 se genera una penalización, la cual podrá ser como máximo del 120%. En cambio, se puede obtener una bonificación al tener valores del factor de potencia arriba de 90, la cual será como máximo un 2.5%.

En la tabla 3.15 observamos que los valores promedio en las tres fases se encuentran aceptables de acuerdo a lo recomendado por CFE para obtener una cierta bonificación, pero en la fase C, hay un lapso de tiempo en el cual el factor de potencia se encuentra por debajo del 90 en el periodo de las 21:00hrs del miércoles 27 de febrero a las 9:00hrs del jueves 28 del mismo mes, tomando como valor mínimo 83 (ver gráfica del ANEXO 2).

Para conocer concretamente la causa de este fenómeno se requiere llevar a cabo una medición puntual, es decir, tener mediciones en cada uno de los tableros para identificar el origen de la variación del F.P., para observar el comportamiento especialmente en la fase C y así llevar a cabo medidas de corrección.

Al analizar el F.P. promedio total, se concluye que el valor es adecuado; está dentro del rango recomendado por CFE, obteniendo una bonificación al estar por arriba del 90, en general, no hay problemas con éste parámetro. En la gráfica correspondiente a esta variable (ANEXO 2) podemos apreciar el comportamiento del factor de potencia durante el tiempo de medición.

A continuación se calcula el F.P. con las mediciones obtenidas por el analizador de señales, con los parámetros de energía real [Wh] y aparente [VAh]:

$$F.P. = \frac{E_{real} (Wh)}{E_{aparente} (VAh)} = \frac{4,224,361.83(Wh)}{4,372,199.45(VAh)} = 96.61 \quad [9]$$

El valor del F.P. calculado se asemeja al valor promedio medido por CFE del año 2012 que es de 98 (ver ANEXO 6). El cálculo que realizamos anteriormente solo fue para el F.P. de la semana en la que se realizó la medición y CFE hace la medición del valor mensual acumulado. Podemos añadir que el valor calculado está dentro de lo recomendado por CFE para recibir una bonificación en la facturación del periodo.

### 3.6. Frecuencia.

La frecuencia es una variable muy importante en el sistema de alimentación eléctrica y su variación es la desviación con respecto del valor nominal especificado del sistema. Está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores eléctricos. En cualquier instante la frecuencia depende del balance entre las cargas y la capacidad disponible de generación.

Las variaciones de frecuencia que están fuera de los límites de aceptación para el funcionamiento normal del sistema de potencia normalmente son causadas por fallas de secuencia negativa.<sup>15</sup>

<sup>15</sup><http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>

Es más frecuentemente que ocurra una variación de frecuencia cuando un equipo es alimentado por un generador aislado del sistema eléctrico nacional. Mantener la frecuencia dentro de ciertos rangos, es primordial para el buen funcionamiento y estabilidad de los sistemas eléctricos, esto se logra cuando la cantidad de energía generada es igual a la cantidad demandada.

De acuerdo al Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en su Artículo 18°-I nos menciona que “los valores de frecuencia deben de ser de 60 [Hz], con una tolerancia de 0.8 por ciento en más o en menos”, o sea, la frecuencia debe de estar en el rango de 59.52 [Hz] a 60.48 [Hz].

De la gráfica de frecuencia del sistema (ANEXO 2), observamos que hay un momento en el que la frecuencia del sistema tiene un decremento por debajo de los límites permisibles, ocurrido el segundo día de la medición, el día 22 de febrero del 2013 a las 15:10 hrs, mismo momento cuando se detectó un decremento en tensión. Posiblemente se haya provocado una pequeña falla o conexión de una carga de gran demanda en el sistema de distribución o en el sistema interno, lo que ocasionó éste comportamiento en la gráfica de frecuencia y tensión. En la siguiente tabla podemos apreciar los valores máximos, mínimos y promedio de la frecuencia durante el periodo de muestreo:

FRECUENCIA [Hz]	
MÁXIMO	60.12
MÍNIMO	57.64
PROMEDIO	60

Tabla 3.16- Resultados de la medición de frecuencia.

El valor promedio se encuentra dentro del rango permitido, y omitiendo el decremento instantáneo mencionado anteriormente no tenemos problemas con éste parámetro eléctrico. Al realizar las conclusiones se analizará a detalle dicha variación.

### 3.7. Factor “K”.

En EEUU, en 1989, se pensó en cuantificar el calentamiento producido en los transformadores cuando se presentan armónicos. En esta situación el transformador no debe funcionar a su potencia nominal y debe o cambiarse por otro de mayor potencia o disminuirse la carga. El transformador se “desclasifica” asociándole una potencia equivalente.

Esta potencia equivalente es igual a la potencia basada en el valor eficaz de la corriente no sinusoidal multiplicada por el factor “K”. Este factor “K” se define como aquel valor numérico que representa los posibles efectos de calentamiento de una carga no lineal sobre el transformador.

En Estados Unidos la asignación de “K” a un transformador lo realiza *Underwriter Laboratories* (UL), no el fabricante. El criterio UL1561 para establecer la clasificación es el siguiente: Inicialmente se prueba al transformador con una corriente sinusoidal de 60Hz para determinar las pérdidas en los devanados y en el núcleo.

Del total de las pérdidas en los arrollamientos se restan las debidas al efecto Joule, calculadas a 60Hz, y de este modo se deducen las pérdidas de dispersión que se consideran fundamentalmente producidas por corrientes de Foucault.

Si el transformador es adecuado para un factor “K” determinado, las pérdidas por dispersión se multiplican por ese factor “K” y se suman a las debidas al efecto Joule a 60Hz. Si la elevación de la temperatura media en los devanados no supera la nominal el transformador es marcado como válido para trabajar con cualquier carga no lineal de ese o menor factor “K”.<sup>16</sup>

El factor “K” viene especificado en los datos de placa de algunos transformadores, y el factor asignado de acuerdo a la norma ANSI C57. 110-1986 son: 1, 4, 9, 13, 20, 30 y 40.<sup>17</sup>

El factor “K” se define como aquel valor numérico que representa los posibles efectos de calentamiento de una carga no lineal sobre el transformador. Hay que señalar que un transformador con un factor “K” igual a 1 significa que no existe corriente de armónicas. El factor “K” asignado a un transformador y marcado en su placa de datos, es un índice de su habilidad para operar con la corriente de su carga nominal que contenga una determinada cantidad de armónicos, sin rebasar la temperatura permisible en sus devanados.

De los resultados de las mediciones realizadas, se obtuvieron los siguientes datos:

FACTOR “K”			
FASE	A	B	C
MÍNIMO	1.02	1.03	1.02
MÁXIMO	1.41	1.23	1.6
PROMEDIO	1.106	1.086	1.117

Tabla 3.17- Resultados de la medición del factor K.

El valor del factor K dado por el instrumento de medición fue aproximadamente 1 en las tres líneas, lo que significa que existen muy pocas corrientes de armónicas, disminuyendo el riesgo de daños al sistema eléctrico. En la conclusión del presente trabajo se harán algunas observaciones del comportamiento de los parámetros eléctricos durante el tiempo de medición.

<sup>16</sup>[http://www02.abb.com/global/clabb/clabb151.nsf/0/a00d8896c8e9ac57c1257a090078d63a/\\$file/Transformers+especiales+Hern%C3%A1n+Escarria.pdf](http://www02.abb.com/global/clabb/clabb151.nsf/0/a00d8896c8e9ac57c1257a090078d63a/$file/Transformers+especiales+Hern%C3%A1n+Escarria.pdf)

<sup>17</sup><http://transformadoresorion.com/factork.html>

## Capítulo 4

### Diagnóstico energético.

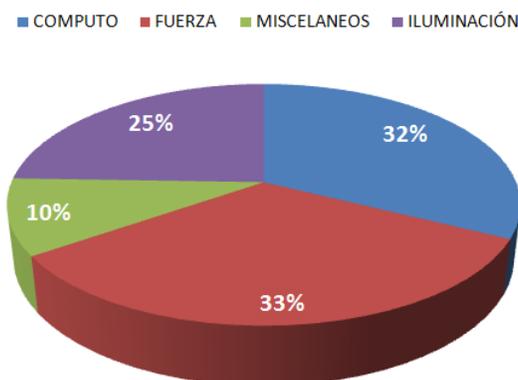
Se llevó a cabo un levantamiento para recopilar la información de la carga eléctrica instalada en toda la dependencia; se hizo una clasificación de cargas y se anotó la demanda eléctrica por cada uno de los equipos instalados, con la finalidad de analizar la energía que consumen y el tiempo que se utilizan para lograr identificar las cargas de mayor consumo y así poder proponer medidas de ahorro de energía.

#### 4.1. Distribución de la carga instalada, análisis y uso general de la energía eléctrica.

Las cargas se clasificaron en cuatro sistemas consumidores de energía:

1. Equipo de cómputo
2. Misceláneos
3. Fuerza
4. Iluminación

De acuerdo al censo de cargas que se realizó, se obtuvo un total de 140.5[kW], representando el 100% de la carga instalada. A continuación se muestra la gráfica de la clasificación anteriormente mencionada:



Gráfica 4.1- Distribución de la carga instalada.

De acuerdo a la gráfica 4.1, el equipo de fuerza es el que representa la mayor cantidad de carga instalada; con el 33%(46.3[kW]). Posteriormente se encuentra el equipo de cómputo representando el 32% de la carga instalada, con una potencia de 45.5[kW]. Por último se encuentran los equipos de iluminación y misceláneos, con un 25%(34.39[kW]) y 10%(14.28[kW]).

#### 4.1.1. Cargas de cómputo.

En esta clasificación de cargas eléctricas, se encuentran equipos como impresoras, computadoras de escritorio, multifuncionales, escáneres, plotters, teléfonos eléctricos, entre otros. De acuerdo con el levantamiento, éste tipo de cargas representa un 32% de la carga instalada, equivalente a 45.5[kW], siendo una de las más considerables en la demanda eléctrica; ocupando el segundo lugar.

#### 4.1.2. Cargas de misceláneos.

Entre las cargas contempladas en ésta clasificación, se encuentran equipos como minicomponentes, estéreos, televisiones, pantallas, bocinas, entre otras. El porcentaje que representa éste tipo de cargas es del 10% (14.28[kW]) son las cargas con menor demanda eléctrica.

#### 4.1.3. Cargas de fuerza.

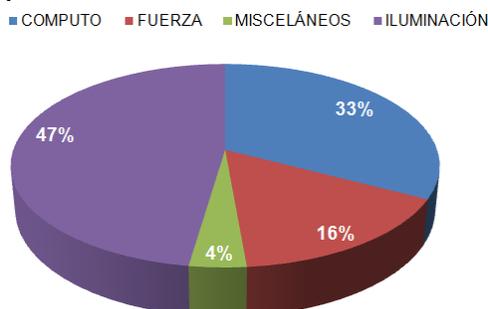
Los dispositivos que representan la clasificación de equipo de fuerza son: ventiladores, mini-split, aire acondicionado, motores, extractores, secadores de manos, etc. Éste tipo de cargas ocupan el primer lugar en demanda eléctrica, con el 33% (46.3[kW]) de la carga total instalada es de los equipos que más carga representa.

#### 4.1.4. Cargas de iluminación.

El equipo de iluminación comprende todos los luminarios instalados dentro de la dependencia, algunos de ellos son: lámparas fluorescentes, luminarios incandescentes, lámparas LED, entre otras. Representando un 25% de demanda eléctrica (34.39[kW]), ocupan el tercer lugar en la carga instalada.

#### 4.1.5. Distribución del consumo de energía eléctrica.

Para realizar el cálculo aproximado del consumo eléctrico mensual, se llevó a cabo el levantamiento de la carga instalada y además se cuestionó a los usuarios sobre el tiempo y frecuencia con la que utilizaban cada equipo eléctrico, registrando los resultados en una hoja de cálculo y así obtener el consumo total mensual. En la gráfica 4.2 se muestran los resultados del consumo eléctrico mensual de acuerdo al estudio de utilización de las cargas, para el cual se registró un total de 15,768[kWh] mensuales representando el 100% de la gráfica siguiente:



Gráfica 4.2- Distribución del consumo mensual de energía eléctrica.

La gráfica nos muestra la representación del consumo eléctrico mensual, en la cual, al hacer la comparación con la gráfica de la carga instalada, observamos que los valores de cada rubro cambian. Ahora, en primer lugar se encuentran las cargas de iluminación con un 47%; representando 7,516[kWh] mensuales, las cargas de cómputo en segundo lugar con un 33%; consumiendo la cantidad de 5,151 [kWh] mensuales, en tercer lugar se encuentran las cargas de fuerza con un 16%; realizando un consumo de 2,515 [kWh] mensuales, y por último los misceláneos con un 4%; consumiendo 586 [kWh] mensuales.

Podemos decir, de acuerdo a la gráfica, que el porcentaje de cada distribución, depende de la demanda de cada dispositivo, y además, del tiempo que se utilicen mensualmente.

Los equipos de iluminación representan la mayor parte del consumo, pues son los más utilizados junto con los equipos de cómputo, a comparación de los equipos de fuerza y misceláneos su consumo es menos significativo. Los sistemas que más aportan al consumo eléctrico son los de iluminación y de cómputo con 47% y 33% respectivamente.

#### **4.2. Niveles de iluminación**

Utilizando un luxómetro, se llevaron a cabo las mediciones necesarias para conocer los niveles de iluminación en el interior de las instalaciones; en oficinas, pasillos y escaleras.

Los niveles mínimos de iluminación en luxes que debe de haber en cada área de trabajo se especifican en la NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo", además de especificar la metodología para realizar los cálculos en la iluminación promedio del lugar, la cual se muestra en el ANEXO 3.

Dicha norma tiene como objetivo principal establecer los requerimientos de iluminación en las áreas 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 y rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo.

Para conocer los niveles de iluminación durante el día, se realizaron dos mediciones; una en el día y otra en la noche, para observar los niveles de iluminación en ambos casos y compararlos con la norma.

Los resultados se compararon con la Tabla 1 de la NOM-025-STPS-2008 donde nos muestra los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual.

La información recabada se muestra en la tabla siguiente:

Tarea	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (luxes)		Niveles medidos en el día (luxes)	Niveles medidos en la noche (luxes)	¿Cumple?
		NOM-025-STPS-2008	Norma Oficial Universitaria			
<b>En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando.</b>	Almacenes de poco movimiento, escaleras.	50	100	130	115	<b>SI</b>
<b>En interiores.</b>	Áreas de circulación; pasillos.	100	100	2,845	102	<b>SI</b>
<b>Requerimiento visual simple: inspección visual.</b>	Casetas de vigilancia.	200	200	485	297	<b>SI</b>
<b>Distinción moderada de detalles: trabajo medio en banco y máquina, inspección simple y trabajos de oficina.</b>	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300	400	430	178	<b><u>NO</u></b>
<b>Distinción clara de detalles: captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.</b>	Talleres de precisión: salas de cómputo, laboratorios.	500	300	NOTA: No se realizó la medición de la sala de cómputo pues no se permitió el acceso al lugar.		

Tabla 4.1-Medición de los niveles de iluminación.

De la tabla 4.1 podemos apreciar que la mayoría de sitios cumplen con los niveles mínimos indicados en las normas, excepto en oficinas; están por debajo de lo establecido en ambas normas. Las acciones que podemos realizar para corregir éste problema son diversas, pero debemos seleccionar la que mejor nos convenga. La medida más factible sería proponer un nuevo sistema de iluminación, de acuerdo a las necesidades del lugar, la eficiencia y el costo del equipo propuesto. La propuesta para mejorar los niveles de iluminación se analizará más adelante, para que además, se tomen en cuenta otros factores para mejorar las condiciones del inmueble.

Para calcular el índice de reflexión ( $K_r$ ) en paredes y áreas de trabajo utilizamos la metodología especificada en la NOM-025-STPS-2008 (ver ANEXO 3) y lo comparamos con la Tabla 2 “Niveles máximos permisibles del factor de reflexión” especificada en la misma norma.

La tabla se muestra a continuación:

Concepto	Niveles máximos permisibles del factor de reflexión ( $K_f$ )
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Tabla 4.2- "Niveles máximos permisibles del factor de reflexión" Fuente: NOM-025-STPS-2008, Tabla 2.

Los resultados de la medición se muestran en la siguiente tabla:

Concepto	Niveles medidos del factor de reflexión ( $K_f$ )
Paredes	58%
Plano de trabajo	31%

Tabla 4.3- Resultados del cálculo del factor de reflexión ( $K_f$ ).

La Norma Oficial Universitaria nos menciona que los valores mínimos del factor de reflexión en la región intermedia de pared del cuarto deben ser de 50%. Comparando los resultados obtenidos del cálculo con los niveles mostrados en la tabla 4.2, concluimos que son aceptables al estar por debajo del máximo permitido por la NOM-025-STPS-2008, además de cumplir con la Norma Oficial Universitaria.

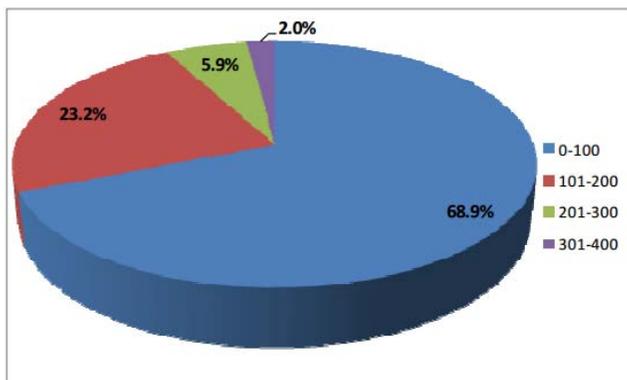
### 4.3. Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los edificios y realizar una comparación entre edificios del mismo uso. El índice energético (IE) se define como la cantidad total de energía consumida por unidad de producto fabricado o el servicio ofrecido. Se utiliza para monitorear y evaluar las opciones de ahorro energético que se apliquen a un proceso o a un equipo. Los datos del índice energético sirven para establecer los límites de control del consumo de energía y además, ayudan a entender los patrones del inmueble, lo que es esencial antes de proponer cambios o medidas.

En el año 2010 se realizó un estudio para diseñar una metodología estandarizada y equiparable con el resto de Norteamérica para la evaluación de la sustentabilidad energética de los edificios comerciales. La prioridad fue entonces la recopilación de información sobre eficiencia energética de las edificaciones comerciales existentes en el país. Dicho estudio se llevó a cabo con el apoyo de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), se generaron las bases de datos de diferentes tipos de edificaciones que sirvieron para el análisis. La base de datos de referencia a partir de la cual se evaluó y se construyó el desempeño energético y ambiental, cuenta con 556 registros de edificios situados en toda la República Mexicana. Del total de registros, se encontró que el 68.9%, de ellos reportaron un  $[kWh/m^2]$  anual menor a  $100 [kWh/m^2]$ . Dentro de estos consumos, el mínimo anual reportado por un edificio fue de  $1.82 [kWh/m^2]$  y el más alto fue de  $397.99 [kWh/m^2]$ .<sup>18</sup>

<sup>18</sup> [http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/2014\\_benchmarking\\_oficinas.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/2014_benchmarking_oficinas.pdf)

Los resultados de la base de datos se encuentran en la siguiente gráfica:



Gráfica 4.3-Valores de índices energéticos anuales en edificios tipo oficinas y/o bancos en kWh/m².  
Fuente: CONUEE.

El índice energético calculado en Radio UNAM es de 51.523[kwh/m²] anual, considerando una superficie construida de 4,625.5[m²] y un consumo anual de 238,320[kWh] anual por facturación.

El promedio de los valores del índice energético en edificios de oficinas registradas fue de 64.2 [kWh] anual.

Al comparar el índice que calculado en Radio UNAM con la base de datos proporcionada por la CONNUE, vemos que se encuentra dentro de la mayoría de los datos (de 0 a 100[kWh/m²] anuales) que son el rango menor utilizado, y además se encuentra por debajo del promedio. Por lo cual podemos concluir que el IE calculado es aceptable.

*Densidad de Potencia Eléctrica por Alumbrado (DPEA).*

El cálculo de la densidad de potencia eléctrica por alumbrado (DPEA) se realizó mediante la clasificación de áreas de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales”.

Las áreas se clasificaron en Oficinas, Pasillos, Sala de usos múltiples, Camerinos y Sanitarios, además de realizar el cálculo total de acuerdo al uso preponderante de el edificio (oficinas). Los resultados calculados son los siguientes:

Tipo de espacio específico	DPEA [W/m²] calculados	DPEA [W/m²] máximos permitidos por la NOM-007	¿CUMPLE?
Oficinas	7.3	12	SI
Pasillos	6.82	7.1	SI
Sala de usos múltiples	13.57	13.24	<b>NO</b>
Camerinos	5.43	4.31	<b>NO</b>
Sanitarios	10.2	10.55	SI
General (oficinas)	7.43	12	SI

Tabla 4.4- Comparación de resultados obtenidos con los permitidos en la NOM-007-ENER-2014.

Los resultados de la tabla 4.4 nos muestra que la sala de usos múltiples y los camerinos no cumplen con los niveles de DPEA's máximos, aunque el excedente de cada dato es muy poco. Aunque estas tres áreas sobrepasen el máximo permitido, nos podemos basar en el punto 8.2.1 de la NOM-007-ENER-2014, la cual menciona lo siguiente:

*“Cuando un edificio sea diseñado y construido para un uso único, se permite que para algunas áreas o espacios del edificio, en función de las actividades y tareas específicas que en su interior se desarrollen, se obtengan valores de DPEA mayores a los límites establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana (NOM-007-ENER-2014) pero que tienen que ser compensadas por otras áreas con valores de DPEA menores y así lograr que los valores de DPEA totales del edificio cumplan con lo establecido por esta Norma Oficial Mexicana”* (punto 8.2.1 de la NOM-007-ENER-2014).

De acuerdo a éste punto de la norma, calculamos el valor de DPEA general de acuerdo al uso preponderante del edificio (oficinas). Con una superficie construida de 4,625.5 [m<sup>2</sup>] y la carga total de alumbrado instalada 34,390[W] obtuvimos el valor de DPEA general= 7.43[W/m<sup>2</sup>] el cual está por debajo del límite permitido. Observamos que se compensaron los valores excedentes con las áreas con DPEA menor, por lo cual concluimos que la densidad de potencia eléctrica en alumbrado total se encuentra dentro de la norma pertinente.

Además, debido a que los niveles de iluminación en el área de oficinas se encuentran por debajo de lo señalado en la NOM-STPS-2008, se propondrán sustituir las luminarias actuales por otras con mayor eficiencia para disminuir el valor calculado y así, obtener ahorros en consumo eléctrico.

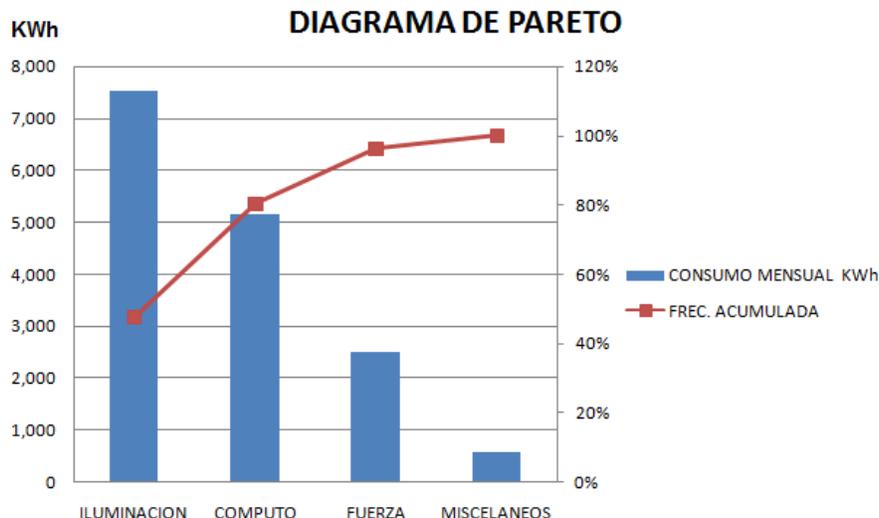
#### **4.4. Medidas de Ahorro de Energía (MAE).**

Las Medidas de Ahorro de Energía (MAE) son acciones que se llevan a cabo con el fin de disminuir el consumo de la energía eléctrica. Pueden ser mediante la aplicación de nuevos hábitos en la utilización de los aparatos eléctricos o implementación de tecnologías que reduzcan el consumo eléctrico de las cargas.

Las MAE se llevan a cabo en las cargas con mayor consumo en el inmueble, para que los resultados de ahorro energético sean más notables.

Por tal motivo, en nuestro caso es apropiado llevar a cabo dichas medidas en las cargas de Iluminación y de cómputo, al ser los más representativos, podemos realizar algunas recomendaciones para obtener el mayor ahorro posible.

Para corroborar lo anterior, se elaboró un Diagrama de Pareto para identificar las cargas con mayor consumo, y así aplicarles Medidas de Ahorro de Energía (MAE). A continuación se muestra dicho diagrama, mostrando el consumo mensual por tipo de carga y el porcentaje acumulado:



Gráfica 4.4- Diagrama de Pareto: Consumo mensual en [kWh].

Las MAE que se aplicarán a los tipos de cargas deberán brindar el mayor ahorro posible con un bajo costo económico de inversión. Como observamos en la gráfica, las cargas en las cuales se aplicarán éstas medidas, son las de iluminación y cómputo, al ser las cargas más grandes en el consumo eléctrico del inmueble, representando ambas cargas el 80% del consumo mensual, es por ello que se aplicarán las MAE en cómputo e iluminación. En la siguiente tabla se muestran algunas acciones que se pueden llevar a cabo para obtener ahorros de energía eléctrica.

ACCIONES PARA OBTENER AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
REDUCCIÓN DE DEMANDA (W)	REDUCCIÓN DE TIEMPO DE OPERACIÓN
-Utilización de los equipos en modo de ahorro de energía. -Sustitución de equipos por otros más eficientes (ahorradores).	-Utilización de controladores de iluminación. -Temporizadores. -Apagar los equipos cuando no se utilicen.

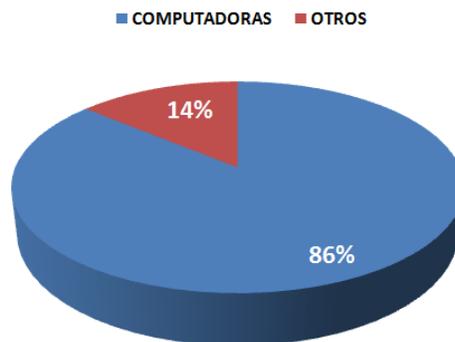
Tabla 4.5- Acciones para obtener un Ahorro de Energía Eléctrica.

En la tabla anterior se mencionan algunas acciones a tomar en cuenta para obtener un ahorro de energético, las cuales se analizarán y se llevarán a cabo de acuerdo a las necesidades del lugar y dependiendo del ahorro de energía que nos brinden.

#### 4.4.1- MAE en cargas de cómputo.

Para aplicar las MAE en las cargas de cómputo, primero debemos hacer una clasificación de éste tipo de cargas. De acuerdo al levantamiento realizado, y a la gráfica de consumo, se observó que los equipos que utilizan mayor energía eléctrica en éste tipo de cargas son las computadoras, pues hay un número significativo y además están conectadas varias horas al día. El número total de computadoras contabilizadas en el inmueble es de 65 equipos utilizando cada equipo alrededor de 9 horas promedio diarias de acuerdo al estudio realizado.

Para demostrar lo anterior, elaboramos la siguiente gráfica:



Gráfica 4.5- Clasificación de la carga instalada en cómputo.

Como vimos anteriormente, el consumo mensual de energía eléctrica de las cargas de cómputo fue de 5,151 [kWh]. De acuerdo a la clasificación de las cargas de cómputo, graficamos el consumo de computadoras y el de otros equipos de cómputo (impresoras, copiadoras, multifuncionales, etc.) dando como resultado el 86% y el 14% respectivamente. Al ser mayoría las computadoras, se le aplicarán MAE.

Una forma de obtener ahorros en los sistemas de computación, es el configurar los equipos en modo de “ahorro de energía”, para que cuando se dejen de utilizar, reduzcan su consumo al apagar el monitor y otros dispositivos que no se utilicen, y así, consumir menor energía eléctrica. Para calcular el ahorro que se tiene en cada equipo de cómputo, y el ahorro total en éste tipo de cargas, se realizará un experimento en el cual se medirá el consumo de una computadora en el modo “ahorro de energía” y posteriormente medir el consumo en el mismo equipo en el modo normal de operación. El objetivo de éste experimento es de observar la diferencia que existe en consumo entre los dos modos de operación.

Al realizar el experimento, se llevó a cabo la medición de energía consumida por una computadora durante una semana con un wattmetro. La metodología fue la siguiente:

- 1.-Primero se realizó la medición con el equipo configurado en “modo de ahorro de energía” en el transcurso de 1 semana, anotando el consumo eléctrico total.
- 2.-Posteriormente se configuró en “modo normal”, midiendo el consumo en el mismo lapso.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Consumo de energía en modo normal de operación [kWh]	Consumo de energía en modo de ahorro [kWh]	Ahorro de energía semanal por equipo [kWh]	Ahorro total semanal en porcentaje
2.24	1.35	0.89	39.73%

Tabla 4.6- Ahorro de energía eléctrica en computadoras.

