



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE ENERGÍA

**Medidas de Ahorro de Energía en la
Universidad Autónoma de la Ciudad de
México, plantel San Lorenzo Tezonco**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN:

**INGENIERÍA EN
SISTEMAS ENERGÉTICOS**

P R E S E N T A

**Juan Alejandro
Hernández Pérez**

DIRECTOR DE TESIS
Dr. Fernando Gabriel
Arroyo Cabañas
Programa de Energía

CODIRECTOR
Dr. Efrén Bernardo Ramírez
Solíz
Ingeniería en Sistemas Electrónicos Industriales

Ciudad de México, mayo, 2024

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Integración del jurado:

Presidente: Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas, UACM.

Secretario: Dr. Efrén Bernardo Ramírez Solíz, UACM.

Vocal: Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, UACM.

1^{er}. Suplente: Dr. Edgar Vicente Torres González, UACM.

2^{do}. Suplente: Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada, UACM.

Lugar donde se realizó la carrera:

PLANTEL SAN LORENZO TEZONCO, UACM

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Gabriel Arroyo Cabañas, UACM

MENCIONES Y AGRADECIMIENTOS

Quiero dar un breve agradecimiento a aquellas personas que me han acompañado durante toda mi vida y a los que llevo menos tiempo de conocer pero que también han estado en momentos entrañables.

Primero quiero empezar agradeciendo a los Profesores que han formado parte de las diferentes etapas de mi trayectoria académica, a mis maestros que me han acompañado en esta etapa universitaria, gracias a los Maestros del área de energía por abrir nuestra visión a los diferentes caminos que puede uno tomar en esta bonita profesión. Muchas gracias a mi Tutor de tesis el Dr. Fernando Arroyo por brindarme sus conocimientos y aceptar habersido mi guía en este trabajo de tesis, a mi Codirector el Dr. Efrén Bernardo Ramírez Solíz, al Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, a la Dra. Ma. Claudia Roldan Ahumada y al Dr. Edgar Vicente Torres y una mención especial a el Dr. Carlos Chávez por sus consejos mientras cursaba la licenciatura.

Gracias a mis compañeros estudiantes que han hecho de mi vida académica un momento de varias experiencias compartidas, anécdotas y aprendizajes que han quedado como un recuerdo que solo se vive una vez en la vida, en especial quiero agradecer a mis amigos Rodrigo Gonzales Cervantes y Mario Galicia por mantener nuestra amistad vigente y por brindarme dos virtudes que yo valoro mucho en las personas, la lealtad y una amistad genuina, también a mi buen amigo Froylan Casillas QPD.

Quiero agradecer a mi Universidad Autónoma de la Ciudad de México, porque me brindó la oportunidad de continuar con mi formación académica, fue como si segunda casa, conocí a personas increíbles tanto profesores como compañeros estudiantes, pude desenvolverme en un ambiente que aporta cultura, experiencias y conocimiento, tanto como uno lo sepa aprovechar.

Agradezco a mi familia por estar siempre presente, por las muestras de afecto y por lo cálidos que han sido siempre conmigo, gracias a mis tíos, primos, y a mis abuelitos tanto paternos como maternos, a los familiares que siguen en esta vida y a los que se han ido a todos los llevo en el corazón.

Por ultimo agradezco a la vida y a Edith Villegas madre de los hermosos hijos que me ha dado, ellos han sido una gran razón, impulso y una gran responsabilidad para superarme. También quiero dejar plasmado en estas hojas mi reconocimiento, respeto además de un profundo amor a mis Padres y a mi hermana Nancy que son unos seres humanos extraordinarios, nobles, que merecen lo mejor de esta vida, a los que deseo devolver por lo menos la mitad de las satisfacciones y muestras de amor que me han dado.