El ahorro en el consumo de energía eléctrica es de 39.73%, teniendo en cuenta que el consumo eléctrico mensual de 65 equipos de computadoras es 4,436 [kWh], el ahorro calculado sería de 1,762.42[kWh] mensuales. Al calcular el ahorro económico de energía

considerando el costo promedio de energía por [kWh] de \$1.50, nos da un ahorro mensual de \$2,643.76. Además, podemos obtener ahorros al disminuir la demanda máxima medida, pues con las medidas de ahorro se disminuye la carga de los equipos y así, el costo de demanda máxima también disminuye. El ahorro obtenido por los equipos de cómputo representa el 34.21% de la carga total de cómputo.

#### **4.4.2-MAE en cargas de iluminación.**

Uno de los desperdicios de energía más comunes en oficinas se encuentra en los sistemas de iluminación, los cuales afortunadamente son los más fáciles de evitar.

Existen sencillas maneras de obtener ahorros en iluminación:

- ✓ Sustituir lámparas por otras de mayor eficiencia.
- ✓ Instalar balastos ahorradores de energía.
- ✓ Utilizar reflectores especulares.
- ✓ Utilizar controles de iluminación.
- ✓ Instruir a los usuarios sobre medidas operativas de ahorro.

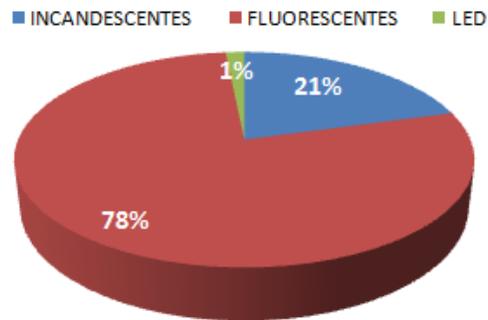
En el levantamiento de cargas realizado en el inmueble, las de tipo iluminación son las de mayor consumo eléctrico, con 6,953 [kWh] mensuales, principal motivo para efectuar MAE y así, obtener ahorros de energía considerables.

Para disminuir el consumo eléctrico se puede disminuir la carga eléctrica o disminuir el tiempo de operación de los equipos.

Una forma de disminuir la carga instalada, es analizar los tipos de luminarias existentes en el lugar, observando que sean eficientes y que cumplan con lo establecido en las normas NOM-007-ENER-2014, NOM-025-STPS-2008 y la Norma Oficial Universitaria (NOU), de lo contrario las luminarias se sustituirán por otras más eficientes, justificando las propuestas mediante una simulación con el programa DIALux para procurar que los niveles de iluminación sean adecuados y además, tomar en cuenta el costo económico de las acciones a realizar, para analizar si es viable llevarlas a cabo.

Para disminuir el tiempo de operación de los equipos de iluminación, se analizará la posibilidad de utilizar tecnologías para controlar su funcionamiento, y ser utilizados de acuerdo a las necesidades del usuario sin perturbar las actividades que realicen, seleccionando un sistema óptimo y adecuado para cada lugar de trabajo.

Como primer paso, debemos de analizar los tipos de luminarias que se encuentren instalados, verificando su consumo y la cantidad de cada tipo de cargas, para ello se realizó una clasificación de las cargas de iluminación para analizar los tipos de luminarias que se encuentran instaladas en el inmueble, la cual se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 4.6- Clasificación de cargas de iluminación.

De acuerdo a la gráfica 4.6 la carga total de iluminación instalada es de 34.39 [kW], representada en la gráfica 4.6 como el 100%, de la cual el 78% (26.729 [kW]) son lámparas fluorescentes, instalados en oficinas y pasillos. El 21% de la carga de iluminación instalada lo representan las lámparas incandescentes con 7.11 [kW], las cuales se encuentran instaladas en camerinos, cabinas y la sala de exposición. Por último con el 1% los LED demandando 540 [W].

Para proponer acciones de ahorro debemos analizar el tipo de cargas de iluminación, realizando una clasificación de lámparas incandescentes y fluorescentes instaladas. Comenzamos por analizar las lámparas incandescentes, las cuales, dependiendo el caso, se pueden sustituir por otras más eficientes como lámparas fluorescentes o LED, y así disminuir la carga instalada.

En el levantamiento de cargas realizado, observamos que la mayoría de lámparas incandescentes se encuentran instaladas en lugares como el auditorio, en la sala de exposiciones, cabinas y en el área de camerinos, pues en éstos sitios se llevan a cabo actividades en las cuales se requiere que el color se reproduzca de la forma más real posible, es por ello que se requiere de un IRC alto, lo más cercano posible al 100, y las lámparas incandescentes cumplen con lo anterior, por lo tanto no es conveniente realizar cambios de lámparas en éstos sitios.

Además de las lámparas incandescentes que se mencionaron anteriormente, hay una pequeña cantidad de lámparas (13) instaladas en lugares de poco uso, cuyo consumo mensual aproximado no excede los 20[kW/h], lo cual representa una carga poco considerable y no obtendríamos grandes ahorros al llevar a cabo medidas en estas lámparas. Por tal motivo no es viable sustituir las lámparas incandescentes instaladas en el inmueble.

Posteriormente analizamos los tipos de lámparas fluorescentes que se encuentran instalados, mostradas en la siguiente tabla:

LUMINARIO (Tipo)	CAPACIDAD [#lámpx W]	CANTIDAD DE LUMINARIOS	POTENCIA POR LUMINARIO [W]	POTENCIA TOTAL [W]
Empotrado downlight LFC	1x23	107	23.00	2,461
Sobrepuesto cerrado lámpara t-8, balastro elec.	2x32	92	64.00	5,888
Empotrada indirecta lámpara t-8, balastro elec.	2x32	229	64.00	14,656
Empotrado directo lámpara t-8, balastro elec.	1x32	3	32.00	96
Empotrado downlight LFC	2x13	86	26.00	2,236
Empotrado downlight LFC	2x26	15	52.00	780
Colgada cerrada indirecta, lámpara t-8, balastro elec.	2x32	3	64.00	192
Sobrepuesta cerrada LFC	2x14	3	28.00	84
Sobrepuesto directo LFC	2x21	8	42.00	336
			<b>TOTAL</b>	<b>26,729 [W]</b>

Tabla 4.7- Tipos de lámparas fluorescentes instaladas actualmente.

Observamos que todos los luminarios fluorescentes son de bajo consumo; por lo cual sería difícil obtener grandes ahorros al proponer la sustitución del equipo. Los luminarios con mayor carga instalada son los de tipo empotrado indirecto, con balastro electrónico, lámparas 2x32[W] T-8. Éste tipo de luminarios se encuentran instalados en oficinas, los cuales se muestran a continuación:



Figura 4.1- Luminarios instalados actualmente en oficinas.

La iluminación de este equipo es indirecta y el difusor se encuentra sucio, lo cual reduce la eficacia del luminario y el resultado son los bajos niveles de iluminación en el área de oficinas. A pesar de ser luminarios de bajo consumo, aún existen tecnologías más eficientes. Podemos pensar en sustituir los luminarios instalados por mejores tecnologías que existen actualmente, por ejemplo la tecnología LED o luminarios con lámparas T-5, pero los ahorros en energía eléctrica pueden ser escasos a comparación de los costos de inversión e instalación que se llevaría a cabo, pues dichas tecnologías son muy costosas, en especial la tecnología LED y el tiempo de amortización sería muy grande, por lo tanto sería poco rentable sustituir todas las luminarias para obtener un ahorro económico.

Para demostrar lo anterior, se evaluará la viabilidad de cambiar el sistema de iluminación por otro más eficiente, dependiendo de sus costos contra el ahorro obtenido. Se tomará como base los luminarios instalados en oficinas (100 luminarios) pues son los que tienen mayor demanda eléctrica de las cargas de iluminación y sería más factible obtener ahorros. Para resolver dicho problema, se proponen nuevos luminarios, para ello se analizaron las tecnología fluorescente y LED que se adapten a las necesidades de los lugares donde serán instalados, de acuerdo a sus características eléctricas y fotométricas, además de considerar el mismo tamaño que las actuales para minimizar gastos de inversión. Los luminarios propuestos se muestran a continuación:



Luminario fluorescente  
Marca Philips  
Modelo: 2LP3GS228-48FL-UNV-EB10R



Luminario LED  
Marca Philips  
Modelo: 2DLG43L840-4-D-UNV

Figura 4.2- Tipos de luminarios propuestos.<sup>19</sup>

En la siguiente tabla se muestra un análisis de las características por cada luminario:

PROPUESTA	Luminario Fluorescente T5	Luminario LED
<b>PARÁMETROS</b>		
<b>FOTOMÉTRICO</b>		
Emisión de lúmenes	4,790lm	4,292lm
Temperatura de color	4,000K°	4,000K°
IRC	80-90	80-90
Eficiencia (lm/W)	84lm/W	102lm/W
<b>TIEMPO DE USO</b>		
Horas al mes	260h	260h
Horas al año	3,120h	3,120h
Tiempo de vida(horas)	20,000h	50,000h
Duración de acuerdo al uso(años)	6.41años	16.02años
<b>ELÉCTRICO</b>		
Factor de potencia	>90	>90
THD%	<10%	<10%
Potencia por luminario propuesto	60 W	41 W
Ahorro en demanda por luminario	10 W	29W
Ahorro en demanda (100 luminarios)	1000W	2,900W
Consumo de energía mensual por luminario	15.6kWh	10.66kWh
Consumo de energía anual por luminario	187.2kWh	127.92kWh
Ahorro en consumo mensual por luminario	2.6kWh	7.54kWh
Ahorro en consumo mensual total (100 luminarios)	260 kWh	754kWh
Ahorro en consumo anual total (100 luminarios)	3,120kWh	9,048kWh

<sup>19</sup>www.lighting.philips.com

PROPUESTA	Luminario Fluorescente T5	Luminario LED
<b>PARÁMETROS</b>		
<b>ECONÓMICO</b>		
Consumo mensual por luminario	\$23.4	\$15.99
Consumo anual por luminario	\$280.8	\$191.88
Consumo mensual (100 luminarios)	\$2,340	\$1,599
Consumo anual (100 luminarios)	\$28,080	\$19,188
Ahorro en consumo mensual por luminario	\$3.9	\$11.31
Ahorro en consumo anual por luminario	\$46.8	\$135.72
Ahorro en consumo mensual total (100 luminarios)	\$390	\$1,131
Ahorro en consumo anual total (100 luminarios)	\$4,680	\$13,572
Costo del luminario por unidad (IVA incluido)	\$3,752.86	\$5,343.48
Costo total (100 luminarios) (IVA incluido)	\$375,286	\$534,348
Costo de instalación por luminario	\$300	\$300
Materiales diversos para instalación	\$10,000	\$10,000
Costo de instalación por los 100 luminarios	\$30,000	\$30,000
Costo total de inversión por instalación	\$415,286	\$574,348
Tiempo de amortización	88.73 años	42.3 años

Tabla 4.8- Comparación entre luminarios propuestos.

Debido a que no se tuvo acceso a la etiqueta de especificaciones eléctricas de los balastos instalados actualmente, se consultaron hojas de datos de balastos para la misma potencia que las lámparas instaladas actualmente (T8-2x32[W]), y el dato que se obtuvo fue de 70[W] consumidos por el luminario en funcionamiento normal. Con este dato se tiene un consumo mensual de 18.2 [kWh] y un consumo anual de 218.4 [kWh]. El precio de la energía eléctrica que se consideró fue de \$1.50 por cada [kWh] consumido, de acuerdo a la tarifa OM. El costo de instalación por cada luminario fue estimado, de acuerdo a la facilidad que ofrecen los luminarios propuestos al estar pre-armados.

De la tabla anterior podemos apreciar que ambos luminarios nos ofrecen escasos ahorros en energía eléctrica. El precio por consumo de energía con la tarifa a contratar (tarifa OM) es más barata que la tarifa anterior (tarifa 03), lo cual implica que los ahorros económicos sean muy bajos y por consecuencia el tiempo de amortización sea muy grande.

En pocas palabras, la sustitución de luminarios es factible al obtener ahorros, pero no es viable al ser muy elevado el costo de inversión. Únicamente se recomienda cambiar de tecnología cuando se termine el tiempo de vida de los luminarios instalados actualmente. Para ello se tratará de seleccionar el mejor sistema para corregir éste problema y cumplir con los niveles de iluminación especificados en las normas pertinentes (NOM-025-STPS-2008 y Norma Oficial Universitaria), procurando hacer la selección de luminarios con menor consumo que los instalados actualmente para conseguir el mayor ahorro posible y así, disminuir los niveles de DPEA.

Anteriormente analizamos las tecnologías LED y fluorescente propuestas concluyendo que ambas tecnologías tienen un precio elevado, en especial los luminarios LED, pero su mayor ventaja es que su consumo es menor, lo cual reduce su costo en consumo eléctrico. Para seleccionar el luminario que más nos conviene debemos tener en cuenta:

- ✓ Costo inicial de inversión
- ✓ Costo de energía consumida
- ✓ Costo de mantenimiento

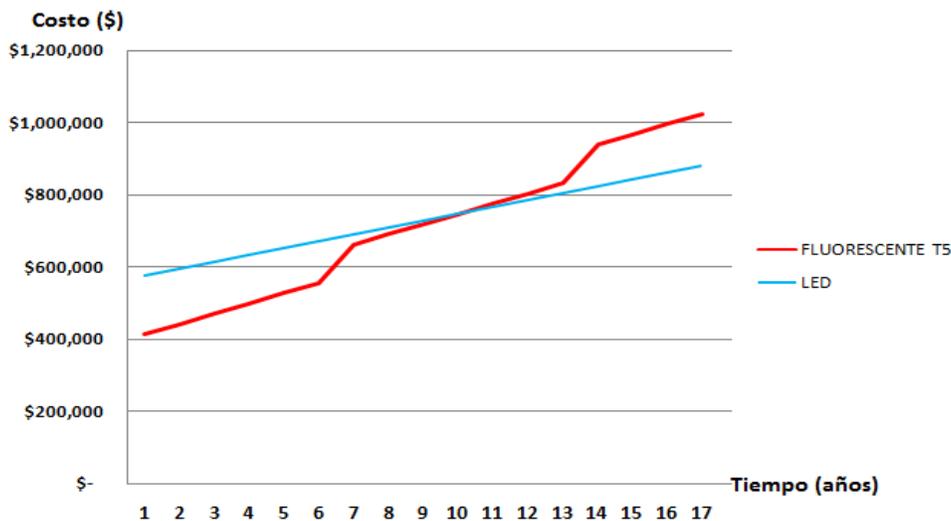
Anteriormente calculamos los costos de energía consumida y la inversión inicial por tipo de luminario y a continuación calcularemos los costos de mantenimiento. Debido a que los luminarios LED no requieren mantenimiento durante su tiempo de vida, solo se calcularán para los fluorescentes

CONCEPTO	Fluorescente T-5		
	Costo unitario	Cantidad	Total
Costo de lámparas	\$135	200	\$27,000
Costo de balastos	\$309	100	\$30,900
Costo de mano de obra	\$200	100	\$20,000
Materiales diversos			\$1,000
	<b>TOTAL</b>		<b>\$78,900</b>

Tabla 4.9- Costo de mantenimiento de luminarios fluorescentes.\*

\*El cálculo del costo es aproximado.

El costo total de cada luminario a través del tiempo se representa en la siguiente gráfica:



Gráfica 4.7-Costo de luminarios propuestos.

De acuerdo a la gráfica, el luminario que ofrece menor costo a través de los años es la tecnología LED, pues a pesar de que el costo de compra es muy elevado, su alta eficiencia, su extensa vida útil y sus mínimos costos de mantenimiento hacen que los costos totales sean menores en comparación con lámparas fluorescentes, por tal motivo nos es viable utilizar la tecnología LED.

Para garantizar que se cumpla con los niveles mínimos de iluminación en oficinas con el equipo propuesto, se utilizará el programa DIALux para simular el comportamiento de los parámetros de iluminación en las oficinas. Para facilitar la simulación, las oficinas se clasificaron de acuerdo a su arquitectura y número de luminarias. En un total de 46 oficinas, se realizaron 7 simulaciones de acuerdo a su clasificación. Los resultados se muestran en el ANEXO 5 del presente trabajo.

#### *Comparación entre luminarios actual-propuesto LED.*

Como observamos en la tabla 4.8, la tecnología LED nos brinda grandes ahorros respecto al sistema instalado actualmente, además de aumentar los niveles de iluminación promedio y reducir los niveles de potencia eléctrica. En la siguiente tabla se observa las características del sistema actual y el propuesto:

LUMINARIO	DEMANDA [kW]	EFICACIA [lm/W]	NIVELES DE ILUMINACIÓN EN OFICINAS [lux]	DPEA (Oficinas) [W/m <sup>2</sup> ]	DPEA (general) [W/m <sup>2</sup> ]
Actual (Fluorescente 2x32W T8)	34.39	84	178	7.3	7.43
Propuesto LED	31.49	102	550	4.27	6.8

Tabla 4.10 – Comparación entre luminario actual y el propuesto

De la tabla observamos que el equipo propuesto ofrece una mejor eficiencia que el equipo instalado actualmente, disminuyendo la carga instalada en iluminación, que por consecuencia también reduce los niveles de DPEA's en oficinas y general. Otro beneficio es que a comparación del luminario fluorescente, el LED cuenta con difusor para evitar deslumbramiento y además, cuenta con un regulador de iluminación en caso de requerir menor flujo luminoso. Pero el beneficio principal es que mejora los niveles de iluminación en el área de oficinas, proporcionando un mejor confort para los usuarios y así, tener un sistema de iluminación eficiente que cumple con las normativas pertinentes. En el ANEXO 5 se muestran los niveles máximos de iluminación que puede proporcionar el luminario LED y que en caso de ser muy elevados, el usuario puede regularlos con ayuda del controlador de iluminación incluido en el luminario.

#### *Selección del sistema de control de iluminación.*

Para seleccionar la tecnología de iluminación adecuada, se debe analizar las necesidades de cada sitio, realizado una encuesta a los ocupantes de acuerdo a las actividades que realicen y el tiempo de ocupación.

Los parámetros más importantes a tomar en cuenta son los siguientes:

- ✓ Tiempo de ocupación y número de ocupantes.
- ✓ Disponibilidad de luz solar.
- ✓ Necesidades de automatización.
- ✓ Ahorros económicos y de energía.
- ✓ Costo del sistema de control a utilizar.

De acuerdo al censo realizado a los usuarios, se realizó la siguiente tabla:

SITIO	TIEMPO DE OCUPACIÓN	NÚMERO DE USUARIOS	Disponibilidad de luz solar	NECESIDADES DEL USUARIO
<b>Oficinas</b>	Alto. Generalmente ocupado la mayoría de la jornada laboral. Ocasionalmente desocupan el lugar.	Pocos. De 1 a 4 usuarios por sitio.	Muy poca. Las oficinas son cerradas, algunas cuentan con paredes de vidrio y permiten el paso de luz natural.	Iluminación constante en el plano de trabajo, apagar la iluminación cuando el lugar se desocupe (generalmente pocas veces).
<b>Pasillos principales</b>	Moderado. Los usuarios se trasladan a otras oficinas, algunas veces al baño y en la hora de comida aumenta el flujo de personas.	Pocos, aumenta el número de personas y la frecuencia en horas de entrada-salida y horas libres.	Alta. Las paredes son transparentes y permiten el alto flujo de iluminación natural.	La iluminación artificial puede ser regulada. Apagarse cuando no estén ocupados o intercalar circuitos.
<b>Pasillos alternos</b>	Pocas veces se ocupan esos sitios.	Muy poco tránsito personas	Nulo. Son lugares cerrados con paredes que no permiten el paso de la luz.	Se permite la regulación de la iluminación artificial. Apagarse cuando el sitio esté desocupado.
<b>Elevador</b>	Moderado-alto. Utilización constante en periodos cortos. Aumenta en horarios de entrada-salida y horas libres.	Es utilizado por la mayoría de los usuarios.	Nula. Sitio cerrado sin iluminación natural.	Por su uso constante requiere estar siempre iluminado.
<b>Escaleras</b>	Muy poco.	Muy pocos. Las personas prefieren el uso del elevador.	Nula. Las escaleras se encuentran aisladas de luz natural.	El sitio puede tener iluminación regulada, por su poca utilización se requiere que las luces permanezcan apagadas cuando no se ocupen.
<b>Baños</b>	Moderado.	Pocas, debido a la gran cantidad de sanitarios.	Nula, no hay iluminación natural en el lugar.	Se requiere que la iluminación sea constante y apagarla cuando no se utilice.
<b>Sala de usos múltiples</b>	Baja. Se utiliza el lugar con poca frecuencia.	Depende de la actividad que se realice. Generalmente no son muchas personas.	Nula, no hay iluminación natural en el lugar.	Se puede regular el flujo luminoso, se requiere que las luces permanezcan apagadas cuando no se ocupen.
<b>Sala de cómputo</b>	Moderada. Ocasionalmente se utiliza el sitio.	Varía, dependiendo de la actividad realizada.	Media, el sitio tiene una pared translúcida que permite el paso del flujo de iluminación natural	Se requiere iluminación constante, que las zonas utilizadas se mantengan encendidas.

Tabla 4.11- Análisis de las necesidades de iluminación por cada sitio.

De acuerdo a la tabla 4.11, llegamos a la conclusión para descartar el uso de controles de iluminación por las siguientes cuestiones:

Imposibilidad de utilizar atenuadores. Como anteriormente se mencionó, no es viable sustituir el sistema de iluminación actual, solo se propuso sustituir los luminarios situados en oficinas con el fin de mejorar los niveles de iluminación, y debido a que no es factible utilizar atenuadores de flujo luminoso en el área de oficinas, no se propusieron luminarios que pudieran ser compatibles con dicha tecnología. Los luminarios que permanecerán sin cambios son fluorescentes que tampoco es posible utilizar atenuación. Por tal motivo, todos los controladores de iluminación que utilicen atenuación de iluminación quedan descartados.

Tiempo de utilización y espacios reducidos. Los sitios que se utilicen por periodos largos de tiempo; donde se necesite que la iluminación sea constante y rara vez se desocupe el lugar y además, no cuenten con disponibilidad de iluminación natural, no necesitan más que un interruptor manual para encender y apagar al término de la jornada laboral. Tampoco es viable instalar sistemas de control en los sitios reducidos, donde se tenga poca carga instalada, pues no se obtendrán ahorros suficientes para justificar el uso de éstas tecnologías.

Decremento del tiempo de vida en los luminarios. Los sistemas de iluminación tienen un tiempo de vida estimado dado por el fabricante, el cual depende de la forma en la que se utilice. Las lámparas instaladas actualmente acortan su tiempo de vida cuando se encienden y apagan constantemente, es por ello que no se recomienda el uso de sensores de presencia.

Distracción de los sensores de presencia. Los sensores de presencia distraen a los usuarios cuando activan o desactivan la iluminación.

Ahorros económicos vs costo de la tecnología a utilizar. Actualmente la tecnología de los sistemas de control ha mejorado, pero de igual forma los costos de dicha tecnología han aumentado. Además, como se propone el cambio a la tarifa OM, el precio de la energía es menor en comparación con la tarifa actual (03), por lo tanto los ahorros económicos serían menores y si se utiliza tecnología de control, su tiempo de amortización sería muy alto.

Como se mencionó en un punto anterior, los sitios en el inmueble están divididos en espacios pequeños, que contienen niveles de DPEA's bajos, por tal motivo es poco viable utilizar tecnologías de control, pues se tendría que utilizar un gran número de dispositivos y eso resultaría muy costoso a comparación de los ahorros que se pudieran obtener. Los aspectos concluyentes para evitar el uso de sensores de presencia son los siguientes:

- ✓ Costo vs ahorro. Los ahorros son pequeños respecto al costo del sensor. El tiempo de amortización es alto.
- ✓ Confort. Los sensores provocan distracción a los usuarios al encender y apagar la iluminación.
- ✓ Daños a la instalación actual. Al encender y apagar la iluminación, las lámparas y balastos reducen su tiempo de vida.

Para la propuesta de instalar sensores de presencia en pasillos, podemos asegurar que el gran flujo de personas haría que el sensor prenda y apague constantemente la carga y eso reduciría en gran medida la vida útil de los luminarios instalados actualmente, ocasionando mayores gastos que ahorros.

Existen luminarios que son compatibles con sensores de presencia, al no ser tan afectados como los instalados actualmente por la constante actividad de encendido-apagado, pero como se demostró anteriormente, no es viable sustituir los luminarios con el fin de obtener ahorros por el costo de los mismos.

En conclusión, no es viable utilizar los sensores de presencia.

#### *Alternativas para el ahorro de energía en cargas de iluminación.*

Al no ser viable la utilización de tecnologías de control de iluminación como atenuadores y sensores, se analizarán otras alternativas que nos brinden ahorros de energía con costos de inversión lo más bajos posibles.

Después de la inspección visual de la instalación actual del sistema de iluminación, se detectaron muchos circuitos que no cuentan con apagadores en los lugares de utilización, o sea que se controla su encendido-apagado desde los Interruptores termo-magnéticos de los tableros, lo cual ocasiona que los sitios permanezcan encendidos cuando el usuario los desocupe. Para corregir éste problema se sugiere instalar apagadores en los sitios donde no cuentan con uno, para controlar de manera independiente cada área y además cumplir con lo especificado en la Norma Oficial Universitaria (NOU) .

La energía ahorrada debido a la instalación de apagadores debe ser la primera consideración al hacer un diseño para circuitos de iluminación. Lo más común en este tipo de control es permitir el accionamiento manual del usuario.

Para realizar la utilización de apagadores se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones especificadas en la Norma Oficial Universitaria (NOU):

- ✓ En oficinas y áreas generales un máximo de dos luminarios por apagador.
- ✓ En baños un máximo de dos luminarios por apagador.
- ✓ En pasillos un máximo de cinco luminarios por apagador. En estos casos los luminarios deben de ser controladas de una manera terciada.
- ✓ En laboratorios de investigación un máximo de cuatro luminarios por apagador.
- ✓ El seccionamiento de los apagadores se debe realizar dando la flexibilidad de poder apagar luminarios cercanas a las entradas de luz natural.
- ✓ En los casos que se requiera de iluminación localizada, ésta debe de tener su apagador por separado.
- ✓ Todos los controles de iluminación deben estar en lugares accesibles para el personal que ocupa o hace uso del recinto.
- ✓ Aún cuando la limitación de carga fijada permita controlar desde un mismo interruptor un número muy amplio de unidades, se deben proyectar los controles de manera que la iluminación satisfaga eficientemente sus funciones en las mejores

condiciones económicas de consumo de energía, lo que significa que no se tengan unidades trabajando inútilmente por iluminar determinada área.

- ✓ Los apagadores deben de ser instalados a una altura máxima desde el nivel del piso de 1,2 m.

Debido a que no se cuenta con canalizaciones para la colocación de apagadores, se propone una instalación sobrepuesta, con conductores aislados, canalización de material no metálico. Se utilizarán apagadores sencillos en cajas para el número de apagadores calculado.

La instalación debe cumplir con lo establecido en la NOM-001-SEDE-2012. En el ANEXO 4 se da una propuesta de material a utilizar en la instalación de apagadores.

#### *Cálculo del costo por la instalación de apagadores.*

Para calcular el costo por la instalación de apagadores, se debe tener en cuenta el número de apagadores y el lugar donde se van a instalar, para considerar los materiales que se utilizarán. Con ayuda del programa AutoCAD, identificamos los luminarios que no cuentan con apagador y así realizamos el conteo de apagadores y la cantidad de materiales a utilizar.

A continuación desglosa el número de apagadores a instalar por nivel:

Planta Baja (PB) = 38 apagadores sencillos.

Piso 1 = 32 apagadores sencillos y 4 de escalera.

Piso 2 = 15 apagadores sencillos y 2 de escalera.

Total= 85 apagadores sencillos y 6 apagadores de escalera.

A continuación se muestra el cálculo de los costos de material para la instalación de apagadores:

CONCEPTO	PRECIO/U	CANTIDAD	TOTAL
Apagadores de escalera	\$14.50	6	\$87.00
Apagadores sencillos	\$ 10.50	85	\$892.50
Cable #14 AWG, Paquete de 100m	\$ 507.00	15	\$ 7,605.00
Caja sobreponer	\$37.00	65	\$ 2,405.00
Tubo conduit 100 metros	\$493	4	\$1,972.00
Soportes	\$4.00	650	\$2,600.00
Caja de conexiones	\$24.00	180	\$4,320.00
Tapa ciega para caja	\$ 11.00	180	\$1,980.00
conectores	\$ 13.00	360	\$4,680.00
Factor de Material Diverso (FMD)		10%	\$ 2,654.15
Mano de obra	\$ 300.00	65	\$19,500.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$48,695.65</b>

Tabla 4.12- Cálculo del costo por la instalación de apagadores.\*

\*El cálculo es un estimado.

Es necesario llevar a cabo la instalación de apagadores, pues además de que nos brindan un ahorro significativo, se debe cumplir principalmente con lo establecido en la NOU y la NOM-001-SEDE-2012. En el ANEXO 7 se muestra la distribución por cada apagador propuesto.

*Cálculo estimado del ahorro brindado por la instalación de apagadores.*

De acuerdo a la encuesta de utilización de las cargas, se calculó el tiempo de uso de los luminarios que se puede reducir al llevar a cabo la instalación de apagadores, y con esto, obtener un aproximado de ahorros en energía eléctrica. En total 232 luminarios no contaban con apagador

El análisis del ahorro en energía eléctrica se muestra a continuación:

Tipo de luminario	Cantidad	Consumo mensual actual (sin apagador) [kWh]	Consumo mensual propuesto(con apagador) [kWh]	Ahorro [kWh]
<b>Luminarios 2x32W</b>	133	2,213.12	1,327.872	885.248
<b>Luminario 1x29W</b>	69	100	80	20
<b>Luminario 1x23W</b>	20	36.8	29.44	7.36
<b>Lámpara 100W</b>	4	16	14.4	1.6
<b>Lámpara 70W</b>	6	63	44.1	18.9
<b>TOTAL</b>	<b>232</b>	<b>2,428.92</b>	<b>1,495.81</b>	<b>933.11</b>

Tabla 4.13- Cálculo de ahorros por el uso de apagadores.\*

\*El cálculo es un estimado.

Con el uso de apagadores se obtiene un ahorro aproximado de 933.108[kWh] en el consumo mensual, representando un 38.41% de ahorro en los luminarios que no contaban con apagador, ahorrando \$1,586.28 con la tarifa actual (03) y \$1,399.662 mensualmente con la tarifa propuesta (OM).

Cabe señalar que la propuesta de instalación de apagadores, fue principalmente para cumplir con lo indicado en la NOU, y por otro lado también se consiguen ahorros de energía al disminuir el tiempo de operación en los luminarios que no contaban con dicho dispositivo manual de control.

## Capítulo 5

### Facturación y cambio de tarifa eléctrica.

En éste capítulo se dará una breve descripción de la compañía suministradora de energía eléctrica (CFE) destacando información y características del cobro de energía, detallando conceptos importantes sobre la tarifa actual (03) para realizar el análisis pertinente y realizar la propuesta de la tarifa a contratar.

#### 5.1. Compañía suministradora CFE

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el territorio mexicano. A partir octubre de 2009, CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país.

El servicio al cliente es prioridad para la empresa, por lo que se utiliza la tecnología para ser más eficiente, y se continúa la expansión del servicio, aprovechando las mejores tecnologías para brindar el servicio aún en zonas remotas y comunidades dispersas.

CFE es reconocida como una de las mayores empresas eléctricas del mundo, y aún mantiene integrados todos los procesos del servicio eléctrico.

#### 5.2. Tarifa actual (03)

Actualmente la tarifa contratada por Radio UNAM es la tarifa 03, la cual es para una demanda mayor a 25 [kW]. A continuación se dará una descripción de la misma:

##### *Aplicación*

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda de más de 25 [kW], excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa.

##### *Cuotas aplicables en el mes de Octubre del 2013<sup>20</sup>*

##### *Cargo por demanda máxima*

\$ 234.35                    por cada kilowatt de demanda máxima medida

##### *Cargo adicional por la energía consumida*

\$ 1.741                    por cada kilowatt-hora.

<sup>20</sup><http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/1/Administraciondelademandadeenergia.pdf>

Mínimo mensual

El importe que resulte de aplicar 8 veces el cargo por kilowatt de demanda máxima.

Demanda por contratar

La demanda por contratar la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor de 60% de la carga total conectada ni menor de 25 kilowatts o de la capacidad del mayor motor o aparato instalado. Cualquier fracción de kilowatt se tomará como kilowatt completo.

Demanda máxima medida

La demanda máxima medida se determinará mensualmente por medio de instrumentos de medición que indiquen la demanda media en kilowatts durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo de facturación.

Depósito de garantía

Es 2 veces el importe que resulte de aplicar el cargo por demanda máxima a que se refiere el inciso 2.1 a la demanda contratada.

### 5.2.1 Historial de demanda facturada en el año 2012.

Se realizó el análisis de acuerdo a la facturación eléctrica de CFE correspondiente al año 2012, con ayuda del recibo de facturación del mes de Enero del 2013 (ver ANEXO 6).

A continuación se muestra la gráfica de demanda máxima en el año 2012, en la cual podemos ver que es muy similar en la mayoría de los meses, a excepción de Mayo y Junio en donde los valores son más elevados.

MES	DEMANDA MAXIMA [kW]
ENERO	45
FEBRERO	46
MARZO	47
ABRIL	47
MAYO	58
JUNIO	72
JULIO	47
AGOSTO	46
SEPTIEMBRE	48
OCTUBRE	45
NOVIEMBRE	46
DICIEMBRE	46
ENERO	39

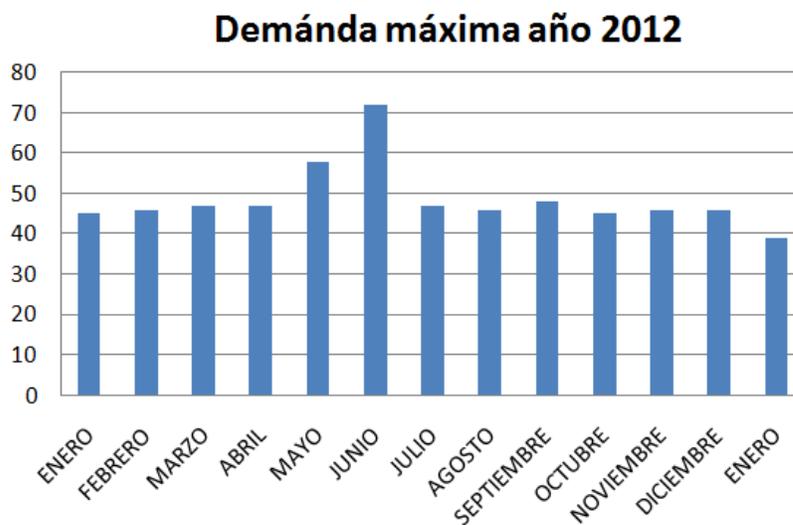


Tabla y gráfica 5.1- Demanda máxima facturada en el año 2012.

Los valores máximo mínimo y promedio de demanda máxima registrados en el año, se muestran a continuación:

- ✓ Valor máximo de 72 kW registrado el mes de Junio del año 2012.
- ✓ Valor mínimo de 39 kW registrado el mes de Enero del año 2013.
- ✓ Valor promedio es de 48.615 kW.

Para conocer más a detalle la demanda del inmueble, se realizan algunas observaciones con respecto a los días laborables (de lunes a viernes), de acuerdo a los datos obtenidos en el monitoreo (ver gráfica correspondiente en el ANEXO 2):

Horarios hrs.	Comportamiento de la demanda.
00:00-06:00	La mayoría de los días, la potencia demandada en este intervalo de medición es menor a 25 [kW]. La mayoría de sitios del inmueble se encuentran sin ocupación, solo algunos equipos de transmisión, cómputo e iluminación. El día miércoles se mantiene en 27 [kW] aproximadamente.
06:00-09:00	Observamos que la demanda comienza a incrementar, debido a que el comienzo de actividades de algunas personas es a las 7a.m. La demanda de potencia no rebasa los 29 [kW].
09:00-12:00	En este intervalo de tiempo se puede observar que la demanda comienza a incrementar en gran medida, debido al comienzo de actividades de las personas que ahí laboran. La curva de demanda se mantiene en 35 [kW] aproximadamente.
12:00-15:00	La hora pico de consumo de energía, la podemos encontrar en este intervalo de tiempo, debido a que la mayoría del equipo instalado se encuentra en funcionamiento, demandando una potencia promedio de 40 [kW].
15:00-18:00	En este horario, se observa un decremento de potencia, ya que es la hora de comida para la mayoría de personas e incluso algunos terminan sus actividades. La demanda de potencia es aproximadamente 37 [kW].
18:00-21:00	La demanda de potencia con el paso de los minutos se va reduciendo, en el sitio se encuentran laborando un pequeño grupo de personas. La potencia promedio es de 28 [kW].
21:00-00:00	En este periodo, la potencia en demanda continúa bajando hasta llegar a un punto de estabilización de 24 [kW] promedio.

En cuanto a los días sábado y domingo se observa una demanda menor (25-18 [kW]) en comparación con los días laborales, pues los fines de semana solo se encuentran encendidos algunos luminarios, además de los equipos de transmisión y cómputo que no dejan de funcionar, debido a las transmisiones programadas en fin de semana.

### 5.2.2- Historial de consumo facturado en el año 2012.

En la siguiente tabla y gráfica se muestran los consumos mensuales y el consumo total anual del año 2012.

MES	CONSUMO TOTAL [kWh]
ENERO	18,960
FEBRERO	19,440
MARZO	19,680
ABRIL	21,360
MAYO	18,720
JUNIO	24,240
JULIO	17,880
AGOSTO	19,080
SEPTIEMBRE	23,160
OCTUBRE	19,320
NOVIEMBRE	20,280
DICIEMBRE	16,200
<b>TOTAL</b>	<b>221,760</b>

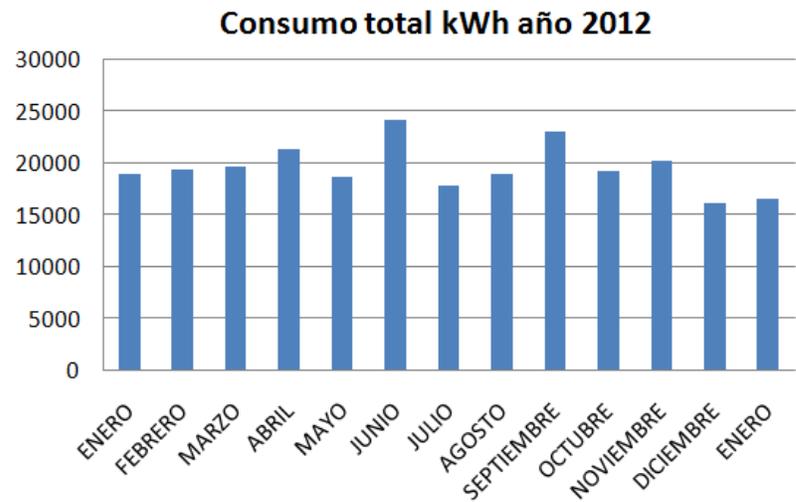


Tabla y gráfica 5.2- Consumo de energía facturado en el año 2012.

En el año 2012 el consumo total anual fue de 221,760 kWh/año, de acuerdo a la facturación de CFE, con los siguientes valores máximos, mínimos y promedio:

- ✓ Valor máximo de 24, 240 kWh registrado en el mes de Junio.
- ✓ Valor mínimo fue de 16,200 kWh registrado en el mes de Diciembre.
- ✓ Valor promedio de 19,606.1538 kWh/mes.

De acuerdo a la gráfica anterior, el mayor consumo medido en el año 2012 corresponde a los meses de Junio y Septiembre, y el menor consumo se registró en el mes de Diciembre.

Podemos imaginar que en los meses de mayor consumo se encuentran laborando la mayor cantidad de personas, y puede ser que en esos meses se lleven a cabo eventos con mayor frecuencia en el auditorio, en cambio en el mes de Diciembre, por el menor consumo registrado durante el año, podemos suponer que parte de la gente que ahí labora se encuentra de vacaciones, y por lo tanto la actividad en el inmueble disminuye.

### 5.2.3- Historial del factor de potencia facturado en el año 2012.

A continuación se muestran los valores del factor de potencia mensuales en el año 2012, además de los valores mínimo, máximo y promedio.

MES	F.P.
ENERO	98.3
FEBRERO	98.49
MARZO	98.26
ABRIL	98.17
MAYO	97.16
JUNIO	97.24
JULIO	98.22
AGOSTO	98.38
SEPTIEMBRE	97.44
OCTUBRE	98.02
NOVIEMBRE	98.2
DICIEMBRE	98.26
ENERO	97.86

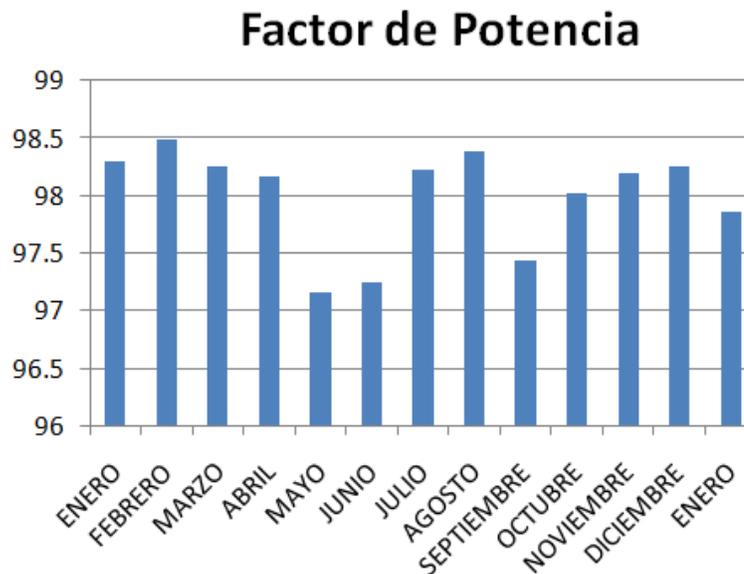


Tabla y gráfica 5.3- Factor de potencia facturado en el año 2012.

Los valores máximos, mínimos y promedio se muestran a continuación:

- ✓ Valor máximo es de 98.4 registrado en el mes de Febrero.
- ✓ Valor mínimo es de 97.16 registrado en el mes de Mayo.
- ✓ Valor promedio es de 98.

El factor de potencia es aceptable en todos los meses de acuerdo a lo especificado por la compañía suministradora (CFE), recibiendo una bonificación mensual y sin ninguna penalización por algún valor bajo. Por tal motivo es de vital importancia tener en cuenta un factor de potencia por arriba del 90.

### 5.3. Tarifa propuesta.

De acuerdo a las características de demanda y consumo anteriormente mencionadas, a tarifa propuesta es la OM. A continuación se da algunas características de dicha tarifa:

Tarifa OM: tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100kW.<sup>21</sup>

<sup>21</sup>[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp?Tarifa=OM&Anio=2016&mes=6](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=OM&Anio=2016&mes=6)

## Aplicación

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW

## Cuotas aplicables en el mes de Octubre del 2013

Se aplicarán los siguientes cargos por la demanda máxima medida y por la energía consumida:

REGIÓN	CARGO POR KILOWATT DE DEMANDA MÁXIMA MEDIDA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA CONSUMIDA
Baja California	\$ 129.41	\$ 1.180
Baja California (verano)	\$ 142.88	\$ 1.439
Baja California Sur	\$ 140.83	\$ 1.434
Baja California Sur (verano)	\$ 158.20	\$ 1.944
Central	\$ 161.60	\$ 1.439
Noreste	\$ 148.62	\$ 1.346
Noroeste	\$ 151.70	\$ 1.336
Norte	\$ 149.22	\$ 1.346
Peninsular	\$ 166.85	\$ 1.376
Sur	\$ 161.60	\$ 1.393

Figura 5.1- Costo de la demanda máxima medida y la energía consumida.<sup>22</sup>

## Mínimo mensual

El importe que resulta de aplicar 10 veces el cargo por kilowatt de demanda máxima medida.

## Demanda contratada

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 10 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

## Temporadas de verano y fuera de verano

Para la aplicación de las cuotas en las regiones Baja California y Baja California Sur se definen las siguientes temporadas:

### Verano:

Región Baja California: del 1 de mayo, al sábado anterior al último domingo de octubre.

<sup>22</sup>[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp?Tarifa=OM&Anio=2016&mes=6](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=OM&Anio=2016&mes=6)

Región Baja California Sur: del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre.

Fuera de verano:

Región Baja California: del último domingo de octubre al 30 de abril.

Región Baja California Sur: del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril.

(Éste parámetro no afecta a la zona Central, por lo tanto no lo tomamos en cuenta).

### *Demanda máxima medida*

La demanda máxima medida se determinará mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo de facturación.

Cualquier fracción de kilowatt de demanda máxima medida se tomará como kilowatt completo.

Cuando la demanda máxima medida exceda de 100 kilowatts, el usuario deberá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa H-M. De no hacerlo, al tercer mes consecutivo en que exceda la demanda de 100 kilowatts, será reclasificado por el suministrador en la tarifa H-M, notificando al usuario.

### *Depósito de garantía*

Resulta de aplicar 2 veces el importe del cargo por demanda máxima medida a la demanda contratada.<sup>23</sup>

De acuerdo a lo solicitado por la empresa suministradora (CFE), el inmueble cumple con los requisitos mínimos de acuerdo a la tarifa propuesta, por lo que es factible llevar a cabo el cambio. Ahora, debemos analizar el costo de la energía eléctrica con dicha tarifa.

---

<sup>23</sup>[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp)

#### 5.4. Análisis económico; estimación de ahorros.

El costo total de la energía mensual, fue calculado de acuerdo a los precios en el año 2012. Los conceptos tomados en cuenta se muestran en la siguiente tabla:

Tarifa 03				
Mes de facturación	Demanda máxima kW	Consumo Total [kWh]	F.P.	F.C. %
ene-12	45	18,960	98.30	59
feb-12	46	19,440	98.49	53
mar-12	47	19,680	98.26	58
abr-12	47	21,360	98.17	63
may-12	58	18,720	97.16	48
jun-12	72	24,240	97.24	44
jul-12	47	17,880	98.22	55
ago-12	46	19,080	98.38	58
sep-12	48	23,160	97.44	63
oct-12	45	19,320	98.02	60
nov-12	46	20,280	98.20	56
dic-12	46	16,200	98.26	52

Tabla 5.4- Conceptos medidos en la facturación eléctrica.

De acuerdo al recibo de facturación eléctrica (ANEXO 6), se realizó el cálculo anual de la energía con la tarifa actual y la propuesta. Los cálculos se muestran a continuación:

Tarifa 03								
Costo de Energía [\$/kWh]	Cargo por D. Máx. [\$/kW]	Importe Energía [\$]	Importe D. Máx. [\$]	% F.P. Bonif.	Bonif. F.P. [\$]	Subtotal [\$]	IVA 16% [\$]	Total [\$]
\$1.73	\$236.01	\$32,876.64	\$10,620.45	2.11	\$918.17	\$42,578.92	\$49,391.54	<b>\$49,391.54</b>
\$1.74	\$237.02	\$33,786.72	\$10,902.92	2.16	\$963.08	\$43,726.56	\$50,722.81	<b>\$50,722.81</b>
\$1.66	\$237.78	\$32,570.40	\$11,175.66	2.10	\$919.35	\$42,826.71	\$49,678.98	<b>\$49,678.98</b>
\$1.63	\$236.85	\$34,838.16	\$11,131.95	2.08	\$956.44	\$45,013.67	\$52,215.85	<b>\$52,215.85</b>
\$1.64	\$237.49	\$30,775.68	\$13,774.42	1.84	\$820.76	\$43,729.34	\$50,726.04	<b>\$50,726.04</b>
\$1.64	\$237.89	\$39,850.56	\$17,128.08	1.86	\$1,060.59	\$55,918.05	\$64,864.94	<b>\$64,864.94</b>
\$1.69	\$238.91	\$30,181.44	\$11,228.77	2.09	\$866.40	\$40,543.81	\$47,030.82	<b>\$47,030.82</b>
\$1.69	\$240.15	\$32,302.44	\$11,046.90	2.13	\$923.12	\$42,426.22	\$49,214.41	<b>\$49,214.41</b>
\$1.63	\$237.60	\$37,843.44	\$11,404.80	1.91	\$940.08	\$48,308.16	\$56,037.46	<b>\$56,037.46</b>
\$1.60	\$236.65	\$30,912.00	\$10,649.25	2.05	\$850.14	\$40,711.11	\$47,224.89	<b>\$47,224.89</b>
\$1.67	\$236.51	\$33,786.48	\$10,879.46	2.09	\$932.44	\$43,733.50	\$50,730.87	<b>\$50,730.87</b>
\$1.70	\$236.42	\$27,459.00	\$10,875.32	2.10	\$805.62	\$37,528.70	\$43,533.29	<b>\$43,533.29</b>
\$1.70	\$237.89	\$28,152.00	\$9,277.71	2.01	\$751.58	\$36,678.13	\$42,546.63	<b>\$42,546.63</b>
<b>TOTAL</b>								<b>\$653,918.54</b>

Tabla 5.5- Cálculo del costo de energía eléctrica con la tarifa 03 en el año 2012.

Costo de la tarifa eléctrica anual con la tarifa propuesta O-M:

Tarifa O-M								
Costo de Energía [\$/kWh]	Cargo de Demanda [\$/kW]	Importe energía [\$]	Importe D. Max. [\$]	Bonificación F.P. [%]	Bonificación F.P. [\$]	Subtotal [\$]	IVA 16% [\$]	Total [\$]
\$1.44	\$162.76	\$27,207.60	\$7,324.20	2.11	\$728.93	\$33,802.87	\$39,211.33	<b>\$39,211.3</b>
\$1.44	\$163.46	\$27,954.72	\$7,519.16	2.16	\$764.48	\$34,709.40	\$40,262.91	<b>\$40,262.91</b>
\$1.36	\$163.98	\$26,764.80	\$7,707.06	2.10	\$724.45	\$33,747.41	\$39,147.00	<b>\$39,147.00</b>
\$1.34	\$163.34	\$28,579.68	\$7,676.98	2.08	\$754.35	\$35,502.31	\$41,182.68	<b>\$41,182.68</b>
\$1.35	\$163.78	\$25,253.28	\$9,499.24	1.84	\$640.25	\$34,112.27	\$39,570.23	<b>\$39,570.23</b>
\$1.35	\$164.06	\$32,699.76	\$11,812.3	1.86	\$828.54	\$43,683.54	\$50,672.91	<b>\$50,672.91</b>
\$1.39	\$164.77	\$24,835.32	\$7,744.19	2.09	\$681.64	\$31,897.87	\$37,001.53	<b>\$37,001.53</b>
\$1.39	\$165.63	\$26,578.44	\$7,618.98	2.13	\$728.23	\$33,469.19	\$38,824.26	<b>\$38,824.26</b>
\$1.34	\$163.87	\$31,034.40	\$7,865.76	1.91	\$742.55	\$38,157.61	\$44,262.82	<b>\$44,262.82</b>
\$1.31	\$163.21	\$25,309.20	\$7,344.45	2.05	\$667.93	\$31,985.72	\$37,103.43	<b>\$37,103.43</b>
\$1.37	\$163.11	\$27,803.88	\$7,503.06	2.09	\$737.06	\$34,569.88	\$40,101.06	<b>\$40,101.06</b>
\$1.40	\$163.04	\$22,647.60	\$7,499.84	2.10	\$633.57	\$29,513.87	\$34,236.09	<b>\$34,236.09</b>
\$1.40	\$164.05	\$23,200.56	\$6,397.95	2.01	\$594.33	\$29,004.18	\$33,644.85	<b>\$33,644.85</b>
<b>TOTAL</b>								<b>\$515,221.1</b>

Tabla 5.6- Cálculo del costo de energía eléctrica con la tarifa OM en el año 2012.

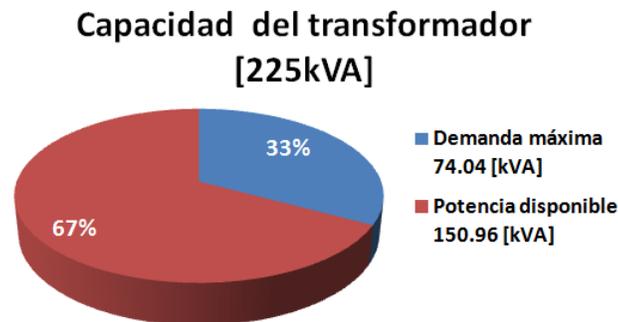
De acuerdo a los valores de la tabla 5.3 se realizaron los cálculos del costo de la energía con ambas tarifas: El costo total anual calculado del año 2012 con la tarifa actual (03) fue de \$653,918.54, mientras que con la tarifa propuesta (OM) nos resultó un costo de \$515,221.1, obteniendo un ahorro anual del %21.21 lo que representa la cantidad de \$138,697.43 al año. El ahorro mensual promedio calculado fue de \$10,669.03.

### 5.5. Demanda eléctrica y capacidad del transformador.

Para llevar a cabo el cambio de tarifa eléctrica de baja a media tensión (23[kV]) es necesario conectar un transformador que cumpla con las condiciones mínimas necesarias para abastecer de energía eléctrica al inmueble. Como mencionamos anteriormente, Radio UNAM cuenta con un transformador de 225[kVA] de capacidad que será conectado en la subestación para llevar a cabo el cambio de alimentación a media tensión. En el ANEXO 1 se muestran los planos arquitectónicos del inmueble, en ellos se puede apreciar la subestación, ubicada en la planta baja.

Uno de los principales conceptos a analizar es la capacidad del transformador. De acuerdo a las mediciones de demanda eléctrica proporcionadas por CFE, el valor máximo registrado en la facturación eléctrica del año 2012 fue de 72[kW], con un factor de potencia de 97.24, dándonos una potencia aparente de 74.04[kVA] lo cual representa un 33% de la capacidad total del transformador.

Se puede ilustrar lo anterior en la siguiente gráfica de pastel:



Gráfica 5.4- Capacidad disponible del transformador.

De la gráfica observamos que la potencia máxima demandada medida en el año 2012, representa un 33% de la capacidad del transformador, siendo una carga muy pequeña para su capacidad. La demanda mínima de acuerdo al recibo de facturación (ver ANEXO 6) es de 39[kW] con un factor de potencia de 97.86, resultando una potencia aparente de 39.85[kVA], lo que representa un 17.7% de la capacidad del transformador.

Del monitoreo, los valores de la potencia aparente demandada por la dependencia son:

- ✓ Máximo de 46.327[kVA]; representa 20.5% de la capacidad del transformador.
- ✓ Mínimo de 14.832[kVA]; representa 6.5% de la capacidad del transformador.
- ✓ Promedio de 26.011[kVA]; representa 11.5% de la capacidad del transformador.

Aunque se obtengan ahorros económicos al llevar a cabo la conexión del transformador, estas condiciones no son las adecuadas para que opere, debido a las pérdidas en el transformador. Cuanto más grande sea la capacidad del transformador, la corriente de excitación del núcleo también tiende a crecer, así que las pérdidas serían más grandes. Además, debido a la impedancia del transformador, puede ser posible que se vea afectado el factor de potencia total de la dependencia, siendo más notorio cuando la demanda eléctrica en la dependencia sea mínima. Se debe tener en cuenta esta observación para no generar recargos en la facturación eléctrica.

Para analizar mejor lo anterior, es necesario tener en cuenta la impedancia total del sistema, incluyendo a la del transformador. Debido a que no fue posible realizar pruebas al transformador, se desconocen los valores de sus impedancias, así que se utilizarán valores teóricos para el cálculo. Para comenzar con el cálculo, comenzaremos por analizar el circuito equivalente de un transformador, el cual se muestra a continuación:

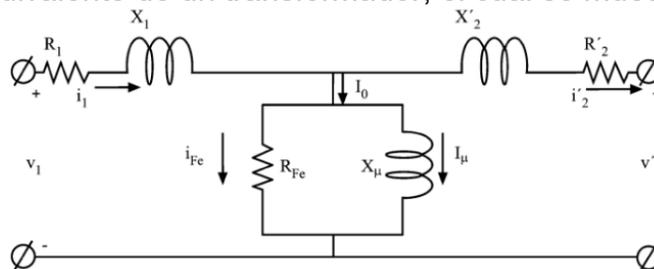


Figura 5.2- Circuito equivalente exacto de un transformador real.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Mujal Rosas, Ramón M. (2003). Tecnología eléctrica. España: Editorial UPC.

Donde:

$R_1$  y  $X_1$  : Componentes de la impedancia del primario.

$I_1$ : Corriente del primario.

$R'_2$  y  $X'_2$ : Componentes de la impedancia del secundario.

$I'_2$  : Corriente del secundario.

$R_{Fe}$  y  $X_\mu$  : Componentes del núcleo del transformador.

$I_0$  : Corriente de saturación del transformación.

$I_{Fe}$  : Corriente activa.

$I_\mu$ : Corriente inductiva.

Para calcular los valores de resistencias e inductancias del modelo del transformador, se tomarán en cuenta las pruebas de circuito abierto y corto circuito.

La prueba de circuito abierto consiste en dejar abierto el devanado del secundario, mientras que al devanado primario se le aplica la tensión nominal. Con estas condiciones, existe una corriente de entrada que debe fluir por la rama de excitación del transformador. La impedancia del bobinado primario es muy pequeña en relación a la impedancia del núcleo; eso implica que la caída de tensión sea mínima y que la tensión de entrada caiga en la rama de excitación. Con ésta prueba se puede calcular los valores de la impedancia de excitación.

La forma más fácil de calcular la impedancia del núcleo es calculando la magnitud de la admitancia y su factor de potencia de la rama de excitación con ayuda de las siguientes ecuaciones:

$$|Y_N| = \frac{I_{OC}}{V_{OC}} [S]; \alpha = \cos^{-1} \frac{P_N}{V_{OC} I_{OC}} \quad [10]$$

Donde:

$Y_N$ : Admitancia del núcleo.

$I_{OC}$ : Corriente de circuito abierto.

$V_{OC}$ : Tensión aplicada en el primario.

$P_N$ : Pérdidas de potencia en el núcleo.