Contenido

Introducción	7
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Justificación	9
Capítulo I. Antecedentes sobre el ahorro de energía	11
1.1. Ahorro de energía y eficiencia energética	11
1.2. Instituciones de eficiencia y ahorro de energía en México	11
1.3. Normas de eficiencia energética	13
1.4. Certificados en materia de ahorro de energía	16
Capítulo II. Análisis de la situación energética del Plantel SLT	20
2.1. Localización de la UACM plantel SLT.	20
2.2. Descripción general de las Subestaciones Eléctricas del Plantel SLT	21
2.3. Esquema tarifario (2012-2018)	24
2.3.1 Tarifa HM	30
2.3.2 Tarifa GDMTH	33
2.4. Análisis de la tarifa eléctrica, Plantel SLT	35
2.4.1 Revisión de la demanda para cambio de tarifa	36
2.5. Consumo eléctrico histórico de la UACM-SLT	36
2.6. Análisis en la evolución de los costos de la energía eléctrica	41
2.7. Factor de Potencia en la Facturación	41
Capítulo III. Análisis de resultados de los principales parámetros eléctricos en la subestación de la UACM-SLT.	44
3.1. Demanda y consumo de energía eléctrica	44
3.1.1 Voltaje en Plantel SLT	50
3.1.2 Corriente en Plantel SLT	53
3.2. Factor de potencia	60
3.2.1 Triangulo de potencia eléctrica	61
3.2.2 Potencia Activa	62
3.2.3 Potencia Reactiva	62
3.2.4 Potencia aparente	63
3.3. Bajo Factor de Potencia.	64
3.3.1 Consecuencias del bajo factor de potencia	64

3.3.2 Penalización en la facturación eléctrica	65
3.4. Beneficios de corregir el factor de potencia	66
3.5. Dispositivos para compensar el factor de potencia	66
3.6. Métodos para calcular la compensación de potencia reactiva	67
3.6.1 Método del triángulo de potencia	67
3.6.2 Calculo con factor K	68
3.7. Compensación de potencia reactiva en el Plantel SLT	70
3.7.1 Resultados de la corrección del factor de potencia	73
Capítulo IV. Análisis del sistema de iluminación Plantel SLT	77
4.1. Introducción	77
4.2. Normas nacionales e internacionales en iluminación	77
4.3. Sistemas de iluminación	78
4.3.1 Lámparas	79
4.3.2 Luminarias	81
4.3.3 Balastros	83
4.4. Sistemas de regulación y control de iluminación	84
4.5. Características de las luminarias	84
4.5.1 Montaje de luminarias	84
4.5.2 Distribución luminosa	86
4.6. Propiedades de las lámparas	87
4.6.1 Distribución fotométrica	88
4.6.2 Color	89
4.7. Situación de la iluminación en la UACM-SLT	91
4.7.1 Análisis de resultados en la iluminación UACM-SLT	96
4.7.2 Iluminación y luminarias en salones y áreas comunes	96
4.7.3 Determinación de la iluminación en cada área de la UACM-SLT	97
Capítulo V. Propuestas de ahorro de energía eléctrica para la UACM-SLT	106
5.1. Propuesta 1 Etiquetado de tableros de iluminación, edificios A, B y C	106
5.2. Propuesta 2 Cambio tecnológico de lámpara fluorescente a lámpara led	107
5.2.1 Propuesta 2a y 2c	108
5.2.1.1 Evaluación energética	108
5.2.1.2 Evaluación económica	109
5.2.1.2 Evaluación ambiental (emisiones de CO ₂)	110

5.2.2 Propuesta 2b	110
5.2.2.1 Evaluación energética	110
5.2.2.2 Evaluación económica	111
5.2.2.3 Evaluación ambiental (emisiones de CO2)	112
5.2.3 Propuesta 2d	112
5.2.3.1 Evaluación energética	112
5.2.3.2 Evaluación económica	113
5.2.3.3 Evaluación ambiental (emisiones de CO2)	113
5.3. Propuesta 3 Instalación de fotocontroladores de iluminación para lámparas en pasillos de edificios A, B y C.	114
5.3.1 Evaluación energética	115
5.3.2 Evaluación económica	115
5.3.3 Evaluación ambiental (emisiones de CO2)	116
5.4. Propuesta 4 Instalación de banco de capacitores automático	116
5.4.1 Evaluación económica	118
6. Conclusiones	120
7. Bibliografía	121
Anexos	126