Debido a que no se cuenta con los valores prácticos, se utilizarán valores teóricos para calcular la admitancia y el factor de potencia. Se utilizará  $V_{OC}=23[kV]$  que es la tensión nominal aplicada en el primario, la  $P_N=820[W]$  se obtuvo de la TABLA 2. "Pérdidas en vacío y totales máximas permitidas" de la NOM-002-SEDE-2007 "Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución". De esa misma tabla obtenemos el valor de la potencia total de pérdidas totales ( $P_T=3,080[W]$ ) en el transformador, las cuales incluyen las pérdidas del núcleo ( $P_N$ ) y en los bobinados ( $P_{BOB}$ ), las cuales se muestran en la siguiente ecuación:

$$P_T = P_{BOB} + P_N \quad [11]$$

Se despeja la potencia de las pérdidas en los bobinados y se sustituyen los valores:

$$P_{BOB} = P_T - P_N = 2,260 [W] \quad [12]$$

Como se desconoce la magnitud de la corriente de excitación  $I_{OC}$ , se tomará como ejemplo un caso práctico realizado con un transformador de la misma potencia, en el que la corriente de excitación es el 2% de la corriente nominal del primario del transformador. Entonces, a continuación se calculan las corrientes  $I_1$  e  $I_{OC}$ :

$$I_{1\text{ nominal de línea}} = \frac{(225 \times 10^3 [VA])}{(\sqrt{3})(23 \times 10^3)} = 5.647 [A] \quad [13]$$

Como la conexión del transformador es delta-estrella, la corriente calculada es la corriente de línea, así que se procede a calcular la corriente de fase:

$$I_{1\text{ nominal de fase}} = \frac{I_{1\text{ nominal de línea}}}{\sqrt{3}} = 3.26 [A] \quad [14]$$

Entonces, como se mencionó anteriormente, se considerará a la corriente de excitación como el 2% de la corriente nominal calculada en la ecuación [14], por lo tanto:

$$I_{OC} = (0.02)(I_{1\text{ nominal de fase}}) = (0.02)(3.26 [A]) = 0.0652 [A] \quad [15]$$

Ahora sí, al sustituir los valores en la ecuación [10], la admitancia del núcleo es:

$$|Y_N| = 2.834 \times 10^{-6} e^{-56.85^\circ} [S]; Y_N = 1.549 \times 10^{-6} - j2.372 \times 10^{-6} [S] \quad [16]$$

Con el valor de  $Y_N$ , se calcula la impedancia del núcleo:

$$|Z_N| = 770,969.118 e^{33.13^\circ} [\Omega]; Z_N = 645,577.79 + j421,453.08 [\Omega] \quad [17]$$

Posteriormente, con ayuda de la prueba de corto circuito, la cual consiste en cortocircuitar el devanado secundario del transformador y el devanado primario se conecta a una fuente de tensión, ajustando la tensión hasta que se tenga una corriente nominal en los devanados. Con esta prueba podemos calcular la impedancia de los bobinados.

De igual forma que en la prueba anterior, no se cuentan con las mediciones prácticas, así que se procede a calcular las variables eléctricas. La tensión de impedancia  $V_{CC}$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{CC} = Z_{PU} V_{\text{nominal}} = (0.0452)(23 \times 10^3) = 1,039.6 [V] \quad [18]$$

Con este valor, se calculará la impedancia en los bobinados:

$$Z_{BOB} = \frac{V_{CC}}{I_{1\text{ nominal de fase}}}; \beta = \cos^{-1} \frac{P_{BOB}}{V_{CC} I_{1\text{ nominal de fase}}} \quad [19]$$

Donde:

$Z_{BOB}$ : Es la impedancia de los bobinados

$V_{CC}$ : Es la tensión aplicada en la prueba de corto circuito.

$Z_{PU}$ : Es la impedancia en por unidad del transformador (dato de placa).

$V_{\text{nominal}}$ : Es la tensión nominal en el primario del transformador.

$P_{BOB}$ : Es la potencia de pérdidas en los bobinados.

Al sustituir los valores en la ecuación [19], el valor de la impedancia en los bobinados es:

$$Z_{BOB} = 318.89e^{49.08^\circ} [\Omega] = 208.87 + j240.96 [\Omega] \quad [20]$$

Como ya conocemos la impedancia del bobinado ( $Z_{BOB}$ ) y la impedancia del núcleo del transformador ( $Z_N$ ), ahora solo resta calcular la impedancia de la carga ( $Z_{carga}$ ). Para ello, primero hay que calcular la corriente de carga ( $I_2$ ), utilizando la potencia de demanda de la carga  $P_{promedio \text{ de carga}}$  y el factor de potencia de la carga, ambos valores promedio de medidos en el monitoreo. Entonces la corriente  $I_2$  se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$|I_2| = \frac{P_{promedio \text{ de carga}}}{(\sqrt{3})(V_{nominal})(f.p.carga)} [A] = \frac{25,189.69 [W]}{(\sqrt{3})(23 \times 10^3)(0.97)} = 0.651 [A]; \varphi = -\cos^{-1}(0.97) = -14.06^\circ \quad [21]$$

$$I_2 = 0.631 - j0.158 [A] \quad [22]$$

La impedancia de la carga se calcula a continuación:

$$Z_{carga} = \frac{V_{nominal}}{I_2} [\Omega] = \frac{(23 \times 10^3 e^{0^\circ})}{(0.651 e^{-14.06^\circ})} [\Omega] = 35,330.26 e^{14.06^\circ} = 34,271.83 + j8,583.05 [\Omega] \quad [23]$$

Con las impedancias calculadas podemos establecer el siguiente circuito equivalente:

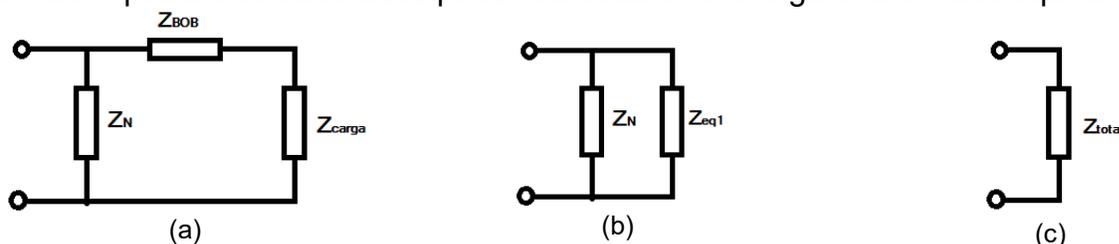


Figura 5.3- Circuito equivalente del transformador.

En el circuito (a) de la figura 5.3 podemos apreciar que las impedancias del bobinado y de la carga están en serie, así que se calcula la impedancia equivalente:

$$Z_{eq1} = Z_{BOB} + Z_{carga} = (208.87 + j240.96) + (34,271.83 + j8,583.05) [\Omega] \quad [24]$$

$$Z_{eq1} = 34,480.7 + j8,824.01 [\Omega] = 35,591.87 e^{14.35^\circ} [\Omega]$$

En el circuito (b) de la figura 5.3, se muestra el circuito con la impedancia equivalente calculada en la ecuación [24] en paralelo con la impedancia del núcleo. La impedancia total se muestra en el circuito (c) de la figura 5.3 y se calcula a continuación:

$$Z_{total} = \frac{Z_N Z_{eq1}}{Z_N + Z_{eq1}} = \frac{(770,969.118 e^{33.13^\circ} [\Omega])(35,591.87 e^{14.35^\circ} [\Omega])}{(645,577.79 + j421,453.08 [\Omega])(34,480.7 + j8,824.01 [\Omega])} \quad [25]$$

$$Z_{total} = \frac{(2.744 \times 10^{10} e^{47.48^\circ}) [\Omega]}{(680,058.49 + j430,277.09) [\Omega]} = \frac{(2.744 \times 10^{10} e^{47.48^\circ}) [\Omega]}{(804,747.118 e^{32.32^\circ}) [\Omega]} = (34,097.66 e^{15.16^\circ}) [\Omega]$$

$$Z_{total} = (34,097.66 e^{15.16^\circ}) [\Omega]$$

Para concluir, se calcula el factor de potencia total:

$$F.P._{total} = \cos(15.16^\circ) = 0.965 \quad [26]$$

Aunque no es mucho el decremento del factor de potencia y con este valor se obtendrían bonificaciones en la facturación eléctrica, se recomienda realizar las pruebas de corto circuito y circuito abierto al transformador, para tener los valores reales de las impedancias y así, calcular el factor de potencia práctico para evitar tener recargos en la facturación eléctrica.

Cuanto más grande sea la capacidad del transformador, las pérdidas también lo serán, eso implicando que la eficiencia del transformador se reduzca.

A continuación se muestra la ecuación para calcular la eficiencia del transformador:

$$\%E = \frac{P_{promedio\ de\ carga}}{(P_{promedio\ de\ carga}) + (P_N) + [(FC^2)(P_{BOB})(T)]} \quad [27]$$

Donde:

$P_{promedio\ de\ carga}$ : Es la potencia promedio de carga.

$P_N$ : Es la potencia de pérdidas en el núcleo del transformador.

$P_{BOB}$ : Es la potencia de pérdidas en el bobinado del transformador

$FC$ : Es el factor de carga.

$T$ : Es el factor de corrección para las pérdidas de carga a 70°C (0.952332).

$FC$  es el factor de carga, el cual se calcula a continuación:

$$FC = \frac{S_{promedio}}{S_{nominal}} = \frac{25.895[kVA]}{225[kVA]} = 0.11 \quad [28]$$

Donde:

$S$ : Es la potencia aparente promedio carga (tomada del monitoreo).

$S$ : Es la potencia aparente nominal del transformador.

Al sustituir los valores en la ecuación [28]:

$$\%E = \frac{25,189.69[W]}{(25,189.69[W]) + (820[W]) + [(0.11^2)(2,260[W])(0.952332)]} \times 100 = 96.75\% \quad [29]$$

En la NOM-002-SEDE/ENER-2014, TABLA 1. "Eficiencias mínimas permitidas referidas a un factor de carga del 80% para los transformadores de distribución" señala que la eficiencia mínima permitida para un transformador como el que se cuenta es de 98.96% con un factor de carga de 80%.

Al tener un factor de carga bajo, afecta a la eficiencia del transformador, por esa razón no se recomienda que el transformador esté muy sobrado, por que las pérdidas totales en el transformador se incrementan. A continuación se calculan las pérdidas totales en el transformador ( $P_T$ ):

$$P_T = (P_N) + [(FC^2)(P_{BOB})(T)] = (820[W]) + [(0.11^2)(2,260[W])(0.952332)] = 846.04[W] \quad [30]$$

Lo que significa un consumo de energía mensual de:

$$E_{pérdidas} = (846.04[W])(24[h])(30[días]) = 609.120[kWh] \quad [31]$$

Tomando el precio de energía de \$1.50 con la tarifa O-M, el costo mensual de las pérdidas calculadas en el transformador ( $\$_{pérdidas}$ ) es:

$$\$_{pérdidas} = (609.120[kWh]) \left( 1.5 \left[ \frac{\$}{kWh} \right] \right) = \$913.68 \text{ Mensuales} \quad [32]$$

Al año, el costo aproximado de energía eléctrica en pérdidas es de \$10,964.16.

En conclusión, el transformador con el que se cuenta puede operar normalmente con las condiciones de demanda del inmueble. A pesar de las pérdidas que se tienen, se obtiene un ahorro económico al llevar a cabo el cambio de tarifa, aunque lo mejor sería tener un transformador de menor capacidad para reducir dichas pérdidas.

## Conclusiones y recomendaciones.

Para concluir, debemos analizar si se cumplieron los objetivos planteados al comienzo de éste trabajo, para ello analizaremos los resultados obtenidos:

### *Calidad de la energía.*

En el capítulo 3 se mostraron los resultados obtenidos por el analizador de señales, tabulando los resultados máximos, mínimos y promedio, los cuales nos sirvieron para compararlos con la normatividad y especificaciones pertinentes y en base a ello analizar si existía alguna irregularidad en los parámetros eléctricos.

Los principales parámetros analizados se muestran a continuación, brindando recomendaciones de acuerdo a las anomalías presentadas:

### *Tensión:*

El 100% de los valores de tensión RMS medidos se encuentran dentro del rango nominal (127V,  $\pm 10\%$ )

El desbalance máximo en tensión es de 1.7%, lo cual está por debajo del 3% máximo permitido.

El valor promedio de %flicker se encuentra dentro del 1% máximo permitido, solo algunos valores están por encima, pero el rango es poco. No hay problema con la variable de tensión.

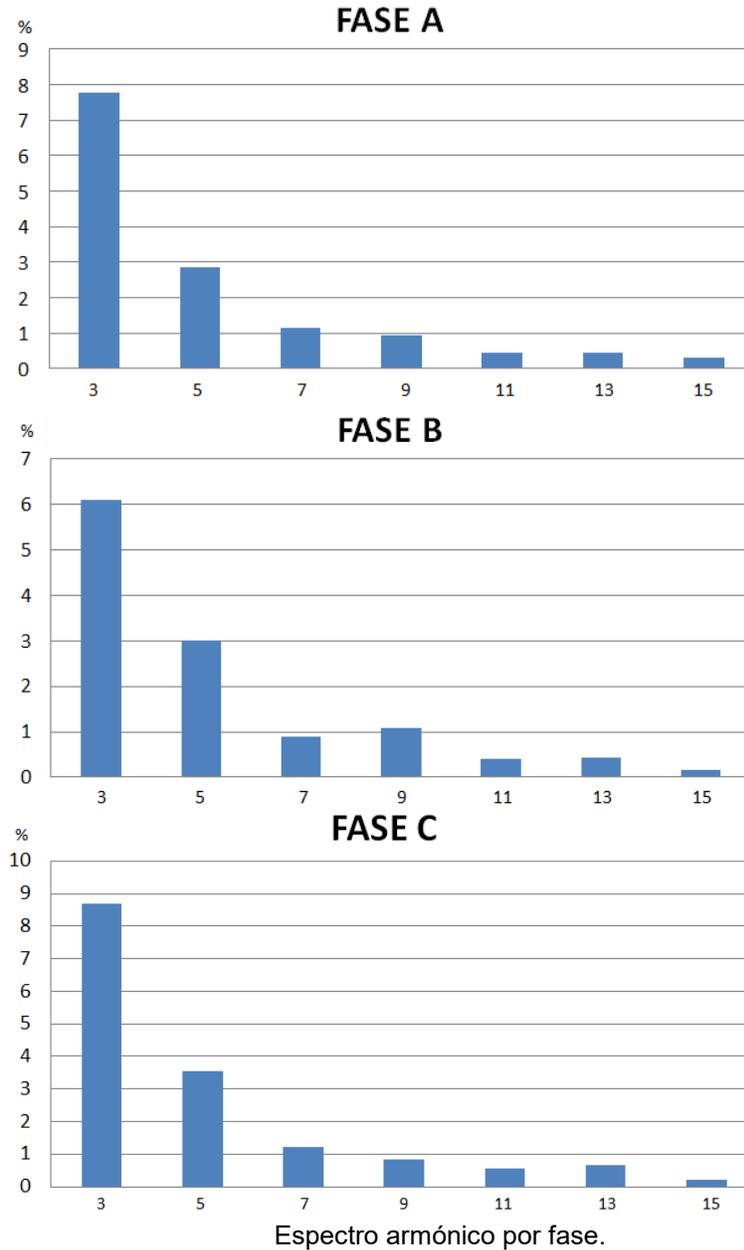
### *Distorsión Armónica Total %:*

Todos los valores de *DATT%* se encuentra dentro de los límites recomendados. El valor promedio de *DATD%* en corriente en lastres fases se encuentra dentro del 12% recomendado, sin embargo, hubo algunos instantes en los que se supera dicho límite; principalmente en la fase C y en menor escala en la fase A (ver gráfica del ANEXO 2).

Este parámetro tuvo el mayor valor de *DATD%* (20.9%) el día martes 26 de febrero de 2013 en la fase C, a las 9:20 a.m. y en los días posteriores se tiene picos alrededor de las 12 p.m. hora en la cual prácticamente toda la gente del inmueble se encuentra laborando, utilizando equipos más comunes como cómputo e iluminación, los cuales son generadores de corrientes armónicas monofásicas que se encuentran conectadas en mayoría en la fase C. Además, en la fase A también hay momentos en los cuales se excede el 12% recomendado (por muy poco y en menores ocasiones), registrando el valor máximo (14.4%) el día lunes 4 de marzo del 2013 a las 12 p.m. y los días martes 26 de febrero y viernes 1 de marzo también se rebasa dicho límite también alrededor de las 12 p.m. En la fase B todos los valores medidos no rebasan el límite recomendado.

Una medida para mitigar la distorsión armónica es necesario conocer su naturaleza; las de secuencia cero (armónicos 3 y 9) se puede utilizar la conexión de transformador en zig-zag o con factor "k" elevado y en caso de tener armónicos de orden 5 y 7 se puede utilizar filtros.

A continuación se presentan los espectros de cada una de las fases:



De acuerdo a la especificación CFE L0000-45 TABLA 3-“Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV”, la Componente Armónica Individual Máxima de Corriente (CAIMC) de los armónicos menores al onceavo es del 10%, por lo tanto se cumple con esta condición en las tres fases. En la gráfica anterior se observa que los armónicos de orden 3 y 5 son los de mayor magnitud en las tres fases, los de orden 3; de secuencia cero, se pueden mitigar al conectar el transformador en delta-estrella.

En conclusión, los armónicos presentes no causan mayor daño a la instalación, por lo tanto no se proponen medidas especiales para este parámetro.

*Corriente eléctrica:*

La protección principal protege a los conductores principales, pero la demanda máxima registrada es mucho menor que la protección, siendo el 38.86% de la capacidad de la protección principal, por lo tanto se recomienda reducir la capacidad de dicho interruptor.

Anteriormente calculamos la corriente máxima a partir de la demanda máxima y el factor de potencia medidos durante el año 2012 de acuerdo con el recibo de facturación (ver ANEXO 6) lo cual se muestra a continuación:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{72,000}{(\sqrt{3})(220)(0.9724)} = 194.31[A]$$

Se tomaron en cuenta los siguientes valores:

Demanda máxima medida: 72[kW]

Tensión del sistema: 220[V]

FP: 97.24

La corriente obtenida le agregamos el 25%, resultando una corriente de 242.39[A], por lo tanto, de acuerdo a los valores comerciales de protecciones, se recomienda un interruptor termo magnético de 250[A] de capacidad.

En cuanto al desbalance de corriente se sugiere llevar a cabo un balanceo de carga, compensando la demanda menor en la fase C con carga de la fase B. Como vimos en la tabla 3.13, el promedio de la demanda en corriente nos muestra el desbalance que hay en las tres fases:

CORRIENTE [A]			
FASE	A	B	C
<b>PROMEDIO</b>	66.8	72.6	60

Para solucionar éste problema se debe quitar carga de la fase B y colocarla en la fase C. La acción anterior se sugiere realizarla en cargas continuas, por ejemplo en tableros de alumbrado, trasladando carga de aproximadamente 6[A] de la fase B a la fase C, como se mencionó anteriormente y así mitigar el desbalance en corriente existente y además mejorar el desbalance en tensión, que aunque no excede el límite permitido, puede llegar a suceder.

*Factor de Potencia:*

El valor promedio del F.P. por cada fase y el total se encuentran en el rango recomendado por CFE, solo hubo algunos instantes en los que el F.P. era bajo en la fase C, y éstos valores menores al 90 eran registrados generalmente en la noche, registrando el valor más bajo el 27 de febrero del 2013 a las 22:30hrs, desde entonces y hasta aproximadamente las 9hrs del 28 de febrero se mantuvo bajo el F.P. En las dos noches siguientes también hubo lapsos donde el F.P. era menor al 90.

El bajo factor de potencia se debe a cargas monofásicas conectadas en la fase C que se mantienen encendidas durante la noche; luminarios, equipos de cómputo y transmisión pueden ser los causantes del bajo factor de potencia registrado en ese lapso de tiempo. Se recomienda realizar monitoreos puntuales en tableros que alimenten a éste tipo de cargas para tener certeza de lo que causa el decremento del F.P. y así, llevar a cabo medidas para solucionar el problema, por ejemplo conectar bancos de capacitores, motores síncronos, etc., aunque se tendría que analizar la viabilidad de llevar a cabo esta medida, por los costos de inversión.

A pesar de estos valores bajos de F.P., no fue afectado el valor promedio que es el que se toma en cuenta y que es facturado por la compañía suministradora. De acuerdo al periodo de medición, no hay problemas con éste parámetro y se garantizan bonificaciones en la facturación eléctrica.

#### *Frecuencia:*

El valor promedio de frecuencia del sistema se encuentra estable, solo hubo un breve instante registrado el día miércoles 27 de febrero del 2013 a las 15:10hrs., tomando un valor de 57.74[Hz], que fue el mismo instante cuando ocurrió una caída drástica de tensión en la fase C, lo cual pudo ser ocasionado por la conexión de una carga monofásica con corriente de arranque alta, pero al analizar la gráfica de corriente, en la fase C no se observa un cambio drástico en la demanda, por lo cual este comportamiento se debe a alguna falla externa al inmueble. En general concluimos que no hay problemas con éste parámetro.

#### *Factor "K":*

El valor promedio de dicho factor es de aproximadamente 1, lo cual indica que es bajo el contenido de armónicos en el sistema, por lo cual no hay problema de llevar a cabo la conexión del transformador donado.

En general no hay mayor problema con los parámetros eléctricos analizados, basta con llevar a cabo las recomendaciones antes mencionadas para asegurar un sistema eléctrico de calidad. Dicho lo anterior, se cumple con el primer objetivo del presente proyecto.

#### *Diagnóstico energético.*

Mediante el estudio del uso general de la energía eléctrica logramos identificar las cargas más significativas en el inmueble, analizando la demanda y consumo en cada una de ellas, con el fin de analizar acciones de ahorro viables y así, garantizar el uso eficiente de energía. Los niveles energéticos calculados se compararon con valores de otras dependencias de oficinas, para obtener un punto base de análisis y así concluir que el índice energético se encontraba en el rango de valores bajo en comparación a las demás dependencias. Cabe señalar que los dichos valores fueron proporcionados por la CONNUE.

Los tipos de cargas identificados para aplicarles medidas de ahorro de energía, fueron seleccionados con ayuda de un diagrama de Pareto, al realizar la sumatoria de consumo por carga y así identificar con mayor precisión el tipo de cargas en los cuales se aplicarán las medidas de ahorro. De acuerdo a éste análisis, se seleccionaron las cargas de cómputo e iluminación, al ser las cargas más significativas representando un 80% del consumo total. Las medidas propuestas en las cargas de cómputo son operativas, instruyendo a los usuarios a configurar los equipos de cómputo en el modo de ahorro de energía. Aunque ésta medida suene sencilla, se lograron obtener ahorros en consumo de aproximadamente 34.21% del total del tipo de cargas de cómputo, teniendo un ahorro aproximado de 1,762.42 [kWh] mensuales, representando un ahorro económico mensual de \$2,643.63.

En cuanto al sistema de iluminación, se calcularon los niveles de DPEA por área y general, para compararlos con los límites máximos permitidos en la NOM-007-ENER-2014, "Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales", analizando que en zonas de camerinos y sala de usos múltiples se encontraban por encima del límite, pero al basarnos en el punto 8.2.1 de dicha norma, calculamos el valor general (7.43 [W/m<sup>2</sup>]), determinando que éste se encuentra muy por debajo del límite establecido de acuerdo al uso preponderante del edificio 12 [W/m<sup>2</sup>] (oficinas) por lo tanto no hay problema con éste parámetro.

Además, se realizó la medición de los niveles de iluminación, calculando los valores promedio para cada sitio mediante el método de la constante de salón, para realizar el análisis en base a lo indicado en la NOM-025-STPS-2008, "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo". De acuerdo a éste análisis se encontró una deficiencia de los niveles de iluminación en la zona de oficinas, por lo cual se propuso la sustitución de luminarios instalados en esos sitios por otros que brinden una mejor iluminación (ver ANEXO 5).

Los luminarios propuestos son de tecnología LED, pues concluimos que son los más viables para aumentar los niveles de iluminación y además, ofrecen un menor consumo de energía, reduciendo los DPEA's y el índice energético calculado anteriormente.

Debido a que los luminarios instalados actualmente tienen una eficiencia relativamente buena, se llegó a la conclusión de que no es viable sustituir los luminarios por otra tecnología más eficiente, pues a pesar de que si se obtienen ahorros al realizar el cambio, estos son bajos en comparación del precio de las nuevas tecnologías pues son muy costosas y por consecuencia el tiempo de amortización sería muy grande. Por tal motivo solo se propone sustituir los 100 luminarios instalados en oficinas con el fin de mejorar los niveles de iluminación en esa zona. Al sustituir dichos luminarios se obtiene un ahorro anual en consumo de 9,048 [kWh] representando un ahorro económico de \$13,572 en consumo anual.

Se descartó el uso de tecnologías de control automático de iluminación debido a la incompatibilidad con el sistema de iluminación instalado actualmente y las necesidades del lugar.

Otra propuesta que se hace es la instalación de apagadores manuales para luminarios, con el fin de ahorrar energía pero principalmente para cumplir con lo establecido en la NOU al exigir que los luminarios cuenten con apagador (ver ANEXO 4). Los ahorros estimados se calcularon en base al tiempo de uso de los luminarios donde se colocarán los apagadores, aproximando su ahorro económico y en energía.

Al efectuar la instalación de apagadores y de la sustitución de los 100 luminarios en oficinas, se calculó un ahorro en energía de 1,372[kWh] y al adicionar el ahorro en computadoras, nos da un total de 3,134.08[kWh] mensuales, lo cual representa un 19.87% del consumo total calculado de acuerdo al estudio del uso de la energía realizado.

Además de las propuestas de ahorro antes mencionadas, se brindan los siguientes consejos de fácil aplicación para los usuarios de la dependencia:



#### **Apagar los equipos cuando no estén en uso**

Las computadoras y otros equipos (fotocopiadoras, monitores, impresoras, sistema de iluminación), suelen estar encendidos todo el día y hasta en la noche. Se debe apagarlos y desconectarlos al terminar la jornada laboral.



#### **Apagar las luces**

Apagar las luces siempre que las oficinas estén desocupadas.



#### **Encender sólo lo necesario**

Si trabaja durante la noche, ilumine sólo las áreas que necesite y apague los equipos que no esté utilizando.



#### **Verificación de apagado**

Solicitar a las últimas personas que se retiran de la oficina, apagar las luces o den aviso para que se apaguen.



#### **Evitar el consumo de electricidad en espera**

Desconectar la carga, retirando la clavija del contacto.

Usar un interruptor manual o un multicontacto desde el cual se puede cortar la corriente de suministro.<sup>25</sup>

Para cumplir con los objetivos, se brindaron propuestas que garantizan ahorros en el consumo de energía eléctrica y además, se corregirán los problemas detectados, asegurando un uso eficiente de la energía consumida en Radio UNAM, que cumple con la normatividad pertinente.

#### *Facturación y cambio de tarifa eléctrica.*

Se llevó a cabo el análisis económico para llevar a cabo el cambio de tarifa eléctrica, obteniendo ahorros anuales de aproximadamente \$515,221.1 con la tarifa en media tensión propuesta (tarifa OM), Al analizar el recibo de facturación eléctrica del año 2012,

<sup>25</sup><http://portalsej.jalisco.gob.mx/ahorro-energia>

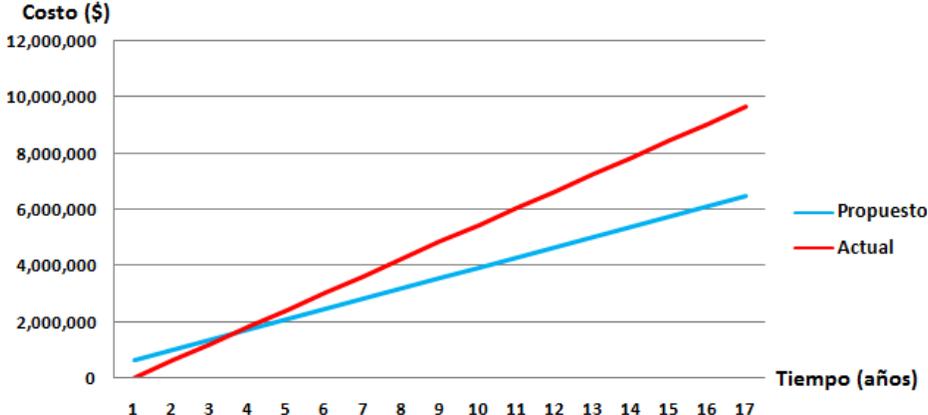
se observó que la demanda máxima mensual medida por CFE fue de 72[kW] y en promedio se encuentra en 48[kW], lo cual cumple con lo especificado por el suministrador de tener menos de 100[kW] de demanda máxima. Por lo tanto es viable llevar a cabo el cambio de tarifa. Cabe señalar, que el transformador estará subutilizado, ya que se estará ocupando un máximo de aproximadamente 74[kVA], que respecto a su capacidad representa un 33% y esta situación no es la ideal para operar un transformador. El factor de potencia calculado, no se ve afectado en condiciones de mínima carga. Se debe aclarar que este es un valor teórico, así que se recomienda realizar las pruebas para calcular el valor práctico de las impedancias o mantenerse pendiente con este parámetro.

En conclusión, el transformador puede operar en las condiciones previstas, obteniendo un ahorro económico por el cambio de tarifa eléctrica.

*Conclusión final.*

Para concluir, analizaremos el costo total de energía eléctrica actual vs el costo de la energía con las recomendaciones propuestas, incluyendo los costos de inversión y los ahorros anuales previstos. Para obtener el costo en consumo de la energía eléctrica, se consideraron los siguientes valores promedio para tarifas actual y propuesta: F.P.=98 y una demanda máxima de 49[kW].

El consumo mensual calculado con la tarifa actual (tarifa 03) es de 15,768[kWh] y el consumo mensual calculado para el sistema propuesto (tarifa OM) es de 12,633[kWh], teniendo un ahorro aproximado mensual de 3,135[kWh] representando un ahorro económico de \$4,702.50. Se tomó en cuenta los costos de la tarifa 03 para el sistema actual y los costos de la tarifa OM para la propuesta de cambio. A continuación se muestran los resultados obtenidos:



Gráfica de costo de energía e inversión con el sistema actual y propuesto.

Cabe señalar que este es un cálculo aproximado y que no se incluyeron los costos de la adecuación de la subestación para conectar el transformador. Observamos que a través del tiempo los ahorros obtenidos con el sistema propuesto se van incrementando, por lo cual se recomienda llevar a cabo este proyecto, pues además de obtener los ahorros mencionados, se aprueba la calidad de la energía y se garantiza el uso eficiente de la misma, brindando un sistema confortable, sustentable y que cumple con las normativas pertinentes.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ Baggini, A. (1998). Handbook of Power Quality. Italy: John Wiley & Sons Enríquez.
- ✓ Enríquez Harper, G. (2005), El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales, México: Limusa.
- ✓ Grainger J. J, Stevenson, (1996), Análisis de Sistemas de Potencia. México: McGraw-Hill.
- ✓ Harper, G. (1999). El ABC de la Calidad de la Energía. México: Limusa.
- ✓ I. Pressman, (1991), Switching Power Supply Design. Ed. Mc. Graw Hill.
- ✓ Mujal Rosas, Ramón M.(2003). Tecnología eléctrica. España: Editorial UPC.
- ✓ J. Chapman, Stephen. (s.f.). Máquinas eléctricas. Ed. Mc. Graw Hill.
- ✓ CFE-L0000-45, E. (s.f.). Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica. México.
- ✓ IEEE-1159. (1995). Guía práctica para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica.
- ✓ NOM-001-SEDE-2012. (2011). Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas (Utilización). México.
- ✓ Norma Oficial Universitaria. (1998). Norma Oficial Universitaria Instalaciones Electromecánicas emitida por la Dirección General de Obras y Conversación de la UNAM. México.
- ✓ Norma Oficial Mexicana “Condiciones de iluminación en los centros de trabajo” NOM-025-STPS-2008.
- ✓ Norma Oficial Mexicana “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales NOM-007-ENER-2014”.
- ✓ Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. (2011). México.
- ✓ Norma Oficial Mexicana “Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución” NOM-002-SEDE/ENER-2014.

## Páginas WEB:

- ✓ <http://www.lighting.philips.com.mx/prof>
- ✓ <http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx>
- ✓ [http://spanish.leviton.com/OA\\_HTML/Home.jsp?minisite=10251&respid=22372](http://spanish.leviton.com/OA_HTML/Home.jsp?minisite=10251&respid=22372)
- ✓ [www.fide.org.mx](http://www.fide.org.mx)
- ✓ <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- ✓ <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>
- ✓ [http://www.radiounam.unam.mx/images/Memoria/2013\\_DGRU\\_MEMORIA\\_PUBLICADA.pdf](http://www.radiounam.unam.mx/images/Memoria/2013_DGRU_MEMORIA_PUBLICADA.pdf)
- ✓ <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTE%20DE%20LUMINACI%C3%93N.pdf?sequence=4>
- ✓ [http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion\\_control\\_demanda.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4687/3/Informacion_control_demanda.pdf)

## Folletos y manuales:

- ✓ Manual de recomendaciones para ahorro de energía en instalaciones eléctricas. Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica,
- ✓ COMO AHORRAR ENERGÍA ELÉCTRICA. (s.f.). Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica.

## ANEXO 1

### Diagrama unifilar y planos actuales de Radio UNAM.

#### SIMBOLOGÍA

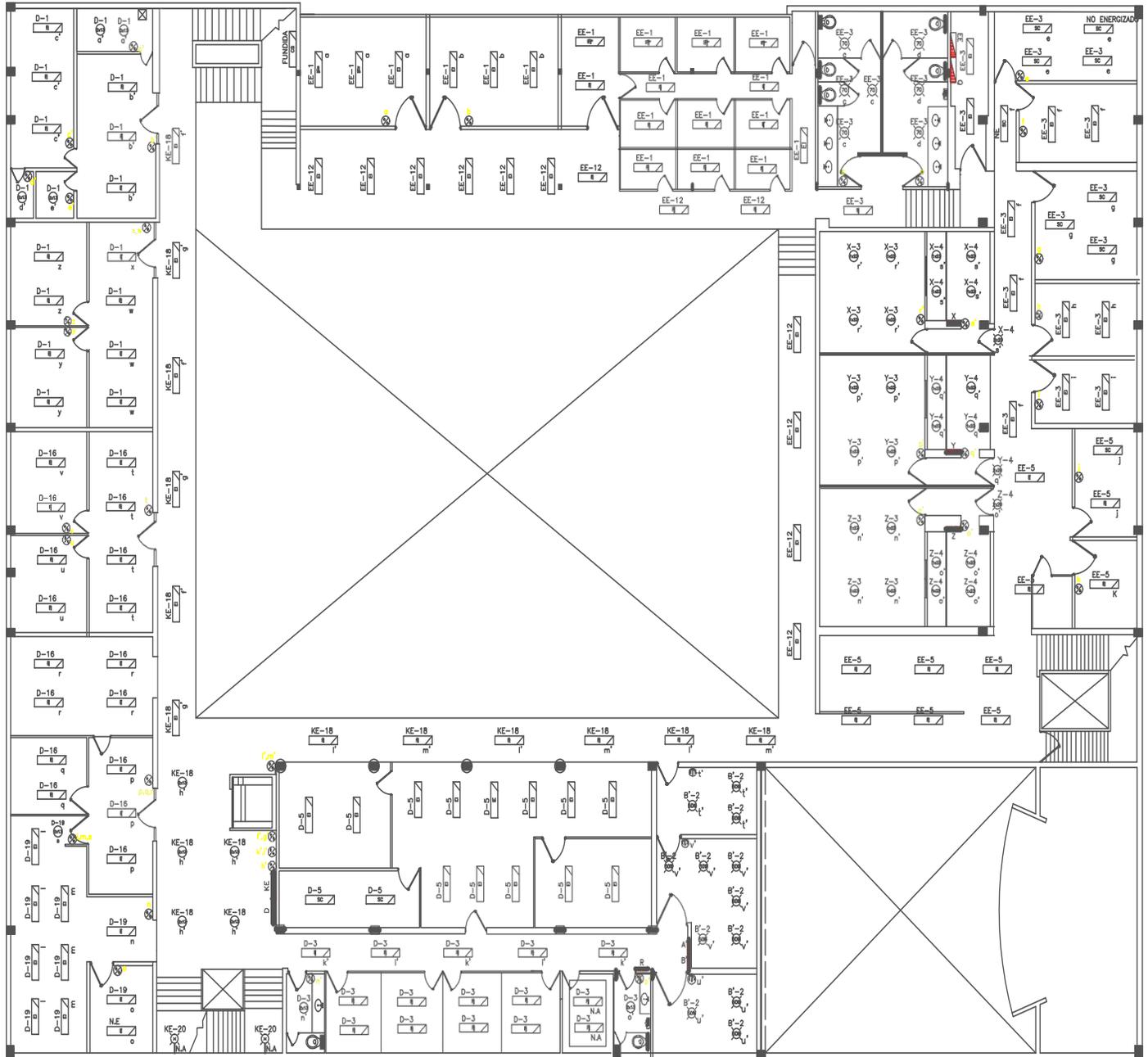
	(NOMBRE) TABLERO ELÉCTRICO
	LUMINARIA FLUORESCENTE EMPOTRADA INDIRECTA T-8 2X32W CON BALASTRO ELECTRÓNICO.
	LUMINARIA FLUORESCENTE SOBREPUESTA T-8 2X32W CON BALASTRO ELECTRÓNICO.
	LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 1X23W
	LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 2*26W
	LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 1*26W
	LÁMPARA DICROICA DE 50W.
	APAGADOR SENCILLO EN UNA CAJA DE CONEXIÓN.
	DOS APAGADORES SENCILLOS EN UNA CAJA DE CONEXIÓN.
	LUMINARIA ARBOTANTE TIPO INTERIOR CON LÁMPARA PAR DE 100W.
	LUMINARIA FLUORESCENTE EMPOTRADA CON DIFUSOR DE ACRILICO DE 1.22x0.31m, T-8 2*32W DE BALASTRO ELECTRÓNICO CON APAGADOR DE CORDÓN.
	LAMPARA INCANDESCENTE DE 70W.
	LAMPARA INCANDESCENTE DE 50W SALIDA A SPOT.
	DIMMER
	ACOMETIDA ELÉCTRICA
	INTERRUPTOR EN CAJA MOLDEADA
	TABLERO DE TRANSFERENCIA
	PLANTA DE EMERGENCIA
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	AIRE ACONDICIONADO



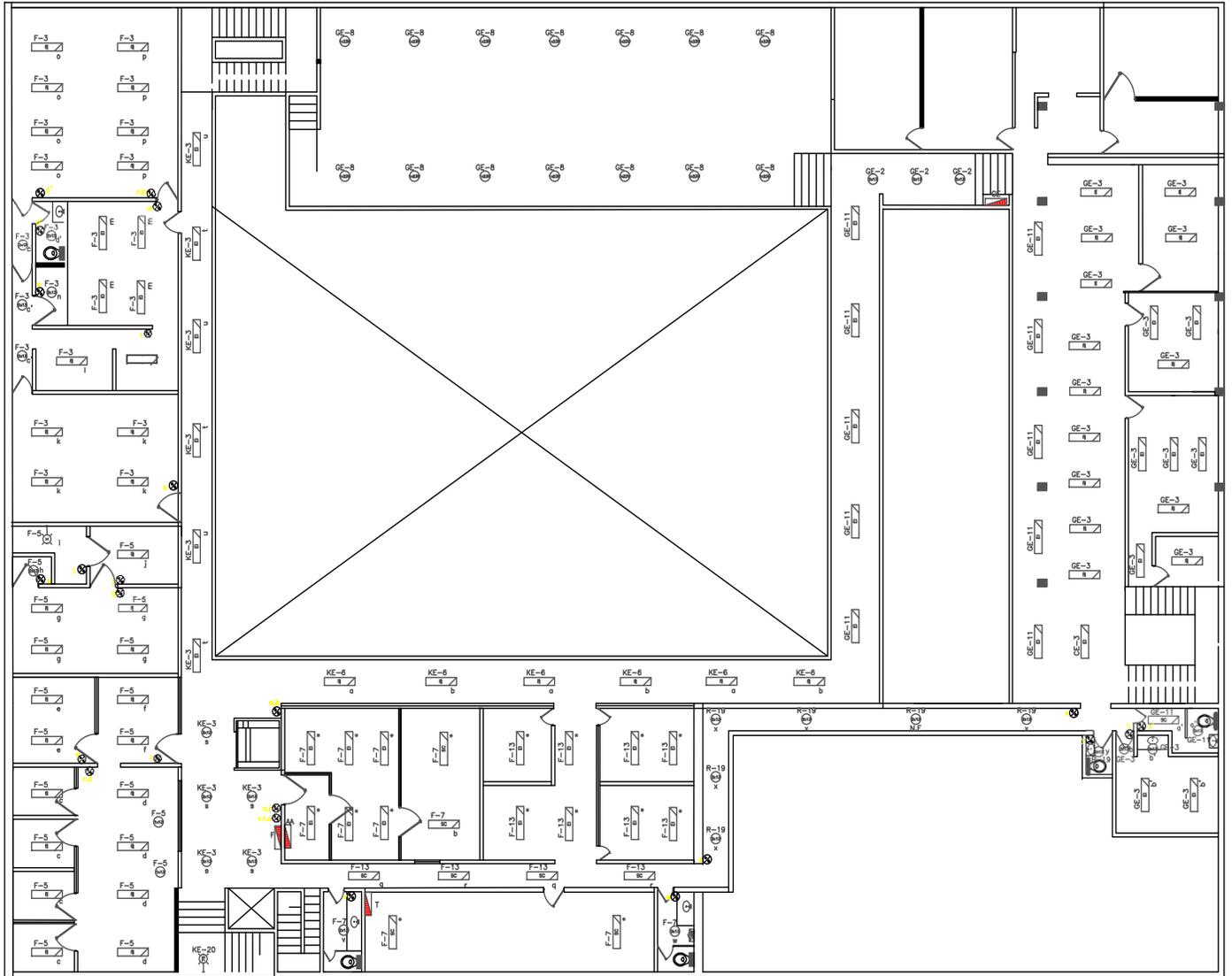
Planta Baja.