Introducción

En este trabajo de tesis se le dio seguimiento al diagnóstico energético realizado en el plantel de la UACM-SLT en el que se hizo una evaluación del consumo de energía, del factor de potencia y de los niveles de iluminación de cuatro edificios. Con esta información se encontraron oportunidades de mejora a las que se les pretende dar solución con propuestas que se van desglosando en cada uno de los capítulos.

El primer capítulo ofrece una perspectiva en materia de ahorro y eficiencia de la energía, dando un panorama general de las instituciones nacionales e internacionales que existen, así como de los materiales y normas que han elaborado para guiar y fortalecer este sector.

En el segundo capítulo se puede encontrar una breve descripción de las instalaciones eléctricas de la Universidad y un análisis de sus recibos de luz, permitiendo revisar el correcto cobro de la tarifa asignada y el comportamiento histórico del factor de potencia.

En el capítulo tres se aborda a detalle una de las problemáticas encontradas en el diagnóstico energético que es el bajo factor de potencia detectado también en los históricos de los recibos de luz, se finaliza este capítulo con un recuento de las alternativas para resolver esta problemática y la selección de una de ellas para aplicarla en el plantel SLT.

En el capítulo cuatro se brinda información teórica que pretende ayudar a entender y dar solución a otra de las opciones de mejora encontradas en el plantel SLT que es el tema de la iluminación en cuestión de que es el uso más significativo de energía, también se muestra una revisión de los niveles de iluminación que tuvo cada área del plantel y el cálculo que requiere cada una de ellas para cumplir con los parámetros establecidos por norma.

Por último, en el capítulo cinco se presentan propuestas para las problemáticas abordadas en este trabajo y una evaluación de cada una de ellas tanto energética, económica y ambiental.

Objetivo general

Identificar las oportunidades de ahorro de energía, sustentadas en un diagnóstico energético realizado en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, en el plantel San Lorenzo Tezonco y así seleccionar las propuestas de ahorro más factibles a implementar.

Objetivos específicos

- Recopilar antecedentes sobre análisis de diagnósticos energéticos en edificios no residenciales medidas de ahorro aplicadas y sus metodologías.
- Revisar y analizar el diagnóstico energético realizado en el plantel San Lorenzo Tezonco, para conocer la situación energética actual e identificar posibles medidas de ahorro.
- Determinar las posibles medidas de ahorro de energía tanto las que no requieren inversión como las que si lo requieren.
- Evaluar y seleccionar las medidas de ahorro de energía, tomando en cuenta que sean técnicamente factibles, económicamente rentables y ambientalmente benéficas.

Justificación

A nivel internacional los edificios han sido identificados desde las crisis petroleras de los 70's como un sector que consume demasiada energía. Actualmente la Agencia Internacional de Energía ratifica que las medidas de ahorro de energía por medio de la eficiencia energética pueden permitir el crecimiento económico, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la seguridad energética en un país¹. Según Sweatman, P. (2016) las Naciones Unidas dicen que el consumo de energía en los edificios puede reducirse entre un 30 y un 80% mediante el uso de tecnologías probadas y disponibles en el mercado².

En México hay una necesidad real de tomar acciones en materia energética, de ser un país exportador ha pasado a ser importador de recursos fósiles. Las medidas de ahorro aplicadas en edificios son una opción que ha sido utilizada para reducir el consumo eléctrico de un país. Chatellier y McNeil (2019) en un estudio publicado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) referente al sector de edificios, concluyen que las edificaciones son el mayor consumidor de energía eléctrica en el país, por encima del sector industrial³. Lo cual demuestra un gran potencial para implementar medidas de ahorro en el consumo eléctrico.

El presente trabajo de tesis se centra en contribuir a la disminución de energía eléctrica evaluando e implementando medidas de ahorro en 4 edificios de uso no residencial que integran al plantel San Lorenzo Tezonco de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Haciendo una revisión del diagnóstico energético elaborado en este plantel⁴, en donde se ha encontrado un potencial de ahorro principalmente en dos aspectos, la iluminación y el bajo factor de potencia que está provocando que al plantel le lleguen multas económicas por parte de la CFE en los recibos de luz desde agosto del 2017. Además, es importante llevar a cabo la implementación de medidas de ahorro de energía en edificios, en este caso en los edificios del plantel San Lorenzo Tezonco, para tener un uso racional de la electricidad.

¹ Ortiz et al.; Hacia un México sostenible: Asociaciones público privadas en eficiencia energética; Ethos Laboratorio de Políticas Públicas; 2017. <https://www.ethos.org.mx/ethos-publications/hacia-mexico-sostenible-app-eficiencia-energetica/>

² Sweatman P.; Marco político de largo plazo para la eficiencia energética; 2016, p. 38. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/194644/Marco_Pol_tico_de_Largo_Plazo_para_la_EE_DASE_241116_R EV2_090217_1-82.pdf

³ Chatellier, D., & McNeil, M.; Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector de servicios; 2019, p 10. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455552/cuaderno3nvociclo_2.pdf

⁴ González Cervantes, I. R.; Diagnostico Energético a las instalaciones de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México plantel San Lorenzo Tezonco; 2019, pp. 95-97.

Capítulo I. Antecedentes sobre el ahorro de energía

1.1. Ahorro de energía y eficiencia energética

Tanto México como otros países se comprometieron en el Acuerdo de París del 2015 a disminuir los gases de efecto invernadero (GEI) y mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C⁵. Cada país participante se comprometió a realizar un documento plasmando las acciones para reducir sus emisiones, dicho documento se llama “Las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés)”. El último instrumento entregado por México fue en diciembre del 2020 donde se comprometió a reducir en 22% las emisiones de GEI y el 51% en emisiones de carbono negro para el 2030. Según la ONU el sector de suministro de energía es el que más emisiones emite con un 35% a nivel mundial⁶. Por lo que, para llevar a cabo estas metas se requieren de proyectos de ahorro de energía, financiamientos, instrumentos técnicos, capacitaciones, desarrollo tecnológico, programas de eficiencia energética e instituciones que guíen hacia estos objetivos.

1.2. Instituciones de eficiencia y ahorro de energía en México

La eficiencia energética se hace presente cuando se desempeña un trabajo o actividad de manera óptima con la menor energía posible, es ahí donde surge el ahorro energético. En México existen instituciones enfocadas en el ahorro y eficiencia de la energía, tanto públicas como privadas, una de ellas; que además es eje principal en el país es la CONUEE, institución pública que a partir del 2008 se encarga de planear, vigilar, difundir y dar asesoría técnica en materia de eficiencia y ahorro de energía a sectores públicos y privados en áreas como el ahorro en el transporte, en edificios, residencias, micros, pequeñas y medianas empresas, además de llevar más de 20 años con el Programa de Eficiencia Energética en Edificios de la Administración Pública Federal de México, con el que tiene un ahorro energético promedio de 14 millones de GWh/año⁷, En el año 2020 publicó el “Manual para el diseño y operación de programas de eficiencia energética en edificios

⁵ United Nations Climate Change; Acuerdo de París; 2015.

https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf

⁶ Naciones Unidas; Datos y cifras. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=El%20sector%20de%20suministro%20de,35%20%25%20de%20las%20emisiones%20totales.>

⁷ Odón de Buen R. et al.; El programa de ahorro de energía eléctrica en edificios de la administración pública federal: un recuento (1993-2019); 2020, p. 19.

públicos de gobiernos estatales” con el objetivo de brindar una referencia a quienes estén interesados en implementar programas de ahorro y uso eficiente de la energía.