Piso 1

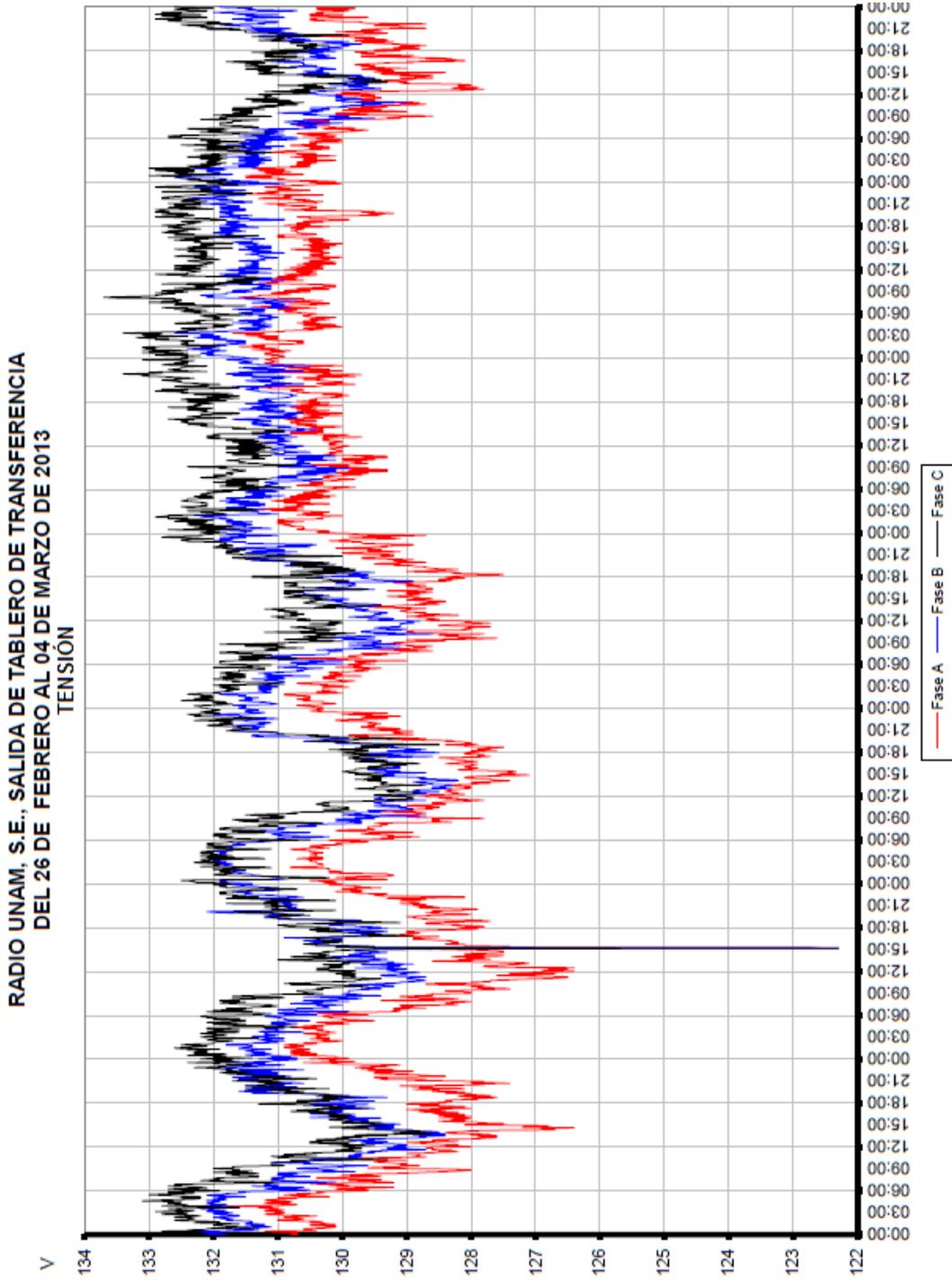


Piso 2

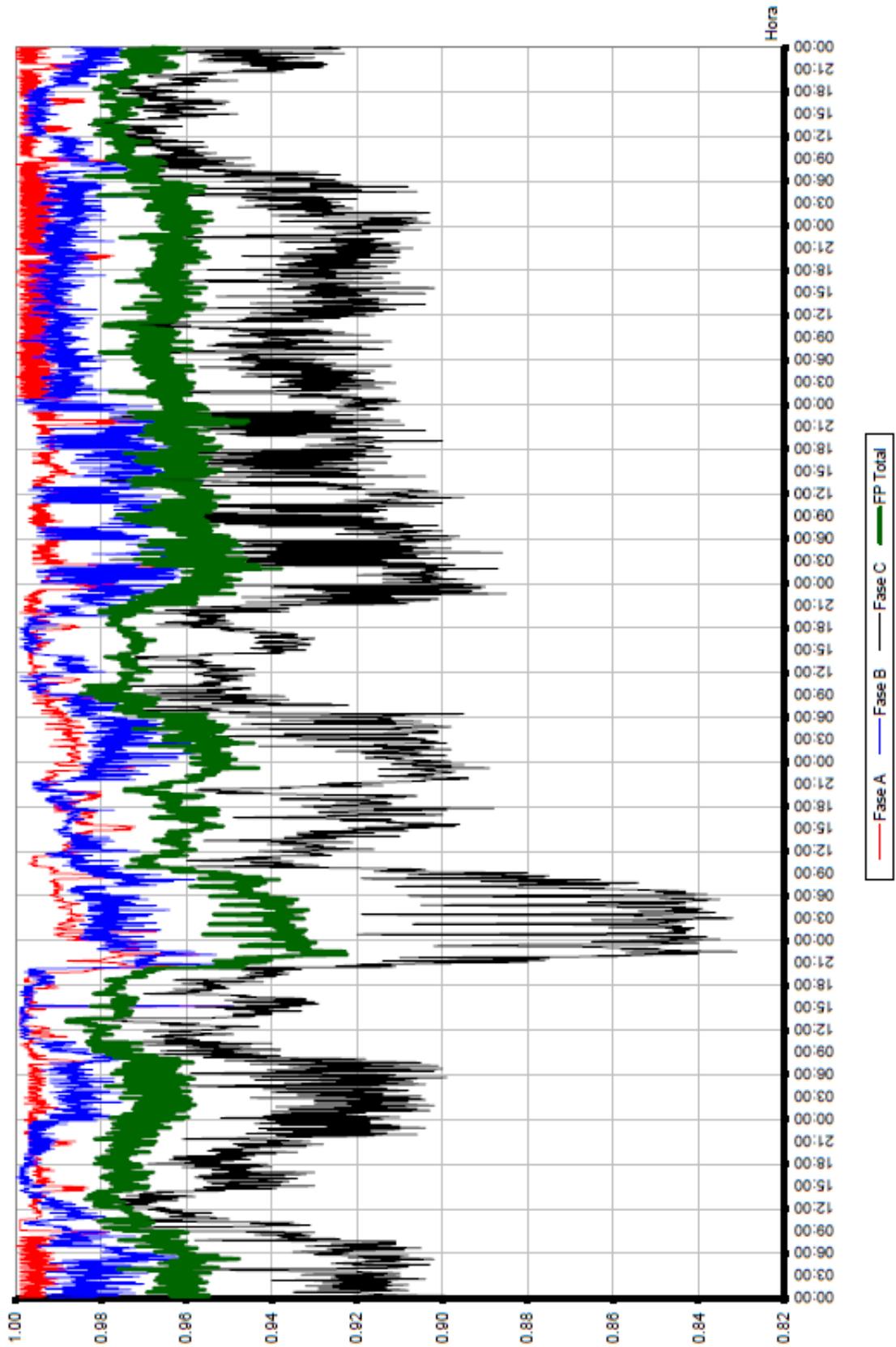


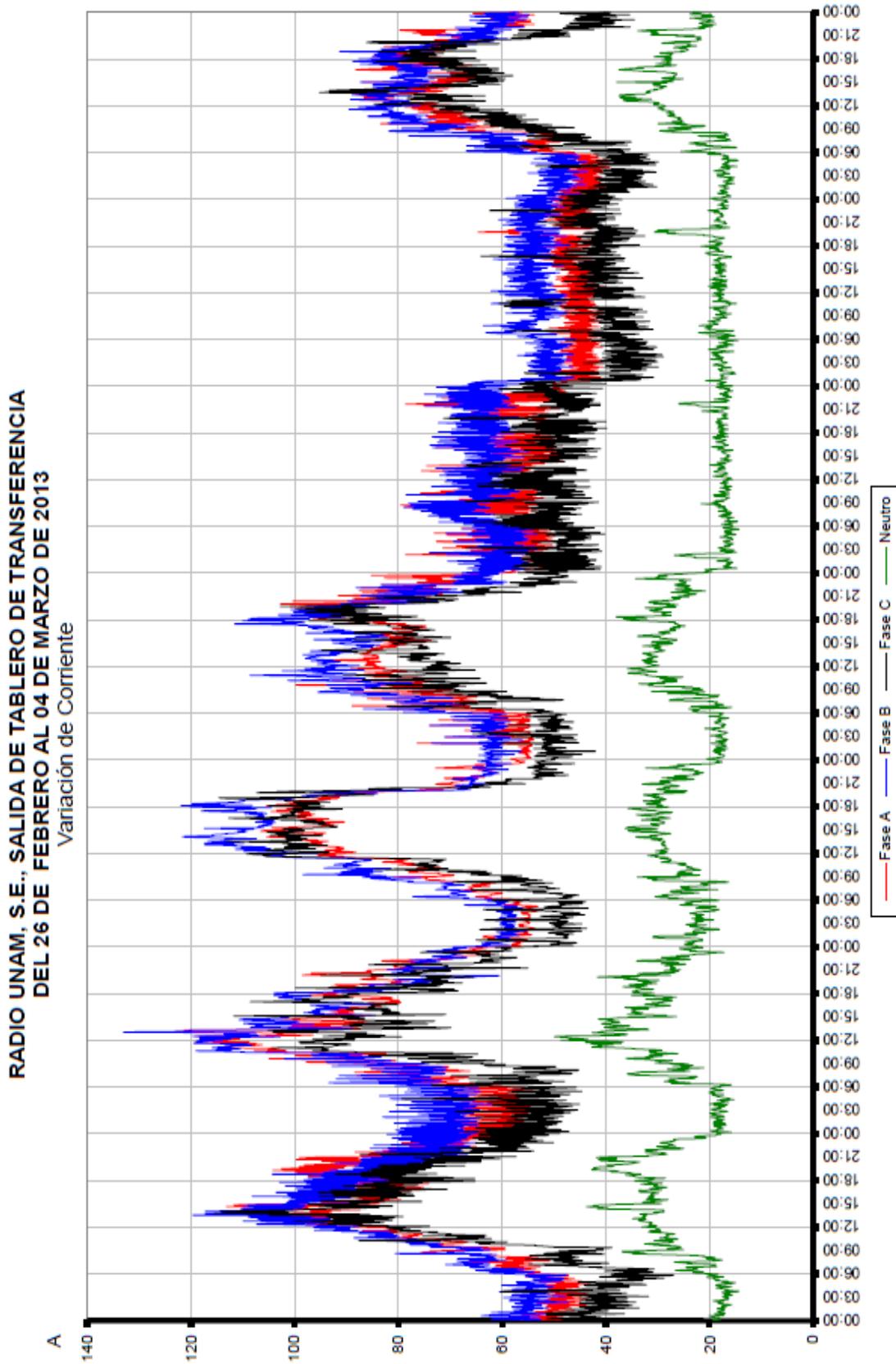
### ANEXO 2

#### Gráficas de parámetros eléctricos.

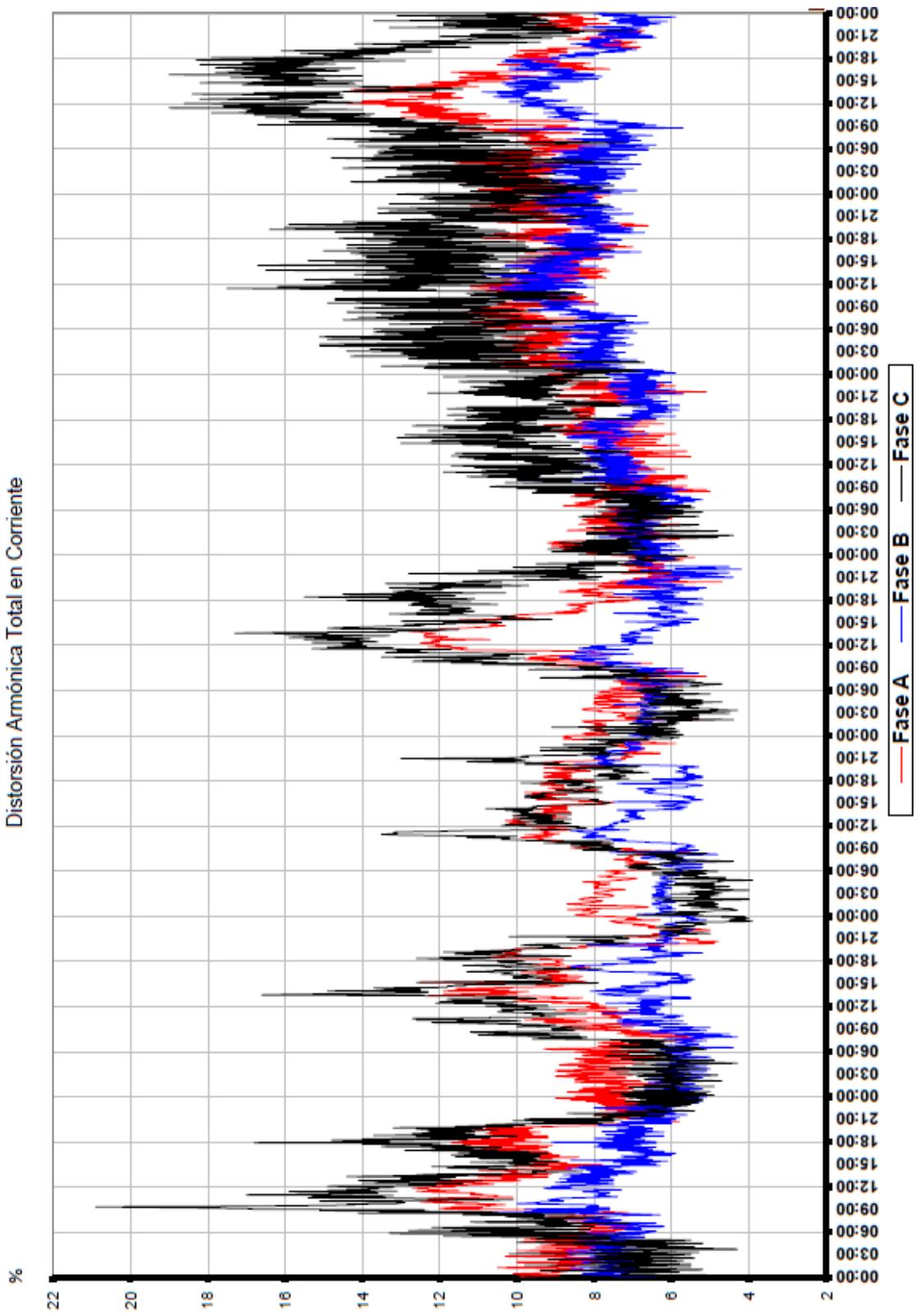


RADIO UNAM, S.E., SALIDA DE TABLERO DE TRANSFERENCIA  
DEL 26 DE FEBRERO AL 04 DE MARZO DE 2013  
Factor de Potencia

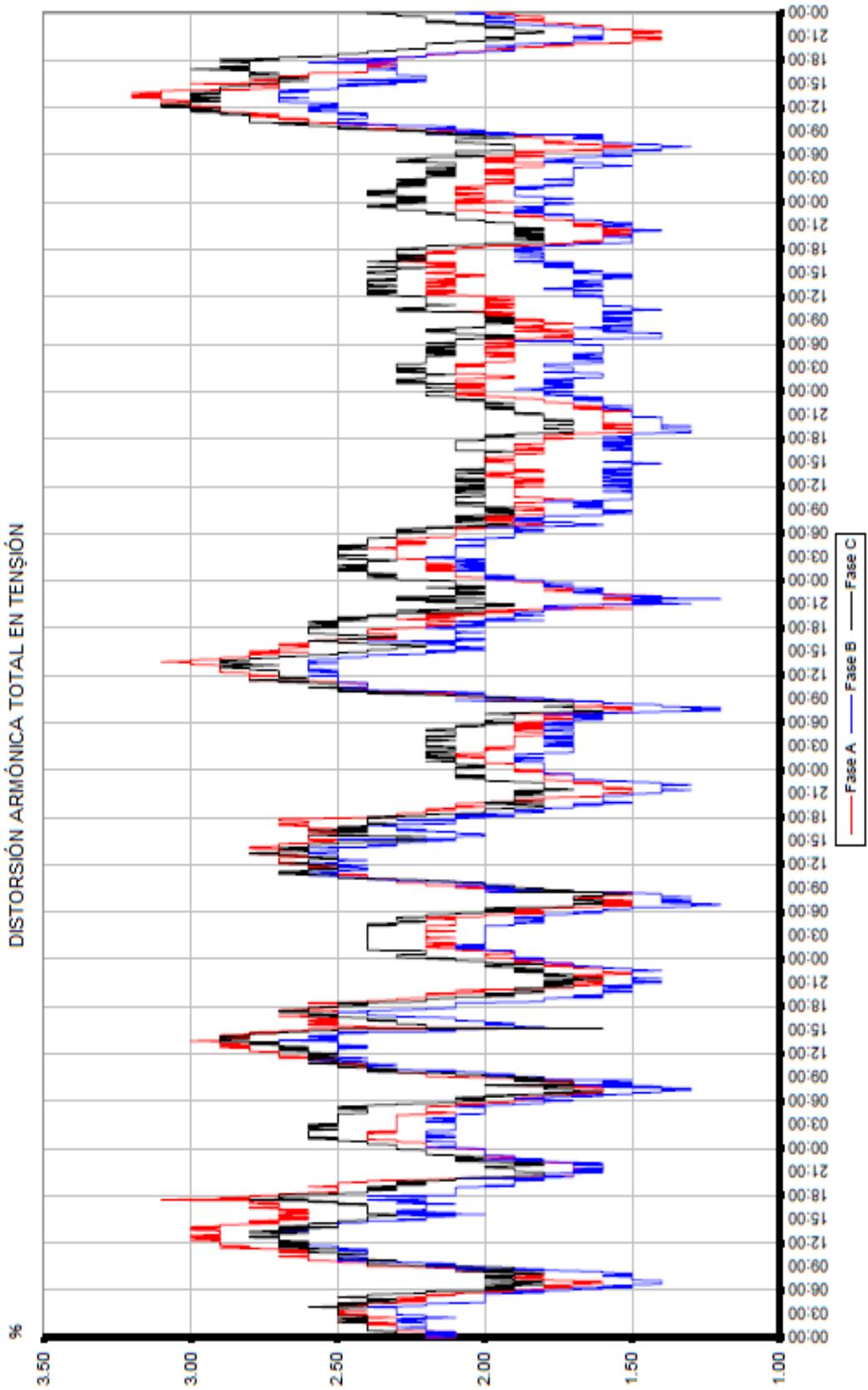




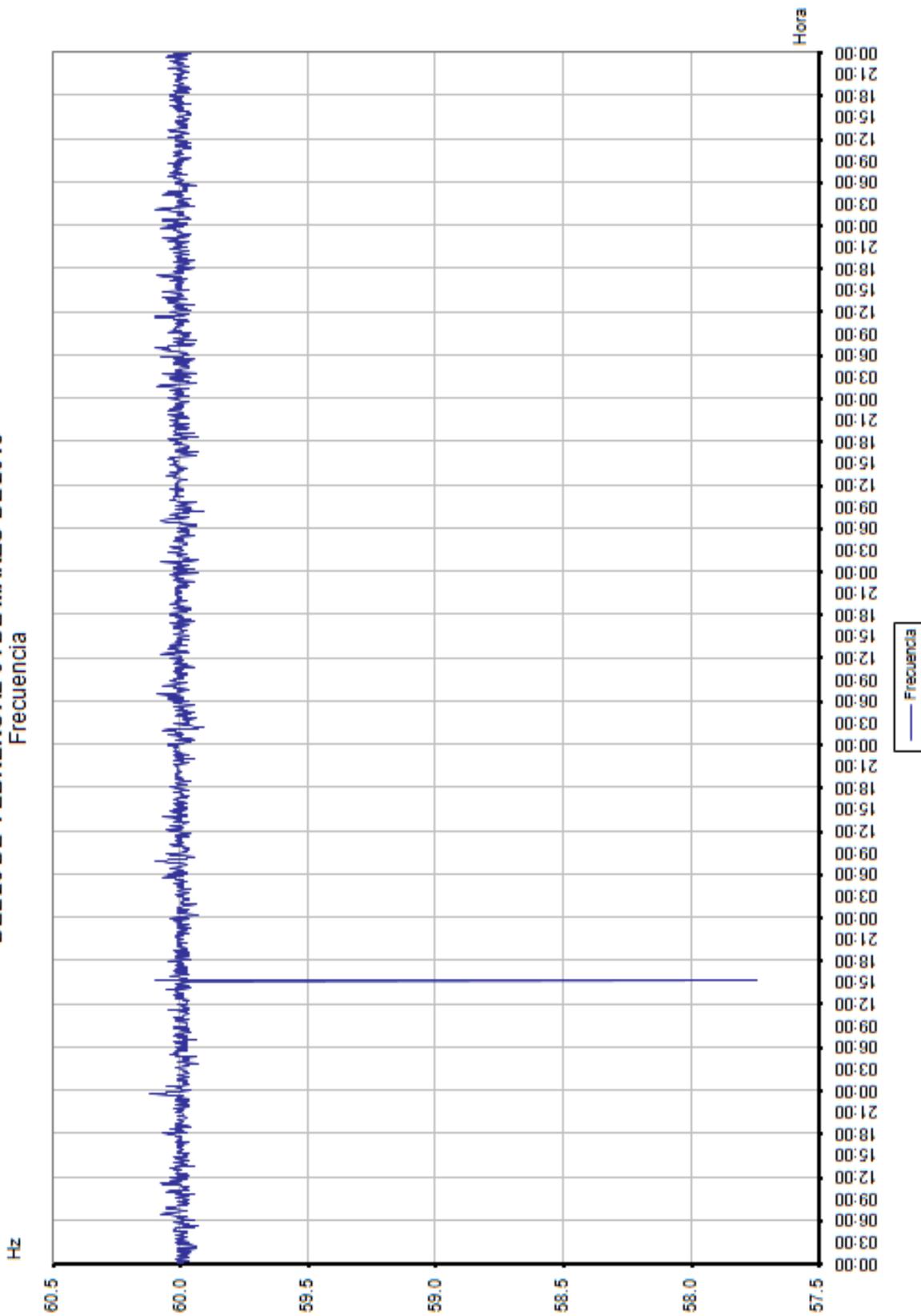
**RADIO UNAM, S.E., SALIDA DE TABLERO DE TRANSFERENCIA  
DEL 26 DE FEBRERO AL 04 DE MARZO DE 2013**  
Distorsión Armónica Total en Corriente

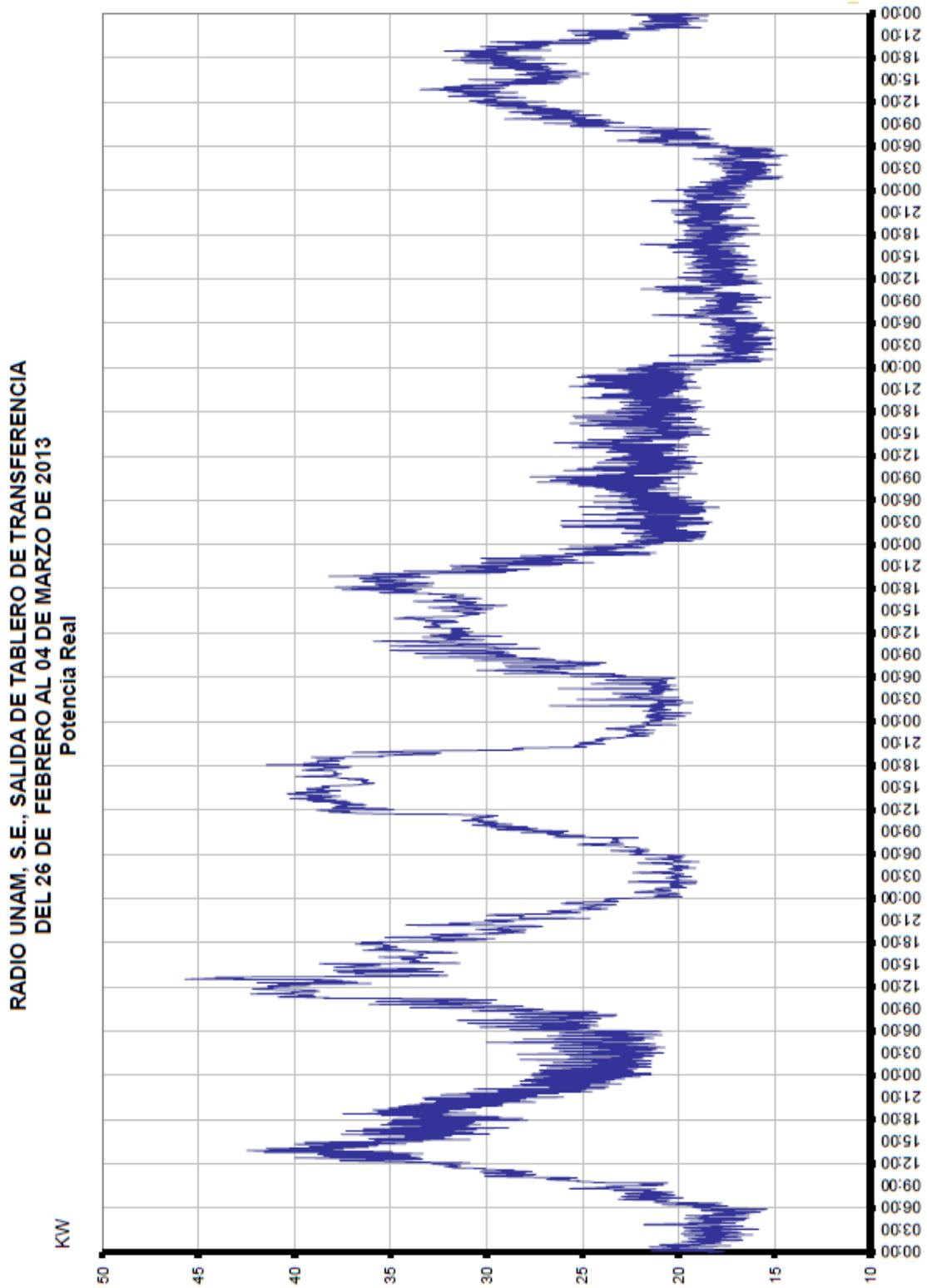


RADIO UNAM, S.E., SALIDA DE TABLERO DE TRANSFERENCIA  
 DEL 26 DE FEBRERO AL 04 DE MARZO DE 2013  
 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN TENSIÓN

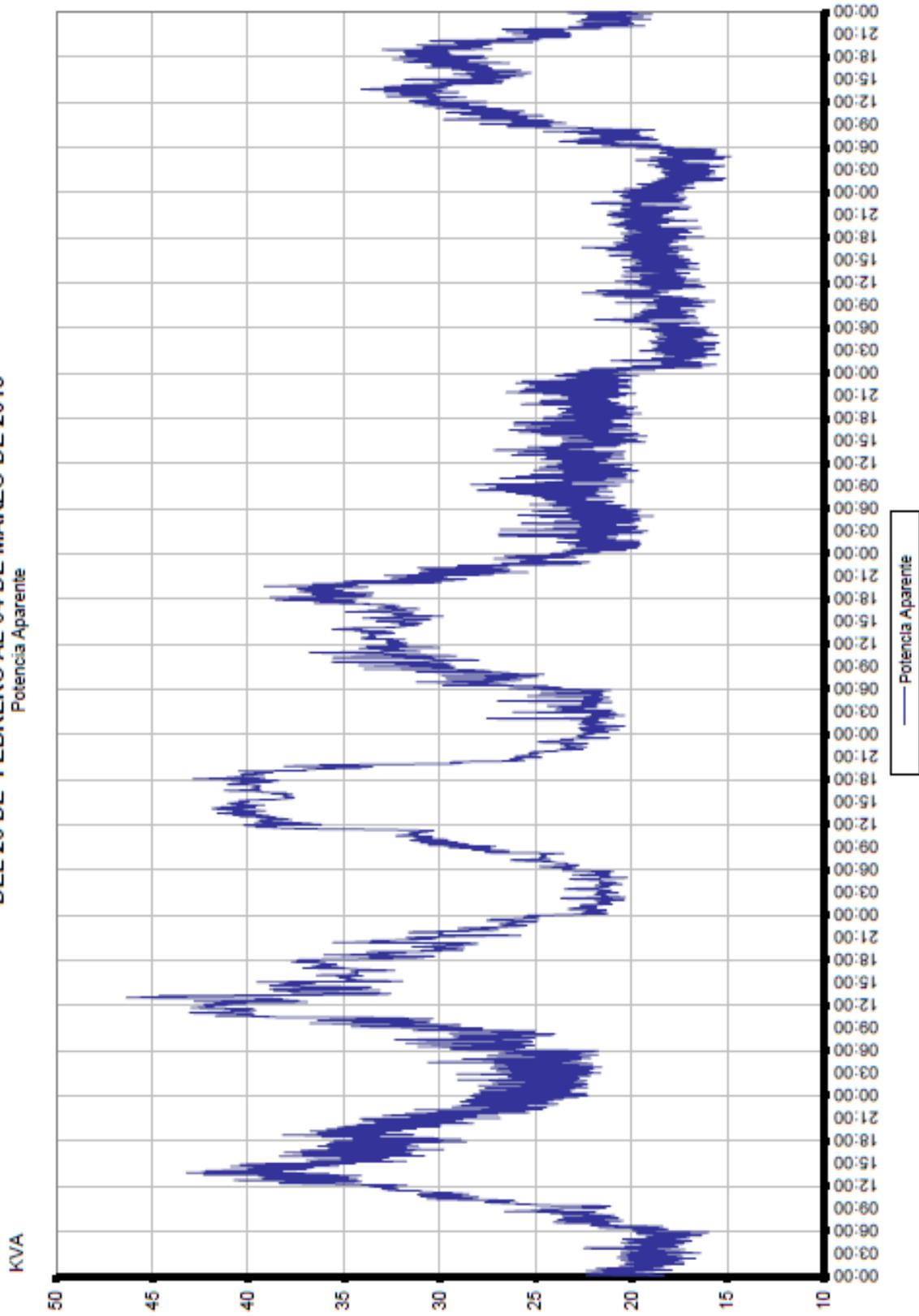


RADIO UNAM, S.E., SALIDA DE TABLERO DE TRANSFERENCIA  
DEL 26 DE FEBRERO AL 04 DE MARZO DE 2013





RADIO UNAM, S.E., SALIDA DE TABLERO DE TRANSFERENCIA  
DEL 26 DE FEBRERO AL 04 DE MARZO DE 2013  
Potencia Aparente



## ANEXO 3

### METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE ILUMINACIÓN.

Para llevar a cabo la medición, se tomó en cuenta la siguiente metodología de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo": Realizar un reconocimiento para identificar aquellas áreas del centro de trabajo y las tareas visuales asociadas a los puestos de trabajo, asimismo, identificar aquellas donde exista una iluminación deficiente o exceso de iluminación que provoque deslumbramiento. Para lo anterior, se debe realizar un recorrido por todas las áreas del centro de trabajo donde los trabajadores realizan sus tareas visuales, y considerar, en su caso, los reportes de los trabajadores, así como recabar la información técnica.

De acuerdo con la información obtenida durante el reconocimiento, se establecerá la ubicación de los puntos de medición de las áreas de trabajo seleccionadas, donde se evaluarán los niveles de iluminación. Cuando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

- a) Encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo de luz se estabilice; si se utilizan lámparas de descarga, incluyendo lámparas fluorescentes, se debe esperar un periodo de 20 minutos antes de iniciar las lecturas. Cuando las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, el periodo de estabilización puede ser mayor;
- b) En instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar la medición.
- c) Los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura.

Los puntos de medición deben seleccionarse en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo, de tal manera que describan el entorno ambiental de la iluminación de una forma confiable.

Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la tabla siguiente, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas.

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

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

Donde:

IC: índice de área.

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

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

En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser un plano horizontal a 75 cm  $\pm$  10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

En el puesto de trabajo se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro.

Determinación de la iluminación promedio ( $E_p$ ):

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

El cálculo del nivel promedio de iluminación para el método de la constante del salón, se realiza con la siguiente expresión:

$$E_p = 1/N (\sum E_i)$$

Donde:

$E_p$  = Nivel promedio en lux.

$E_i$  = Nivel de iluminación Medido en lux en cada punto.

N = Número de medidas realizadas.

Método de evaluación en plano de trabajo: aplicable a tareas específicas, en especial aquellas que requieren niveles mayores de iluminación por la dificultad del tamaño, contraste y tiempo de la tarea.

Evaluación del factor de reflexión. Cálculo del factor de reflexión de las superficies:

a) Se efectúa una primera medición ( $E_1$ ), con la fotocelda del luxómetro colocada de cara a la superficie, a una distancia de 10 cm  $\pm$  2 cm, hasta que la lectura permanezca constante;

b) La segunda medición ( $E_2$ ), se realiza con la fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie, con el fin de medir la luz incidente, y

c) El factor de reflexión de la superficie ( $K_f$ ) se determina con la ecuación siguiente:

$$K_f = \frac{E_1}{E_2}(100)$$

## ANEXO 4

### Parámetros considerados para la selección del sistema de iluminación propuesto.

#### *Tipos de lámparas y sus principales características.*

Cada tipo de lámpara tiene características especiales y su aplicación dependerá de la evaluación de sus parámetros principales como pueden ser su costo, vida útil, IRC y flujo luminoso. Dichas características y los parámetros para la selección del sistema de iluminación se especifican a continuación:

	Eficacia (Lúmenes/W att)	Vida de la lámpara (horas)	Temperatura de color (Kelvin)	Índice de rendimiento de color	Tiempo de encendido (min)	Mantenimiento de flujo luminoso (%)	Capacidad para regular el flujo luminoso	Efectos de la temperatura	Costo inicial
<b>Fluorescente compacta</b>	60 - 75	10 000	2700 - 4100	82	0	83 - 87	Con balastro dimeable	A bajas temperaturas aumenta el tiempo de encendido	Regular
<b>Fluorescente lineal T8</b>	80 - 95	20 000	2700 - 4100	75 - 85	0	83 - 87	Con balastro dimeable	A bajas temperaturas aumenta el tiempo de encendido	Bajo
<b>Fluorescente lineal T5HO</b>	80 - 95	20 000	2700 - 4100	75 - 85	0	90 - 95	Con balastro dimeable	Salida completa a 35°C, a menores temperaturas se incrementa el tiempo de encendido	Regular
<b>Inducción</b>	60 - 75	100 000	3000 - 4000	80+	0	80	En desarrollo	Las bajas temperaturas hacen que disminuya el flujo luminoso	Muy alto
<b>Aditivos metálicos</b>	80 - 90	10 000 - 20 000	3000 - 4200	65 - 90	5 a 10	80 - 85	Si, pero muy caro	Ninguno	Alto
<b>Sodio alta presión</b>	90 - 105	24 000	1900 - 2100	21 - 85	< 5	88 - 92	No	Ninguno	Alto
<b>Sodio baja presión</b>	100 - 160	16 000	1800	muy pobre	7 a 15	100	No	Ninguno	Regular
<b>Vapor de mercurio</b>	35 - 55	24 000	4000 - 5900	20 - 45	< 10	60 - 65	No	Ninguno	Regular
<b>LED</b>	Varia de acuerdo al color	100 000	Varia de acuerdo al color	Varia de acuerdo al color	0		Con Fuente variable	Las altas o bajas temperaturas ocasionan que aumente la depreciación de flujo luminoso y disminuya su tiempo de vida	Alto
<b>Halógena</b>	18 - 22	2000 - 4000	2800 - 3100	100	0	93 - 97	Con dimmer	Ninguno	Bajo
<b>Incandescente</b>	15 - 18	1000	2700 - 3000	100	0	83 - 87	Con dimmer	Ninguno	Bajo

Tipos de lámparas y sus principales características.<sup>26</sup>

Las características de las lámparas mostradas en la tabla son las más importantes a tomar en cuenta en la selección de equipo de iluminación, que será propuesto para instalar en las zonas en las cuales es necesario aumentar los niveles de iluminación para

<sup>26</sup><http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACION%20C3%93N.pdf?sequence=4>

cumplir con lo establecido en la NOM-025-STPS-2008 y en la Norma Oficial Universitaria (NOU). Además, se tomará en cuenta el consumo de cada lámpara para seguir dentro de los límites permitidos de DPEA's indicados en la NOM-007-ENER-2014 (máximo 12[W/m<sup>2</sup>]). De acuerdo al lugar donde se va a instalar los luminarios (oficinas), el tipo de tecnología que nos conviene analizar es la fluorescente y LED. Los parámetros más importantes a tomar en cuenta para realizar la selección de luminarios son los siguientes:

#### *Flujo luminoso.*

Es la cantidad total de luz emitida por una fuente luminosa y su unidad es el lumen [lm]. Un término importante es el de lúmenes iniciales, el cual indica la cantidad de flujo luminoso antes de las primeras 100 horas de operación. El flujo luminoso también puede estar referido a la salida del luminario, el cual depende de la eficiencia del luminario.

#### *Nivel de iluminación.*

La iluminancia o nivel de iluminación es la intensidad de luz en el plano de trabajo y se expresa como la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su área:

$$E = \frac{\varphi}{A} [Lux]$$

Donde E es el nivel de iluminación en luxes,  $\varphi$  es el flujo luminoso en lúmenes y A es el área de la superficie en metros cuadrados. De acuerdo con el SI de unidades el lux[lx] se define como la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de 1 lumen, uniformemente repartido sobre 1 [m<sup>2</sup>] de superficie. En otras palabras esto quiere decir que si un lumen incide sobre un metro cuadrado de superficie, el nivel de iluminación sobre ese metro cuadrado será de 1 [lx].

#### *Temperatura de color.*

La apariencia general del color de luz generada por una fuente luminosa es denominada temperatura de color o cromaticidad. También denominada como CCT, por sus siglas en inglés (*Correlated Color Temperature*) es medida en Kelvin (K) y permite generar el ambiente de un espacio iluminado e influye en el estado de ánimo de las personas.

Existe una graduación de los colores en función de su temperatura de color:

- ✓ Colores fríos. Colores verde, azul y violeta. Sus temperaturas de color están por encima de 5000°K.
- ✓ Colores intermedios. Colores como el amarillo y algunas tonalidades del verde. Temperaturas de color entre 3300° K y 5000° K.
- ✓ Colores cálidos. Colores como rojo y naranja. La temperatura de color es inferior a los 3300° K.<sup>27</sup>

<sup>27</sup><http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACI%C3%93N.pdf?sequence=4>

A continuación se muestran los intervalos de temperatura de color y su aplicación de acuerdo a fabricantes:

Tonalidad de Luz	Cálido	Neutro	Frío
TCC	2700K - 3500K	3500K - 4100K	4100K - 6500K
Ambiente	Amigable, íntimo, relajado, personal y exclusivo.	Eficiente, fresco, limpio y productivo.	Dinámico, activo y eficiente.
Aplicaciones	Restaurantes, hoteles, cafés, salas de junta, oficinas, etc.	Escuelas, oficinas, hospitales, lobbies, etc.	Restaurantes de comidas rápidas, grandes superficies, etc.

Un ambiente iluminado con tonos cálidos (2700K o 3500K) transmite intimidad y ayuda al diálogo cordial y amistoso. Los tonos de luz suave son apropiados para salas de junta y oficinas cerradas.



Un ambiente iluminado con tonos neutros (3500K o 4000K) transmite estilo y eficacia. Los tonos de luz neutra son apropiados para la iluminación general como cubículos, áreas comunes, lobbies, etc.



Un ambiente iluminado con tonos fríos (4100K o 6500K) transmite dinamismo. Los tonos de luz fría son apropiados para la iluminación general como oficinas abiertas, grandes superficies, etc.



*Índice de Reproducción de Color (IRC).*

El índice de reproducción de color (IRC) se refiere a la capacidad que tiene una fuente de luz para reproducir los colores en los objetos que ilumina, de la forma más real posible. Comúnmente denominado CRI por sus siglas en inglés (Color Rendering Index), es una medida relativa que clasifica las fuentes de luz en una escala de 0 a 100. Entre mayor sea el CRI, más naturales se perciben los colores. Fuentes que no ofrezcan al menos estos valores, distorsionan los colores de los objetos, haciéndolos lucir menos naturales. Un excelente CRI es crítico en aplicaciones donde es importante percibir los colores de forma real, lo más cercano posible a la iluminación natural (luz del sol). Aplicaciones como exposiciones, áreas generales, etc. son un claro ejemplo donde se requiere una reproducción de color  $\geq 80$ . A continuación se ilustra la misma imagen con diferente IRC.<sup>28</sup>



CRI Bajo >79



CRI Bueno  $\geq 80$



CRI Alto  $\geq 90$

Índice de Reproducción de Color (IRC).<sup>29</sup>

<sup>28</sup><http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACI%C3%93N.pdf?sequence=4>

<sup>29</sup><http://www.lighting.philips.com.mx>

*Vida útil de la lámpara y depreciación del flujo luminoso.*

La vida de la lámpara fluorescente depende fundamentalmente del envejecimiento de los electrodos; es decir, de la velocidad con la que se pierde el recubrimiento del material emisor de los electrodos. Dos son las causas de este desgaste: el desgaste que se produce en cada re-encendido y el desgaste debido a la evaporación de este material emisor durante el funcionamiento. Normalmente los electrodos se diseñan para tratar de minimizar ambos efectos. La vida o duración de la lámpara es medida en horas de funcionamiento, que transcurre hasta que se considera que la lámpara ha perdido su utilidad, según cierto criterio. Normalmente se definen dos duraciones estándar diferentes.

-La vida media se define considerando cuando la lámpara deja de funcionar.

-La vida útil, por su parte, considera cuál es el momento adecuado para cambiar la lámpara. Se considera que una lámpara ha terminado su vida útil cuando ha dejado de satisfacer algún requisito de funcionamiento, a pesar de que pueda seguir funcionando.

*Factor de cresta.*

El factor de cresta de corriente relaciona el valor de picode la corriente en la lámpara con el valor eficaz de la misma. Cuanto mayor es este valor, se reduce la eficiencia de la lámpara.<sup>30</sup>

*Eficiencia.*

Se refiere a la capacidad que tiene una fuente de luz en transformar la energía consumida (Watts) en luz visible (Lúmenes) y es expresada en la unidad de medida lumen por watt (lm/W). La eficiencia luminosa es un aspecto clave a considerar cuando se evalúa una fuente de luz. Esto debido a la alta participación que tiene el consumo de energía en los costos de una instalación.

Si se desea disminuir los costos totales de propiedad, se debe invertir en fuentes luminosas más eficientes, de mayor vida útil y de bajo consumo energético. Como resultado se obtendrán ahorros económicos y además ayudará al medio ambiente.

*Código de identificación de los tubos fluorescentes de acuerdo con su diámetro.*

En la siguiente tabla se muestra el tipo de lámpara fluorescente tubular con su diámetro en pulgadas y en milímetros:

T-12	1,5 pulgadas	38,1 mm
T-8	1 pulgada	25,4 mm
T-5	5/8 pulgada	15,87 mm

La cifra a continuación de la letra “T” representa el diámetro del tubo expresado en octavos de pulgada.

<sup>30</sup>A. I. Pressman (1991) “Switching Power Supply Design”. Ed. Mc. Graw Hill.

### *Lámparas T5.*

Son las lámparas de diámetro más pequeño que utilizan la tecnología de trifósforos, usan bases miniatura de dos pines, son más brillantes que las lámparas T8 y tienen un mejor control óptico.

### *Balastros.*

Las funciones de un balastro en los sistemas con lámparas fluorescentes son:

- ✓ Proporcionar una tensión controlada para calentar los filamentos de la lámpara en las lámparas de precalentamiento y de encendido rápido.
- ✓ Proporcionar la tensión suficiente para el inicio del arco eléctrico en el interior de la lámpara.
- ✓ Limitar la corriente en la lámpara una vez que se ha encendido.
- ✓ Durante la operación de la lámpara, el balastro se encarga, además de la regulación de voltaje, de la corrección del factor de potencia. En balastros electrónicos además se pueden tener componentes para reducir la distorsión armónica y la interferencia electromagnética. Los balastros pueden ser electromagnéticos o electrónicos y generalmente se clasifican de acuerdo a su tipo de encendido.<sup>31</sup>

### *Driver para LED's.*

Es un dispositivo electrónico que se alimenta de la señal de corriente alterna de la red y la rectifica, para alimentar con corriente directa a lámparas LED, además de reducirla a los valores nominales requeridos.

### *Factor de balastro.*

La salida de luz de un sistema lámpara – balastro, es el producto de los lúmenes de la lámpara y el factor del balastro. Representa el porcentaje de lúmenes nominales de las lámparas que se puede esperar cuando se opera con un balastro específico comercialmente disponible. Por ejemplo, un balastro que tenga un factor de balastro de 0.93 dará como resultado una emisión de la lámpara del 93% de su flujo luminoso nominal.

### *Factor de potencia.*

Los balastros y drivers para LED's pueden influir en el FP general. Debido a la penalización de parte de CFE, se debe garantizar que su FP sea lo más cercano al 100, o por lo menos mayores a 90, lo que implicará obtener incluso bonificaciones económicas en la facturación eléctrica.

---

<sup>31</sup><http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACI%C3%93N.pdf?sequence=4>

### *Distorsión Armónica.*

Los balastos y drivers para LED's generan armónicos en los sistemas eléctricos. Generalmente producen menos de 20% de *DAT*, aunque hay ciertos equipos electrónicos que pueden producir 10 % o menos de *DAT*.

### *Luminarios.*

Un luminario es un dispositivo para controlar y distribuir la luz, así como para proteger algunos elementos del sistema de iluminación. Los principales parámetros de los luminarios son los siguientes:

#### *Reflector.*

Dispositivo usualmente cubierto de metal o plástico, el cual tiene alta reflectancia y está formado para reflejar la luz emitida por la lámpara. El terminado de la superficie del reflector del luminario usualmente se clasifica como especular, semiespecular, extendido o difuso.

#### *Difusores.*

Estos elementos se encargan de dispersar en varias direcciones la luz incidente. La dispersión puede llevarse a cabo en el material, como por ejemplo en acrílico o en la superficie si el material es vidrio grabado. Los difusores se utilizan también para reducir la luminancia. Los difusores más comunes son lentes prismáticos claros, los cuales usan el principio de la refracción para producir la distribución de luz deseada hacia abajo y los difusores translucidos, los cuales difunden la luz en todas direcciones , en lugar de dirigirlas a zonas particulares.