Otra institución es el FIDE, creada en 1990 y que es un fideicomiso privado formado por iniciativa de CFE y ofrece asesoría técnica y apoyos financieros en programas de ahorro y uso eficiente de la energía. Cuentan con dos sellos llamados sello FIDE A y sello FIDE B; el A se otorga a equipos eléctricos o electrónicos eficientes y el B se le da a equipos o materiales que no ahorran en sí, pero propician el ahorro ejemplo de ello son los aislantes térmicos, domos etc. (figura 1.1).



Figura 1.1 Sellos FIDE.

Fuente. Adaptado de *Tipos de sello FIDE*. FIDE, 2012, https://www.fide.org.mx/?page_id=14959.

Por parte del sector privado está la Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (AMENEER) que es una asociación en México sin fines de lucro creada en 2012, la cual agrupa a empresas y personas consultoras que se dedican a desarrollar proyectos de eficiencia energética en los sectores de la industria, los comercios, servicios, residencial y gubernamental ofreciendo soluciones con equipos eficientes que reducen el consumo energético de las instalaciones.

También está la institución Alianza por la Eficiencia Energética (ALENER) es una asociación público-privada en México que participa en el desarrollo de normas, códigos de construcción, políticas públicas y principalmente en la eficiencia energética en la edificación.

Y, por último, a nivel nacional se encuentra la SUMe (Sustentabilidad para México A.C) que es una asociación creada en 2011, para dar asesoría en proyectos sustentables y en la implementación de adecuados sistemas de certificación sustentable. La SUMe es oficialmente un consejo establecido para

México de una red global de constructoras sustentables como la World Green Building Council (WGBC) y la Green Building Council (USGBC) que son los autores del programa de certificaciones LEED y otros programas sustentables.

A nivel internacional una de las organizaciones que tiene presencia en varios países es la “Organización Internacional de Normalización” (ISO) fundada en 1947 en Reino Unido con sede central en Suiza, la cual promueve las normas internacionales de productos y servicios encaminados a la eficiencia en materia energética. Destacan las normas ISO 50001:2011 (Certificación del Sistema de Gestión Energética), ISO 50002:2014 (Realización de una auditoría energética), e ISO 50006:2014 (Sistemas de gestión energética - medición del rendimiento energético utilizando líneas de base de energía (ENB) y los indicadores de rendimiento energético), normas muy útiles para implementar medidas de ahorro en una instalación.

También está la Efficiency Valuation Organisation (EVO) que es una Organización privada sin fines de lucro con presencia Internacional, que tiene el objetivo de difundir y desarrollar estándares para cuantificar y gestionar los beneficios que puedan traer las áreas de eficiencia energética, energías renovables y uso eficiente de recursos naturales, también promueve inversiones en eficiencia. EVO publicó un protocolo Internacional de medición y verificación del desempeño (IPMVP) el cual proporciona un plan para cuantificar y verificar las medidas de ahorro implementadas, así como los datos que debe llevar el reporte de ahorros.

1.3. Normas de eficiencia energética

Las normas son documentos que contienen especificaciones técnicas de procesos, productos, servicios etc, que permiten ser evaluables y en muchos casos evitar riesgos a la población. Las Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética (NOM-ENER) son documentos de carácter obligatorio que ayudan a hacer un uso de la energía eléctrica de manera más eficiente en aparatos, equipos y sistemas que son comercializados en México. La secretaria de energía (SENER) a través de la CONUEE constituyó en marzo de 1993 el comité consultivo nacional de normalización para la preservación y uso racional de los recursos energéticos (CCNNPURRE), comité encargado de realizar el proceso de normalización de eficiencia energética en México. En la tabla 1.1 se muestra un resumen de algunas normas aplicables a edificios no residenciales las cuales se tomaron como referencia para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Tabla 1.1 Normas mexicanas de Eficiencia Energética aplicables a Edificios no Residenciales.

Emitida por	Normas de iluminación	Concepto
SENER	NOM-007-ENER-2014	Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
	NOM-017-ENER-2016/SCFI-2012	Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.
	NOM-025-ENER-2008	Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.
	NOM-028-ENER-2018	Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
	NOM-030-ENER-2016	Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.
	NOM-031-ENER-2012	Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.
	Normas en electrodomésticos	Concepto
NOM-032-ENER-2013	Límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos que demandan energía en espera. Métodos de prueba y etiquetado	
NOM-029-ENER-2017	Eficiencia energética de fuentes de alimentación externa. Límites, métodos de prueba, marcado y etiquetado.	
	Normas Ambientales	Concepto
	NMX-AA-164-SCFI-2013	Edificación sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos.

Fuente. Elaboración propia con datos de la página web de la CONUEE.

Para acreditar el cumplimiento de las normas se puede obtener un certificado para un producto, sistema o instalación. Hay organismos de certificación, laboratorios de prueba y unidades de verificación (UV) acreditados por la entidad mexicana de acreditación (EMA). Algunas normas internacionales de ahorro y eficiencia energética han sido promovidas para México por la CONUEE, tales como las ISO 50001 e ISO 50002-Sistemas de gestión de la energía, es una metodología cuya norma consta en una guía para establecer un modelo organizacional encargado de encontrar oportunidades de mejora e implementar de forma sistemática medidas de ahorro, gestionar el ahorro energético, mantener y verificar la mejora continua en la instalación. Su implementación requiere de un convencimiento y

compromiso en los altos mandos de la organización que tiene que permear en el resto de los involucrados. La ISO 50002 – 2014, Auditorías Energéticas, también conocida como diagnóstico energético, es una norma internacional que tiene como propósito definir los requisitos para identificar oportunidades de mejora del desempeño energético en cualquier tipo de instalación u organización, se puede complementar con la ISO 50001 o puede implementarse de manera independiente. La forma en que esta norma puede desarrollarse se presenta en la figura 1.2.

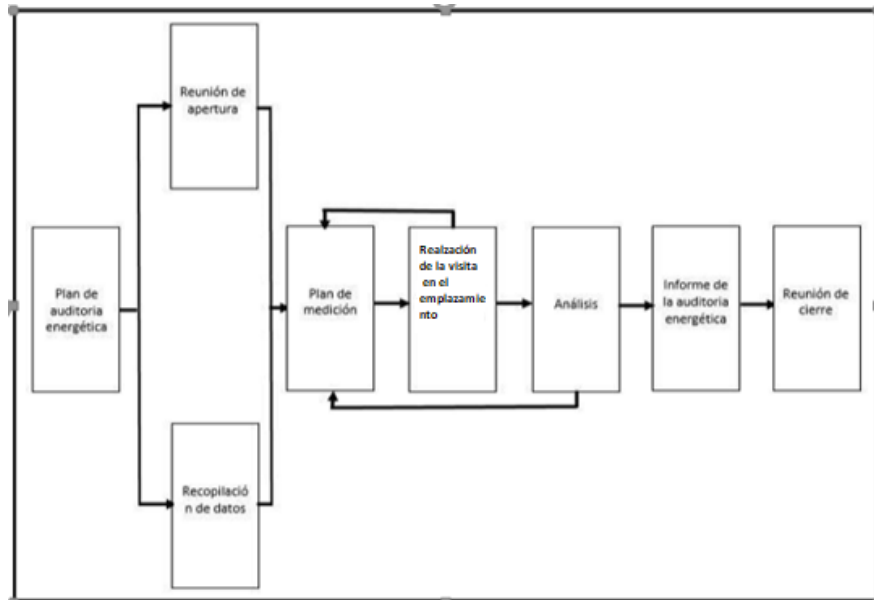


Figura 1.2. Esquema de implementación de la Norma ISO 50001:2014

Fuente. Adaptado de *Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética*. ISO, 2014, Subdirección de Gestión de la Energía. CONUEE.