#### *Deflectores y rejillas.*

Los deflectores son elementos simples, usualmente en forma de V. Las rejillas (louvers) son un grupo de deflectores verticales que bloquean la vista de la lámpara y a su vez dirigen la luz fuera ella. Estas rejillas pueden ser parabólicas o rectas y de gran cantidad de tamaños, formas, materiales y terminados.

#### *Eficiencia de un luminario.*

La eficiencia de un luminario se define como el porcentaje de la luz brindado por el luminario del total producido por la lámpara. Por ejemplo si se tienen dos luminarios distintos, para el mismo tipo de lámpara, el luminario de mayor eficiencia será el que emita la mayor cantidad de luz.

### *Coeficiente de utilización (CU).*

Se define como la relación entre el flujo luminoso que incide en el plano de trabajo y el total emitido por la fuente. El coeficiente de utilización toma en cuenta la eficiencia del luminario, la forma en que se distribuye la luz, la geometría del lugar, altura de montaje del luminario, plano de trabajo y reflectancia. El valor del coeficiente de utilización es publicado en los reportes fotométricos de los luminarios.<sup>32</sup>

### *Control de iluminación.*<sup>33</sup>

Los controles de iluminación son la opción fundamental para reducir los gastos de electricidad. Una de las formas más fáciles de ahorrar energía es apagar las luces cuando no se necesitan.

Desde atenuación y sensores de ocupación hasta el aprovechamiento de la luz solar y control de iluminación distribuida, existen estrategias de control de iluminación con cableado e inalámbricas para diversas aplicaciones en cualquier entorno.

A continuación se muestran algunas tecnologías de control de iluminación:

#### *a) Apagadores y atenuadores.*

Una de las formas más sencillas de reducir el consumo de electricidad es a través del uso de atenuadores e interruptores manuales de iluminación. Las luces atenuadas consumen menos electricidad y a la vez producen menos calor, lo que reduce los costos de refrigeración. Perfecto en el hogar para crear el ambiente en habitaciones tales como comedores, salas, etc.

#### *b) Sensores de ocupación.*

Entre las excelentes razones para instalar sensores, se incluyen: conveniencia, ahorro de energía, mayor seguridad y facturas de electricidad más bajas. Los sensores de ocupación de encendido manual brindan un máximo ahorro ya que necesitan la intervención del usuario y eliminan los disparadores falsos de encendido. Existen modelos de vista amplia y montaje alto, para uso al aire libre, destinados a una amplia gama de áreas y patrones de cobertura.

Hoy en día, los sensores están diseñados para funcionar con una amplia gama de bombillas incandescentes, LFC, LED, halógena y fluorescente, así como motores. Es importante analizar las características de los sensores dadas por el fabricante, para estar seguro de que el sensor seleccionado controlará adecuadamente el tipo de carga que se va a utilizar.

Los sensores de ocupación, comúnmente llamados “sensores de movimiento” o “sensores de movimiento con luz”, utilizan tecnología infrarroja pasiva, ultrasónica o de sensores

<sup>32</sup><http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACI%C3%93N.pdf?sequence=4>

<sup>33</sup>[http://spanish.leviton.com/OA\\_HTML/SectionDisplay.jsp?section=37785](http://spanish.leviton.com/OA_HTML/SectionDisplay.jsp?section=37785)

múltiples combinados. Los sensores de ocupación proporcionan interruptores de encendido/apagado automático de cargas de iluminación para mayor comodidad, seguridad y ahorros de energía a largo plazo. Existen dos tipos de sensores, los cuales se mencionan a continuación:

Sensor	Función
Sensor de ocupación:	Enciende la luz de forma automática cuando se detecta movimiento y apaga la luz de forma automática cuando el movimiento ya no se detecta. Proporcionan la conveniencia de manos libres de conmutación que puede resultar muy útil en habitaciones donde los residentes podrían tener las manos ocupadas o cuando se le dificulte el acceso al interruptor.
Sensor de espacios desocupados:	Las luces deben encenderse de forma manual, pero se apagan de forma automática cuando la habitación está vacía y ya no se detecta movimiento.

La fácil instalación de los sensores hace que sean una alternativa rentable para el ahorro de energía en construcciones nuevas y en aplicaciones de reacondicionamiento. Los detectores PIR (*Passive Infrared* - Infrarrojos Pasivos) detectan la diferencia del calor emitido por el cuerpo humano y el espacio alrededor. Cuando se detecta un cambio de temperatura en la zona, el detector acciona la carga. Los sensores con tecnología ultrasónica cubren la habitación con alta frecuencia reflectante (ultrasonidos) ondas sonoras. Cualquier movimiento dentro del sitio, provoca un cambio en la frecuencia original emitida, el receptor del sensor identifica cualquier cambio en la frecuencia como el movimiento y enciende las luces o mantiene las luces encendidas.

Existen sensores con diseño Multi-tecnología, son sensores de ultrasonidos (US) que además trabajan con tecnología PIR, para corregir errores en la detección de movimiento. Mantiene las luces encendidas cuando está ocupado, las luces controladas permanecerán encendidas hasta que no se detecta movimiento o el tiempo de retardo programado ha expirado. El sensor adapta sus ajustes de retardo de tiempo de los patrones de ocupación de una habitación. Con sensibilidad a la luz ambiente, los sensores de ocupación detectan si hay luz natural suficiente y no encenderán las luces automáticamente si no es necesaria una iluminación adicional. Esta característica, junto con la tecnología de infrarrojo pasivo, hace que el producto sea “inteligente” y capaz de mejorar la vida en el hogar y en entornos de oficina a través de tecnología incorporada que no requiere programación.

*c) Aprovechamiento de luz solar (fotocélulas).*

La tecnología de aprovechamiento de la luz solar mantiene un nivel de luz programado mediante el ajuste preciso de la salida de las lámparas de una habitación a manera de compensar la contribución de la luz natural. Un sistema típico utiliza fotocélulas para medir la luz ambiente y luego atenúa o aumenta el brillo automáticamente a fin de alcanzar un nivel de luz programado por el usuario.

Una alternativa a la atenuación es la conmutación en dos o múltiples niveles en que las lámparas de diferentes zonas se encienden y apagan según los niveles de la luz ambiente. Al utilizar la claridad disponible, el aprovechamiento de la luz solar puede reducir las facturas de electricidad en hasta un 60%.

El aprovechamiento de la luz solar es una técnica de manejo de energía que reduce el uso general de la iluminación, ya que:

- ✓ Utiliza la luz ambiente (natural y artificial) de un espacio.
- ✓ Atenúa o apaga la iluminación cuando hay suficiente luz ambiente o cuando el espacio no está ocupado.
- ✓ Usa zonas para escalonar la atenuación o la conmutación de cargas de iluminación dependiendo de la distancia a fuentes de luz ambiente, como ventanas.

d) Controles programados (Temporizadores).

El uso de cronómetros para el control automático de iluminación y otras cargas es una manera de asegurarse de que los dispositivos estén encendidos solo durante un tiempo establecido. Los cronómetros electrónicos permiten ahorrar electricidad al evitar que un artefacto esté encendido durante demasiado tiempo o automatizar el encendido y apagado de manera que la carga esté encendida durante un tiempo determinado. Brindan un programa avanzado de carga que se basa en el tiempo cronológico o astronómico y son compatibles con otros controles y sensores de iluminación que integran un enfoque que maximiza el ahorro energético.

Los interruptores de cronómetro ofrecen una programación precisa y silenciosa para el control de la iluminación. Los interruptores de cronómetro electrónico también pueden servir para disuadir a los ladrones dándole a la casa un aspecto "de que hay alguien" mientras que las personas se encuentran ausentes, al encender y apagar las luces en intervalos preestablecidos.

#### *Instalación de apagadores.*

Al no tener una canalización destinada para apagadores, se propone utilizar canalizaciones sobrepuestas, no metálicas. Dichas canalizaciones son permitidas por la NOM-001-SEDE-2012 y son fáciles de instalar. Este tipo de canalizaciones son ideales para conducir cables eficientemente, de forma segura, y a bajo costo.

El material propuesto es el siguiente:

Apagadores sencillos y de escalera, cuerpo de policarbonato, 127V-15A.

Cable calibre #14.

Canalización tubo conduit.

Cajas y accesorios para canalización con tubo conduit

El tipo de tubería propuesto es resistente a las llamas, y está aprobado para la instalación de conductores eléctricos. Tiene un núcleo central interior liso y sin costuras, y una cubierta, unida estrechamente y con capas de refuerzo entre el núcleo y la cubierta.

En las instalaciones eléctricas, todas las conexiones de conductores o uniones entre conductores se deben realizar en cajas de conexión aprobadas para tal fin y se deben de instalar en donde puedan ser accesibles para poder hacer cambios en el alambrado.

Por otra parte, todos los apagadores y salidas para lámpara se deben encontrar alojados en cajas, igual que los contactos.<sup>34</sup>

Las cajas propuestas y accesorios son de plástico, pues debido a que van a ser instalados en oficinas, no estarán expuestos a trabajos forzados o a condiciones ambientales extremas, y además para evitar realizar la conexión del cable de tierra y economizar los gastos de inversión.

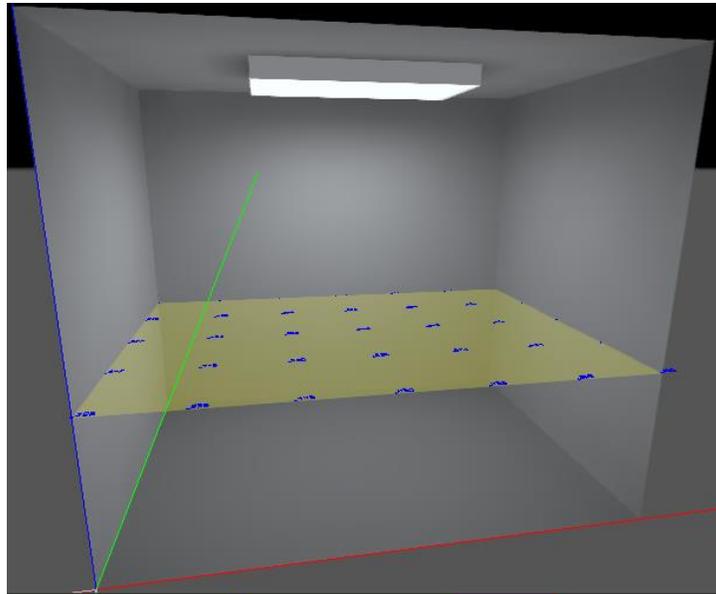
---

<sup>34</sup>Enríquez Harper, G. (2005), El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales, México: Limusa.

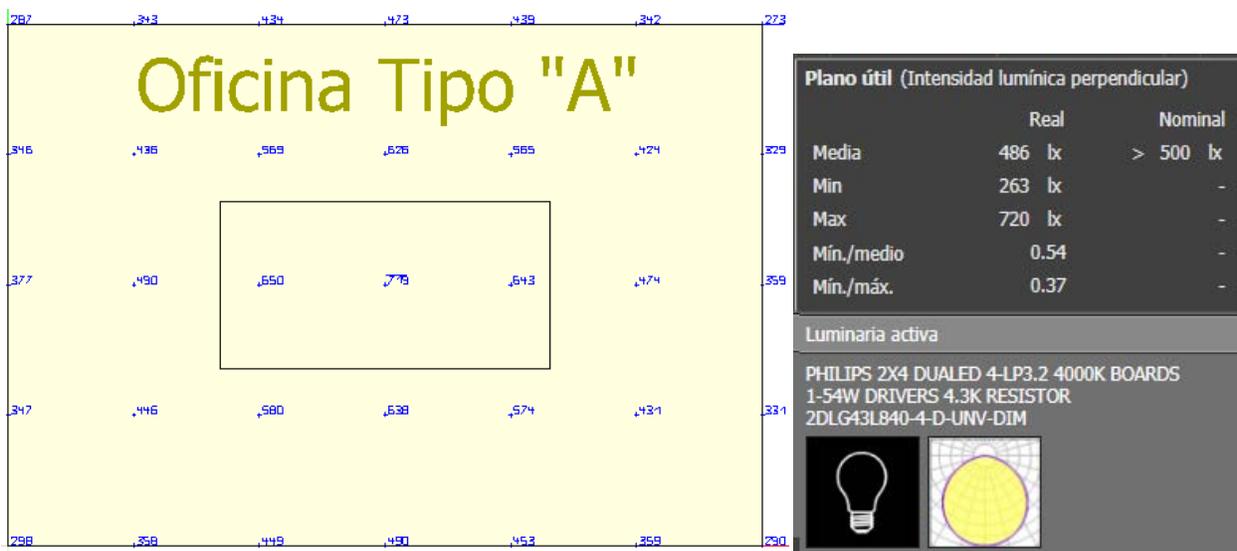
## ANEXO 5

## Simulación con luminarios propuestos.

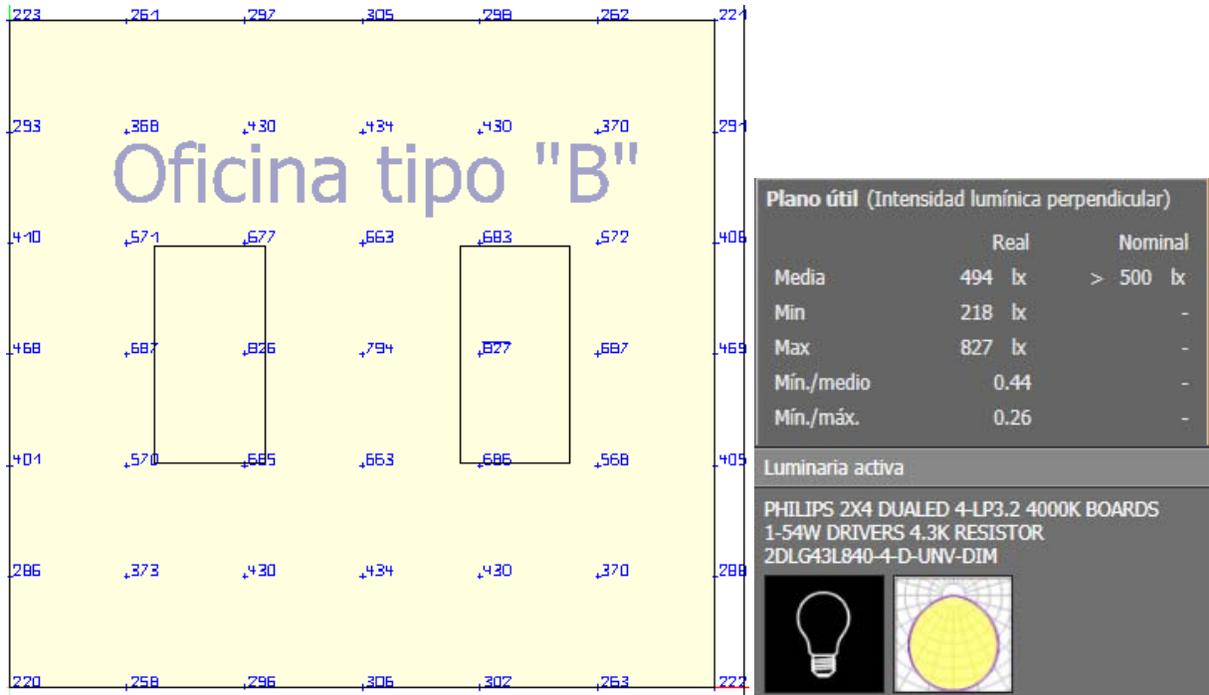
Se registró un total de 46 oficinas clasificadas en 7 tipos diferentes de acuerdo a su arquitectura y medidas. Hay un total de 100 luminarios instalados actualmente del tipo Empotrado de lámpara fluorescente 2x32W T-8. Las siguientes simulaciones se realizaron con el programa DiaLUX con el luminario LED propuesto:



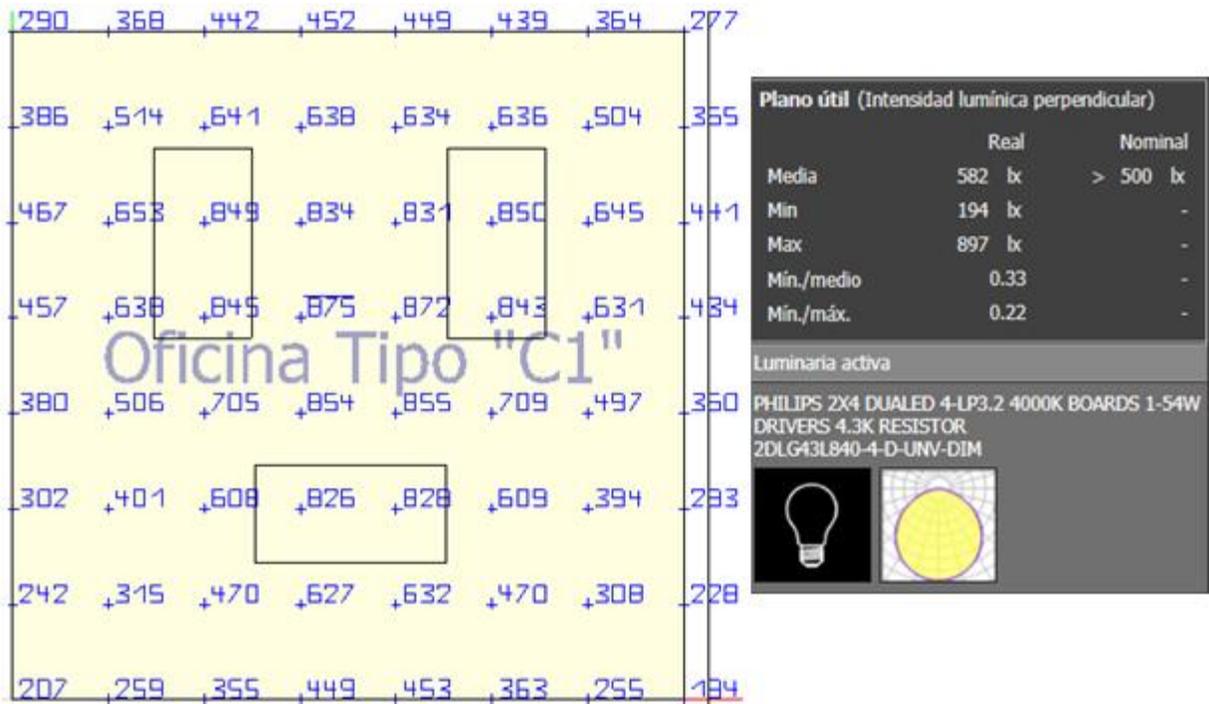
Vista en 3D de la oficina Tipo "A", se muestran las mediciones en el plano de trabajo (.75m de altura).



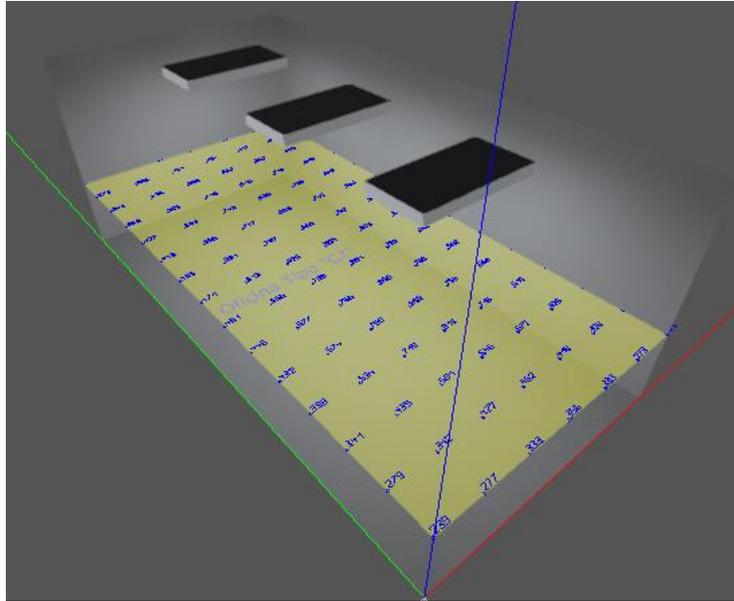
15 oficinas Tipo "A", 2.6x1.8[m], 1 luminario instalado en cada una.



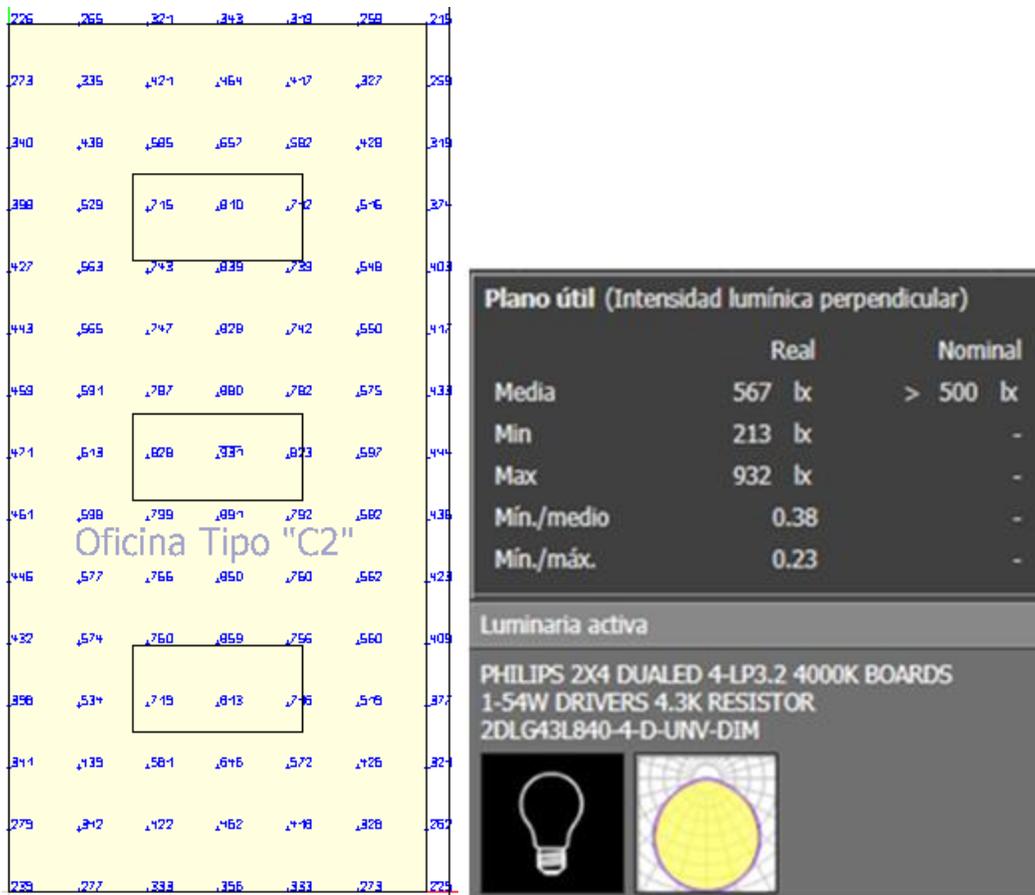
16 oficinas Tipo "B", 3.7x3.5[m], 2 luminarios instalados en cada una.



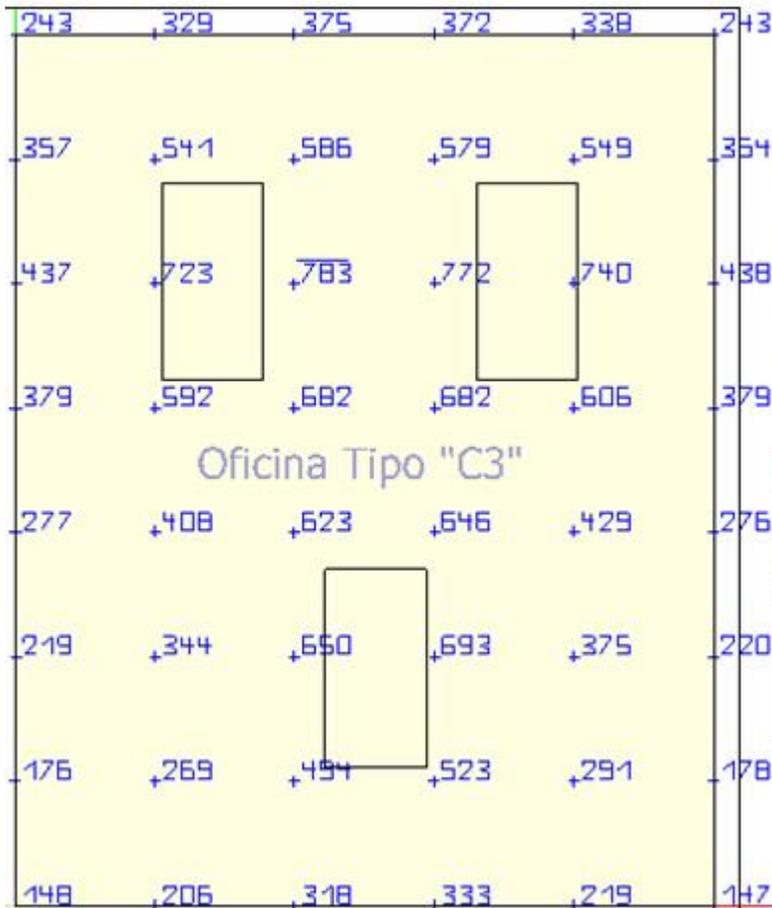
1 oficina Tipo "C1", 4x4[m], 3 luminarios instalados en cada una.



Vista en 3D de la oficina Tipo "C2", se muestran las mediciones en el plano de trabajo (.75m de altura).



5 oficinas Tipo "C2", 2.8x5.8 [m], 3 luminarios instalados en cada una.



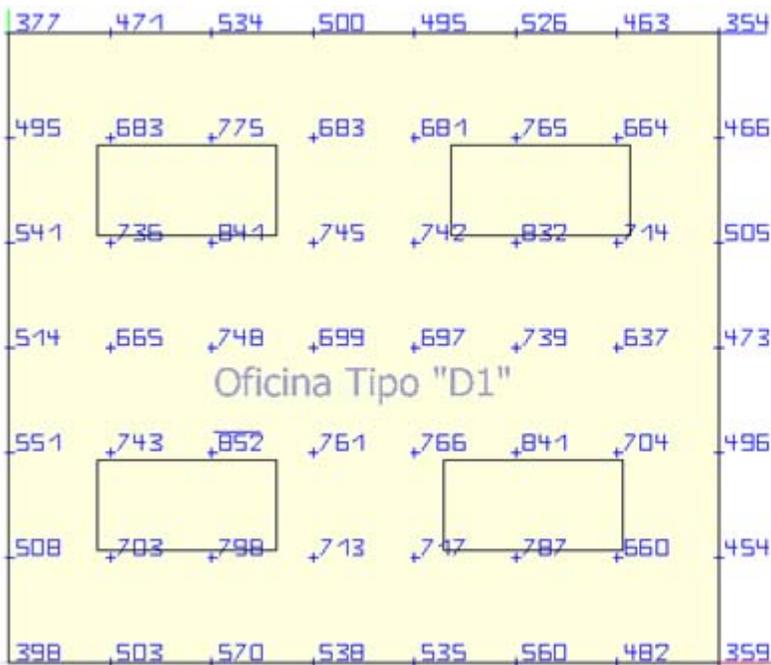
**Plano útil (Intensidad luminica perpendicular)**

	Real	Nominal
Media	484 lx	> 500 lx
Min	146 lx	-
Max	816 lx	-
Mín./medio	0.30	-
Mín./máx.	0.18	-

Luminaria activa

PHILIPS 2X4 DUALED 4-LP3.2 4000K BOARDS  
1-54W DRIVERS 4.3K RESISTOR  
2DLG43L840-4-D-UNV-DIM

1 oficina Tipo "C3", 5x4[m], 3 luminarios instalados por cada una.