Para el presente trabajo de investigación se tomará como base la metodología de la norma ISO 50002 descrita en la figura 1.2 a partir del bloque titulado “Análisis” en donde se sugiere un procedimiento para evaluar las mediciones de ahorro de energía de un diagnóstico energético implementado.

La ISO 50006 – 2014, Sistemas de gestión energética, es la medición del rendimiento energético utilizando líneas de base de energía (ENB) y los indicadores de rendimiento energético (ENPI). Es una norma que puede complementar a la ISO 50002 pues proporciona información para estimar con base en una metodología probada, los ahorros energéticos que se pueden lograr implementando las medidas de ahorro.

1.4. Certificados en materia de ahorro de energía

Las certificaciones son la validez que un organismo de certificación de producto (OCP) da como garantía con base en pruebas, mediciones, análisis, etc. para confirmar que cumplen con las normas oficiales. Hasta el momento existen veintiuna normas (NOM-ENER) de diversos productos que se certifican, como los refrigeradores domésticos, lavadoras, lámparas fluorescentes compactas, luminarias, lámparas LEDS, motores trifásicos, etc. Los certificados en México están obligados a incluir un etiquetado en los productos que cumplan con las normas de eficiencia energética (figura 1.3).



Figura 1.3 Etiqueta de eficiencia energética en México

Fuente. Adaptado de *Contenido de una etiqueta de eficiencia energética*, CONUEE, 2019, <https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/NOM/BALANCE%202019%20NOM-ENER%20021220%20OBR%20final-1%2026012021.pdf>

También existen certificaciones para edificios en materia de sustentabilidad y eficiencia energética. El gobierno de la ciudad de México por medio de la secretaria del medio ambiente (SEDEMA) creó el programa de certificación de edificios sustentables (PCES) en 2008 que entró en vigor a partir de diciembre del 2020. Es de aplicación voluntaria para todas las construcciones que se ubiquen dentro del territorio nacional, públicas o privadas, aunque tiene algunas especificaciones para construcciones en donde si es obligatorio, está dirigido a las edificaciones de la ciudad en etapas de diseño, construcción y operación que estén destinadas a los usos siguientes:

- Habitacional
- Comercial
- Servicios
- Recreativos
- Espectáculos

- Usos mixtos.

El programa cuenta con 124 criterios agrupados en los rubros de acción en la comunidad, agua, aire, movilidad, biodiversidad, calidad de vida a usuarios, energía, materiales y residuos, redes eficientes de energía y responsabilidad social.

Existen certificaciones internacionales para edificios sustentables en México, una de ellas es líder a nivel mundial aplicable a diferentes tipos de construcciones como residencias y edificios, es la Certificación Leed⁸ (Leadership in Energy and Environmental Design). Fue Desarrollada por el consejo de la construcción sostenible en E.U la US Green Building Council, este certificado proporciona un aval de edificios ecológicos saludables, eficientes y que ahorran costos en energía. Los proyectos interesados en esta certificación tienen que sumar puntos en varias categorías y en función de la cantidad de puntos logrados se obtiene uno de los cuatro niveles de calificación LEED:

- Certificado: 40 a 49 puntos.
- Plata: 50 a 59 puntos.
- Oro: 60 a 79 puntos.
- Platino: 80 a 110 puntos.

Se evalúan aspectos como la ubicación del inmueble, el agua y la recolección pluvial, el consumo de energía o el uso de energías renovables.

Existe también la certificación BREEAM que fue creada por Building Research Establishment (BRE)⁹, entidad británica fundada en 1921. La primera versión del certificado fue publicada en 1990 y evalúa impactos en 10 categorías:

- Gestión
- Salud
- Bienestar
- Energía
- Transporte
- Agua
- Materiales

⁸ BEA. Certificación Leed. <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>

⁹ BREEAM. BREEAM INTERNACIONAL. <https://breeam.es/internacional/>

- Residuos
- Uso ecológico del suelo
- Contaminación
- Innovación

Donde, tras evaluar las categorías anteriores da una puntuación final. Aplica para fases de diseño, construcción y uso de los edificios, para cada fase dispone de un esquema de evaluación y certificación.