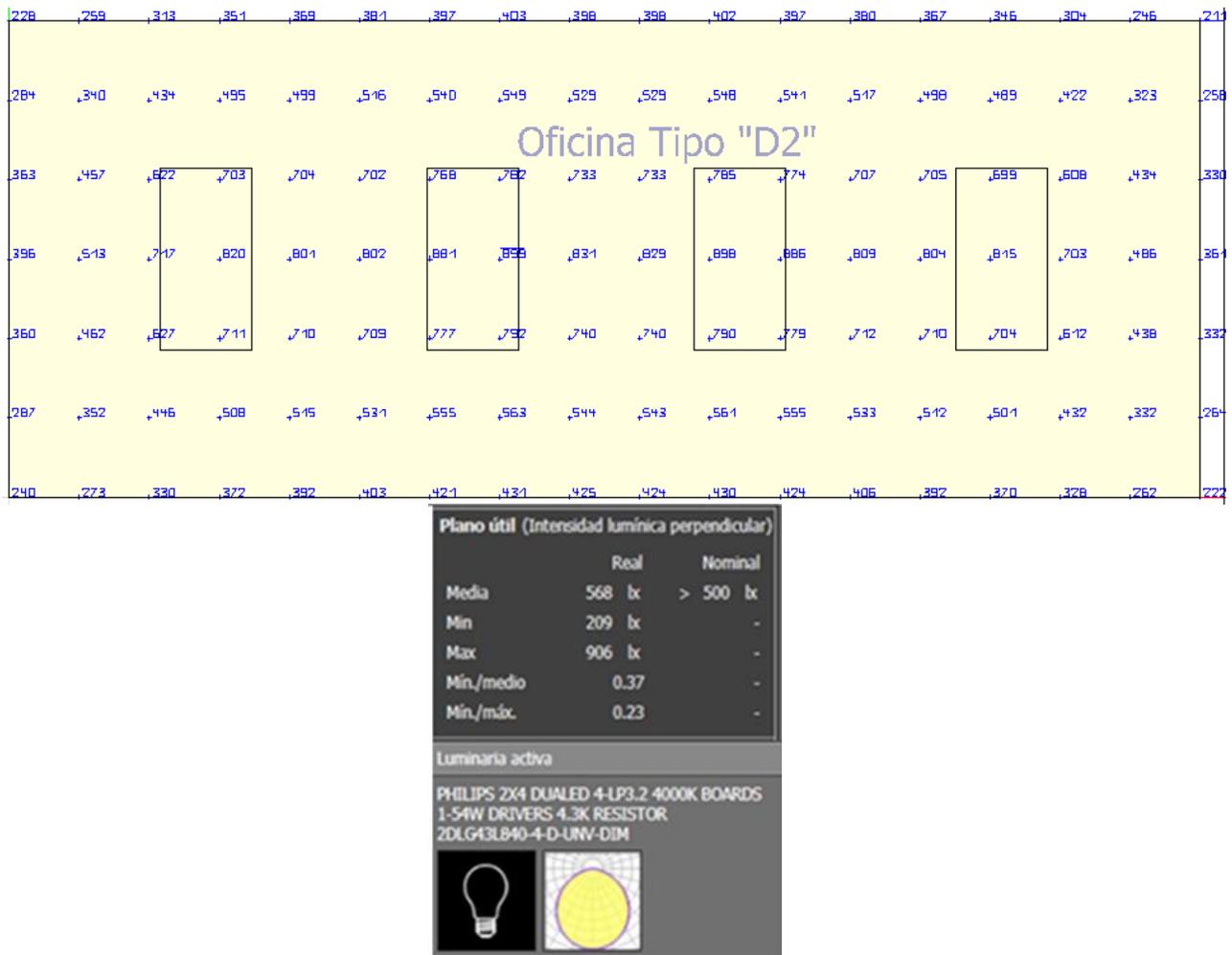
**Plano útil (Intensidad luminica perpendicular)**

	Real	Nominal
Media	670 lx	> 500 lx
Min	346 lx	-
Max	879 lx	-
Mín./medio	0.52	-
Mín./máx.	0.39	-

Luminaria activa

PHILIPS 2X4 DUALED 4-LP3.2 4000K BOARDS  
1-54W DRIVERS 4.3K RESISTOR  
2DLG43L840-4-D-UNV-DIM

6 oficinas Tipo "D1", 4.5x4[m], 4 luminarios instalados por cada una.



2 oficinas del Tipo "D2", 7.5x3[m], 4 luminarios instalados en cada una.

Observamos que los valores de iluminación de cada oficina están por arriba del mínimo permitido, y por consecuencia, el valor promediado de todas las oficinas también lo está, resultándonos un valor promedio general de 550[lx], que cumple con los valores mínimos establecidos en la NOM-025 (300[lx]) y en la NOU(400[lx]). Por lo tanto concluimos que el luminario propuesto es adecuado para corregir los bajos niveles de iluminación mantenidos actualmente, garantizando con ayuda del programa DiaLUX valores promedio de iluminación dentro de lo permitido por las normas.

## ANEXO 6

### Conceptos básicos de tarifas eléctricas.

#### *Funciones de las tarifas eléctricas.*

Las tarifas tienen 3 funciones principales: la financiera, la económica y la política y social.

#### Función financiera.

Se refiere al nivel tarifario que permite asegurar el financiamiento de los costos de explotación y de inversión, así como de la realización de los objetivos financieros, por ejemplo el equilibrio presupuestario y la obtención de una cierta tasa de autofinanciamiento o de rentabilidad del capital.

#### Función económica

Se relaciona con la estructura tarifaria. Se habla de estructura y no simplemente de un precio uniforme del [kWh]. Señal de costo marginal para influir en el perfil de la demanda, y promover la eficiencia económica.

El suministro de un [kWh] a un cliente es un servicio que se valoriza a lo largo de su cadena de producción-transporte-distribución.

Los costos de abastecimiento están relacionados con el nivel de tensión del consumidor. Resulta mucho más caro suministrar a los clientes de baja y mediana tensión que a los de alta. Ello, debido a que éstos últimos solo requieren de los equipos de producción y de una red de transmisión para ser alimentados con la electricidad, contra las necesidades de una red de distribución (de tensión media y baja) y de transformadores (para el caso de alta tensión a media y de ésta a baja) que son adicionalmente necesarios en los clientes de media y baja tensión.

Además, el nivel de pérdidas son diferentes en ambos casos, en el suministro a los clientes de alta tensión solo se tienen pérdidas por generación y transmisión, mientras que en los de baja y media hay que afrontar también las de distribución y las de transformación.

El costo del [KWh] no es uniforme en el tiempo, esto se debe a las importantes variaciones diarias, semanales y mensuales de la demanda, lo que deriva en que, la venta de la electricidad sea en realidad la venta de una curva de carga. Dicha curva presenta una sucesión de “picos” y de “valles” cuyo costo de generación es diferente en cada uno de éstos casos. Resulta más caro satisfacer la demanda pico, porque para ello se requieren equipos de producción que son poco utilizados a lo largo del año y, de una red cuya carga es irregular en este mismo periodo.

**Función política y social.**

Esta es consecuencia de la importancia del sector eléctrico dentro de la economía nacional y, del carácter de servicio público de la distribución eléctrica. La determinación y aplicación de una estructura tarifaria no es, en general, de la competencia exclusiva de la empresa eléctrica. La tarifa es, a menudo, un instrumento utilizado por los poderes públicos para acompañar a las políticas industriales o para efectuar la redistribución del ingreso. Este tipo de intervenciones introduce deformaciones de la tarifa con relación a los costos, tanto en su estructura (distorsión de señal tarifaria) como en su nivel (desequilibrio financiero). Por ello, se hace necesario tratar de minimizarlas, desproporcionando lo menos posible la estructura tarifaria de los suministros que tienen el potencial de desarrollo más importante.

**Factor de carga**

Es un indicador de la forma en que se usa la energía eléctrica en una instalación, y se puede interpretar como una medida de aprovechamiento de la energía consumida con relación a la demanda máxima. El factor de carga (F.C.) también se define como la razón de la demanda promedio a la demanda máxima, o bien, la razón entre el consumo eléctrico de un periodo y el producto de la demanda máxima medida por el número de horas del periodo de facturación. Este parámetro es útil para evaluar la oportunidad de mejorar la utilización de la energía eléctrica, y se calcula como sigue:

$$F.C. = \frac{\text{Demanda media (kW)}}{\text{Demanda máxima (kW)}} \times 100 \quad [\%]$$

También se puede calcular de la siguiente manera:

$$F.C. = \frac{\text{Consumo de energía del periodo de facturación (kWh)}}{\text{Demanda máxima (kW)} \times \text{horas del periodo de facturación (h)}} \times 100 \quad [\%]$$

**Tarifas generales para el suministro y venta de energía eléctrica.<sup>35</sup>**

**Tarifas generales**

En baja tensión	2 3 Cuotas mensuales autorizadas
En media tensión	O-M H-M H-MC Cuotas mensuales autorizadas
Con cargos fijos	OMF HMF HMCF Cuotas mensuales autorizadas
En alta tensión	HS HS-L HT HT-L Cuotas mensuales autorizadas
Con cargos fijos	HSF HS-LF HTF HT-LF Cuotas mensuales autorizadas
Servicio de respaldo	HM-R HM-RF HM-RM HS-R HS-RF HS-RM HT-R HT-RF HT-RM Cuotas mensuales autorizadas
Servicio interrumpible	I-15 I-30 Cuotas mensuales autorizadas

<sup>35</sup>[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp)

A continuación se muestra un recibo de facturación del mes de Enero del 2013:

**AVISO RECIBO**



**Comisión Federal de Electricidad**  
DIRECCIÓN DE OPERACIÓN

RFC: CFE370814-Q10  
Av. Paseo de la Reforma Num. 164  
Col. Juárez, México, D.F. 06600

**Número de Servicio:**  
970 760 600 490

**Total a pagar:**  
**\$42,550.00**  
(CUARENTA Y DOS MIL QUINIENTOS CINCUENTA PESOS 00/100 M.N.)

**Fecha límite de pago:**  
**04 FEB 2013**

**Nombre y Domicilio:**  
UNAM RADIO UNIVERSIDAD  
ADOLFO PRIETO NO 133 COL DEL V  
ALLE  
DISTRITO FEDERAL, D.F.  
C.P. 03013

Rata		Periodo				
		18 DIC 12 A 18 ENE 13				
Medición	Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Diferencia	Totales	
kWh	1921867	3644	3506	138	16,580	
kW	1921867	0.320	0.0	0.320	39	
kVAh	9009712	3215	3157	58	3,480	

Días de mes	Consumo prom. diario	Energía kWh	Precios \$/kWh	Importe \$	
ENE 13	31	534.1935	16,580	1.700	28,152.00

Mes	Factor de proporción	Demanda máxima kW	Precios \$/kWh	Importe \$	Factor de potencia
ENE 13	1.0000	39	237.89	9,277.71	97.86

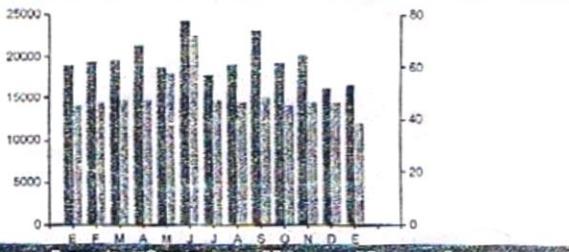
**Tarifa** 03 (circled in red)

**Carga conectada kW** 146

**Demanda contratada kW** 90

**Multiplicador** 120

**Datos Históricos**



Mes	Demanda máxima kW	Consumo total kWh	FP %	F.C. %	Precio medio
ENE 12	45	18,960	98.30	59	2.2460
FEB 12	48	19,440	98.49	53	2.2453
MAR 12	47	19,690	98.26	58	2.1782
ABR 12	47	21,350	98.17	63	2.1070
MAY 12	58	18,720	97.16	48	2.3370
JUN 12	72	24,240	97.24	44	2.3050
JUL 12	47	17,880	98.22	55	2.2674
AGO 12	45	19,080	98.38	58	2.2243
SEP 12	48	23,180	97.44	63	2.0580
OCT 12	45	19,320	98.02	60	2.1082
NOV 12	46	20,290	98.20	66	2.1582
DIC 12	46	18,200	98.26	52	2.3156
ENE 13	39	16,580	97.86	57	2.2150

**Avisos Importantes**

- Corte a partir de 05 FEB 2013.
- Aviso-recibo informativo. Servicio incluido en convenio de cobranza centralizada.
- Nos transformamos para servirte mejor.
- Servicio a Clientes Teléfono 071.

**Estado de cuenta**

Conceptos	Importe \$
Energía	28,151.89
Demanda Máxima	9,277.71
Bonificación Factor de Potencia	-748.59
Subtotal	36,681.11
IVA 16%	5,868.97
Facturación del Periodo	42,550.08
<b>Total</b>	<b>\$42,550.08</b>

Actuación: ZZ  
Código: 000000000000

PORTE PAGADO  
CANTAS  
CASH-1587  
AUTORIZADO POR SEPOMEX

Fecha, hora y lugar de impresión: 20 ENE 13 00:11:55 hrs. Centro comercial de servicios 704 del valle verde Juárez, B.C.

70760600490

01 970760600490 000000 000000000 0



740M228010010070

**Total a pagar:**  
**\$42,550.00**  
(CUARENTA Y DOS MIL QUINIENTOS CINCUENTA PESOS 00/100 M.N.)

73

Cobranza Centralizada

Recibo de facturación eléctrica del mes de Enero del 2013.

## ANEXO 7

### Planos con apagadores y luminarios propuestos.

#### SIMBOLOGÍA

- 

(NOMBRE) TABLERO ELÉCTRICO
- 

LUMINARIA FLUORESCENTE EMPOTRADA INDIRECTA T-8 2X32W CON BALASTRO ELECTRÓNICO.
- 

LUMINARIA FLUORESCENTE SOBREPUESTA T-8 2X32W CON BALASTRO ELECTRÓNICO.
- 

LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 1X23W
- 

LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 2\*26W
- 

LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 1\*26W
- 

LÁMPARA DICROICA DE 50W.
- 

APAGADOR SENCILLO EN UNA CAJA DE CONEXIÓN.
- 

DOS APAGADORES SENCILLOS EN UNA CAJA DE CONEXIÓN.
- 

LUMINARIA ARBOTANTE TIPO INTERIOR CON LÁMPARA PAR DE 100W.
- 

LAMPARA INCANDESCENTE DE 70W.
- 

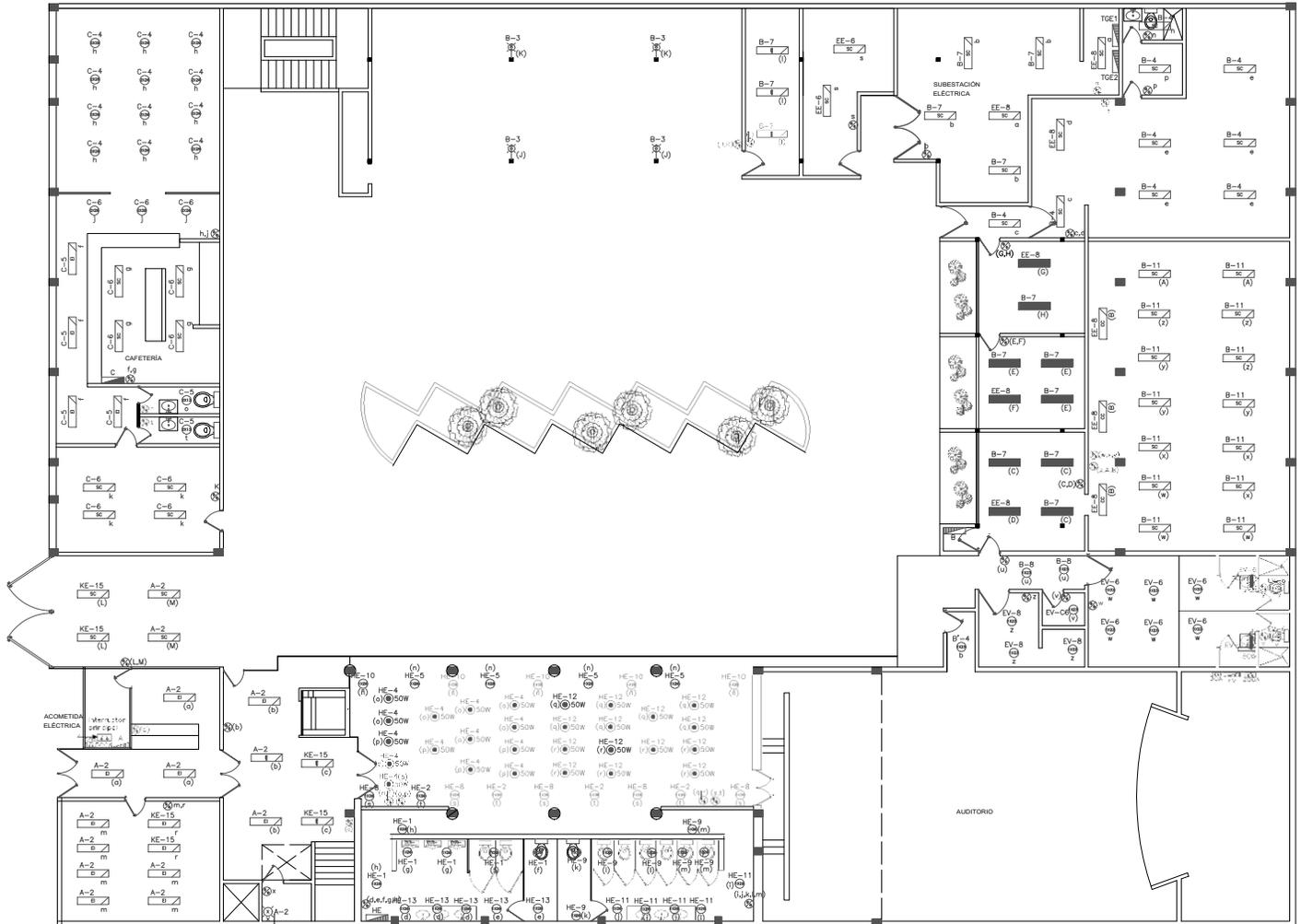
LAMPARA INCANDESCENTE DE 50W SALIDA A SPOT.
- 

DIMMER.
- 

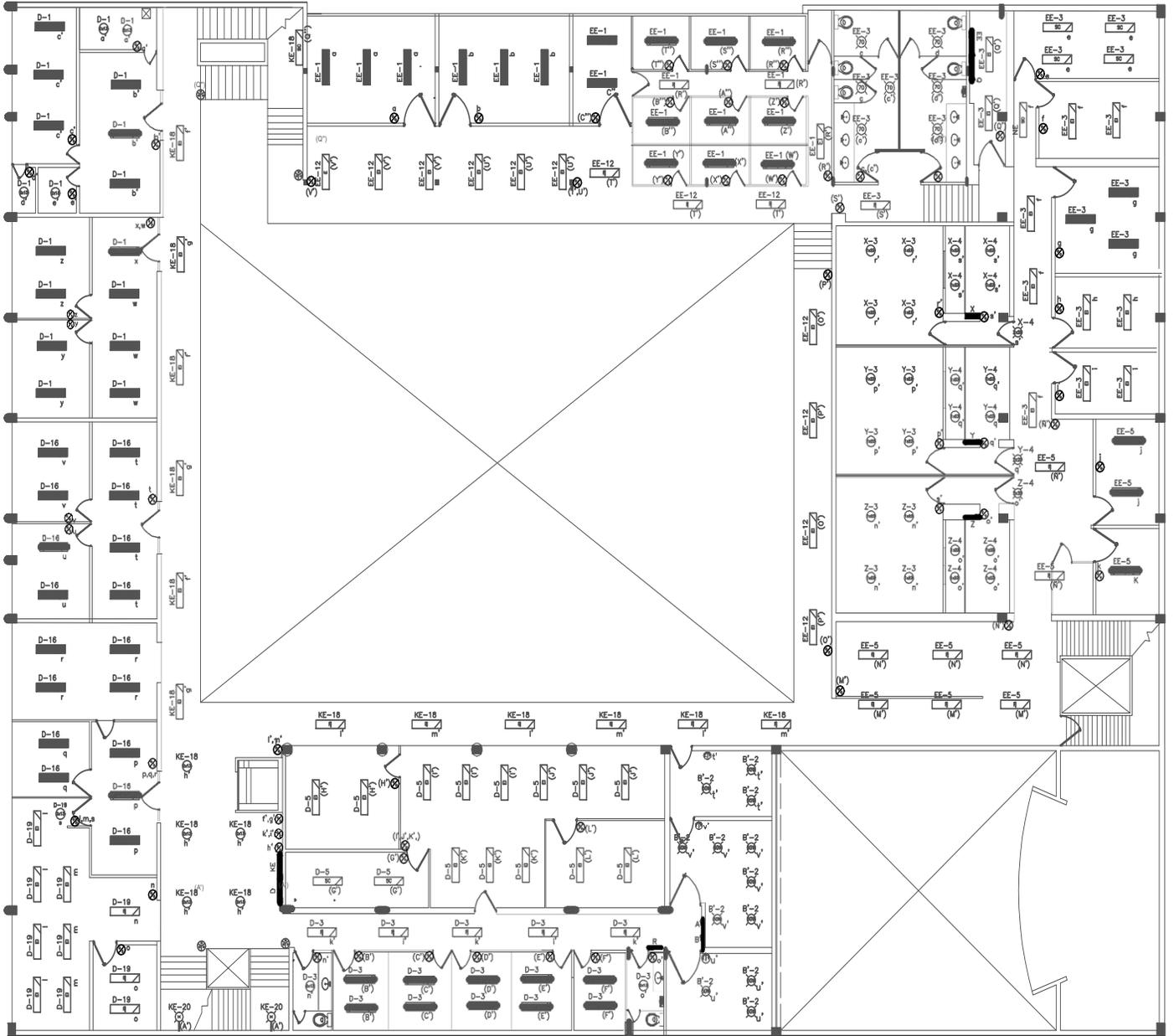
LUMINARIO PROPUESTO, EMPOTRADO LED 41W.
- 

APAGADORES PROPUESTOS.

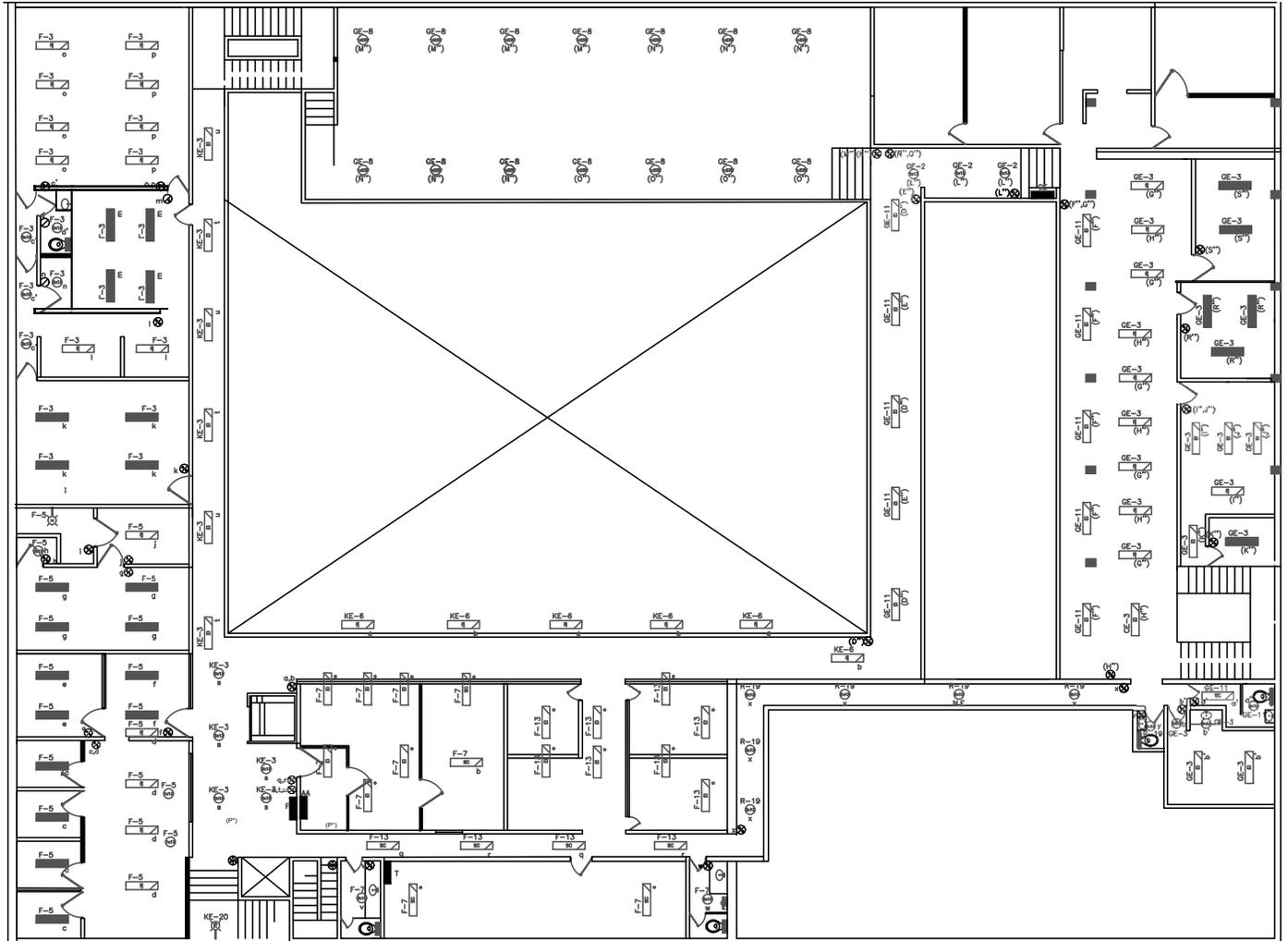
Planta Baja.



Piso 1



Piso 2



## GLOSARIO

**Alumbrado exterior:** Alumbrado que se destina a áreas abiertas, entre los que destacan: estacionamientos, calles y avenidas, patios, fachadas de edificios, monumentos, áreas de material industrial, muelles de carga, obras, campos deportivos, etc.

**Alumbrado interior:** Alumbrado de espacios cubiertos, entre los que destacan: salas de espectáculos, naves industriales, centros comerciales, restaurantes, casas habitación, escuelas, etc.

**Área de trabajo:** Es el lugar del centro de trabajo donde normalmente un trabajador desarrolla sus actividades.

**Balastro:** Es el equipo electromagnético o electrónico empleado para operar las lámparas de descarga eléctrica, proporciona a la lámpara sus condiciones de operación correcta.

**Canalización no metálica superficial:** Canalización no metálica diseñada para ser montada en superficie de una estructura, con coples, conectores, cajas y accesorios asociados para la instalación de conductores eléctricos.

**Coefficiente de Utilización.** Es la relación entre el flujo luminoso saliente de un luminario y el incidente sobre un plano de trabajo. En cierta forma es una medida de la eficiencia de un luminario, los luminarios con mayores coeficientes de utilización aprovechan en mejor forma el flujo luminoso de las lámparas.

**Condición crítica de iluminación:** Deficiencia de iluminación en el sitio de trabajo o niveles muy altos que bien pueden requerir un esfuerzo visual adicional del trabajador o provocarle deslumbramiento.

**Eficiencia de una Lámpara:** Es el flujo luminoso emitido de una lámpara entre la potencia eléctrica (Watt) que requiere para operar.

**Eficiencia o rendimiento luminoso:** Es la relación entre el flujo emitido y la potencia demandada.

$$n = \Phi / P \text{ [lumen/Watt]}$$

**Equipo eléctrico:** Término general que comprende aparatos, máquinas, dispositivos, etc., que se usan en instalaciones eléctricas, para generación, conversión, transformación o utilización de energía eléctrica, incluyendo instrumentos de medición, aditamentos de protección, equipos y dispositivos ahorradores de energía y aparatos accesorios.

**Equipos y dispositivos ahorradores de energía eléctrica:** Equipos y dispositivos utilizados para reducir y optimizar el uso de la energía eléctrica.

**Flujo luminoso:** Es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. Su unidad es el lumen.

**Iluminancia:** La iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso incidente y el área correspondiente.

$$E = \Phi / S \text{ [lux]}$$

**Lámpara:** Es el aparato mediante el cual se transforma la energía eléctrica en energía luminosa. Existen diferentes tipos de lámparas.

**Luminancia:** Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente en la dirección determinada.

$$L = I / S \cos \delta \text{ [candela/m}^2\text{]}$$

**Luminaria; luminario:** Equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas, que incluye todos los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar esas lámparas, y los necesarios para conectarse al circuito de utilización eléctrica.

**Luxómetro;** Medidor de iluminancia: es un instrumento diseñado y utilizado para medir niveles de iluminación o iluminancia, en luxes.

**Nivel de iluminación:** Cantidad de flujo luminoso por unidad de área medido en un plano de trabajo donde se desarrollan actividades, expresada en luxes.

**Plano de trabajo:** Es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual generalmente los trabajadores desarrollan su trabajo, con niveles de iluminación específicos.

**Reflector:** Dispositivo empleado para aprovechar la reflexión de la luz. La reflexión de la luz es especular cuando los rayos luminosos reflejados se orientan en direcciones preferentes de acuerdo a las características geométricas de las superficies en las que se produce la reflexión. La reflexión de la luz es difusa cuando la reflexión se da en todas direcciones.

**Refractor:** Es el dispositivo empleado para controlar los cambios de dirección de un haz luminoso cuando pasa de un cierto medio a otro de diferente densidad, usualmente son fabricados con acrílico o policarbonato. El mejor control de la luz se logra empleando lentes ópticas.

**Sistema de iluminación:** Es el conjunto de luminarias de un área o plano de trabajo, distribuidas de tal manera que proporcionen un nivel de iluminación específico para la realización de las actividades.

**Tarea visual:** Actividad que se desarrolla con determinadas condiciones de iluminación

**Tubo conduit no metálico:** Canalización de sección transversal circular de varios tipos.

## ACRÓNIMOS

**ANSI:** American National Standards Institute.

**CFE:** Comisión Federal de Electricidad.

**CONUEE:** Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

**FP:** Factor de Potencia.

**IE:** Índice Energético.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronical Engineering.

**INECC:** Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

**MAE:** Medidas de Ahorro de Energía.

**NOM:** Norma Oficial Mexicana.

**UNAM:** Universidad Nacional Autónoma de México.

**PST:** Perceptibility Short Term- Perceptibilidad corto plazo, también conocido como flicker.

**PU:** Por unidad.

**DAT%:** Distorsión Armónica Total expresada en porciento.

**DATD%:** Distorsión Armónica Total en Demanda expresada en porciento.

**DATT%:** Distorsión Armónica Total en Tensión expresada en porciento.

### *Unidades de medición:*

**[A]:** Unidad de medida de corriente eléctrica [Ampere].

**[Hz]:** Unidad de medida de frecuencia [Hertz].

**[lm]:** Unidad de medida de flujo luminoso.

**[lx]:** Unidad de medida de iluminancia.

**[S]:** Unidad de medida de conductancia eléctrica.

**[VA]:** Unidad de medida de potencia aparente [Volt-Ampere]

**[V]:** Unidad de medida de tensión [Volts].

**[W]:** Unidad de medida de potencia real [Watt]

**[VAr]:** Unidad de medida de potencia reactiva [Volt-Ampere-reactivo]