Además, existe la certificación EDGE, creada para edificios más eficientes por la corporación financiera internacional (IFC) miembro del banco mundial, la cual utiliza un software como herramienta de ayuda.

Entonces, como se puede apreciar ya existen varias instituciones a nivel nacional e internacional, así como normas y guías que regulan el mercado, sin embargo, el proceso de ahorro y eficiencia ha sido lento y todavía mucha de la información mencionada es poco difundida para su aplicación en nuestro país, lo cual hace de suma importancia el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Capítulo II. Análisis de la situación energética del Plantel SLT

Como se había mencionado anteriormente, en el diagnóstico que se realizó en la UACM- SLT en 2018, se encontraron dos problemáticas: una fue el alto consumo en el sistema de iluminación de todo el plantel además de baja iluminación en los salones y la otra problemática fueron las penalizaciones que estaban llegando por bajo factor de potencia. Antes de hacer el análisis empezaremos por conocer un poco del plantel y de sus características eléctricas.

2.1. Localización de la UACM plantel SLT.

La UACM es una institución pública educativa fundada en 2001, está integrada por 5 planteles ubicados en distintas alcaldías de la Ciudad de México. El plantel San Lorenzo Tezonco (SLT) se encuentra en la alcaldía Iztapalapa y es el más grande de los cinco. Cuenta con un área total de 223,077 m² y los espacios construidos y/o en construcción se muestran en la (tabla 2.1).

Tabla 2.1 Áreas de la UACM- SLT.

Edificios contruidos	Área contruida (m2)	Edificios en proceso	rea construida (m2)
Edificio de Maestros	9520.41	Edificio de aulas/cubiculos	2103.69
Edificio A	7387.13	Biblioteca	1365.68
Edificio B	7387.13	Aulas magnas	706.11
Edificio C	7387.13	Cafetería	452.92
Subestación eléctrica	400		
Ágora	1462.48		
Site	163.48		
Cisterna	260		

Fuente. Elaboración propia, con información de la coordinación de obras de la UACM-SLT.

El plantel SLT se encuentra conformado por áreas donde se realizan diversas actividades, de los edificios contruidos se encuentra el edificio de maestros, ubicado en la entrada principal del plantel, seccionado en dos edificios, el edificio E y el edificio D, cada edificio cuenta con cubículos de profesores en donde se preparan clases y se dan asesoría a los alumnos, también en estos edificios hay áreas administrativas.

Los edificios A, B y C tienen cuatro niveles cada uno, se encuentran conformados por aulas de clase, auditorios, salas para titulación, espacios para talleres, áreas de cómputo, laboratorios y algunos espacios para áreas administrativas, en estos edificios es donde se lleva a cabo la mayor parte de la actividad académica. También está el ágora que es un espacio techado ubicado al aire libre, donde se llevan a cabo actividades recreativas (eventos musicales, obras de teatro, etc.) y educativas (conferencias, reunión de egresados, etc.).

Y por último el Site que es un edificio donde se encuentran los servidores informáticos del plantel con acceso solo para personal autorizado, las demás construcciones están en proceso de acabado por lo que hasta el momento no se lleva a cabo ninguna actividad educativa.

2.2. Descripción general de las Subestaciones Eléctricas del Plantel SLT

En la fig. 2.1 se ejemplifica un sistema de interconexión en anillo, la característica de este sistema es que se puede tener el transformador energizado por dos fuentes de alimentación diferentes dando más confiabilidad al sistema ya que si alguna de las fuentes se ve interrumpida puede emplearse la otra fuente y corregir la que falla sin necesidad de quedarse sin energía eléctrica. De igual manera, si el error se presenta en alguno de los transformadores que forman parte del anillo (interconectados entre sí), el tiempo de interrupción será solamente el necesario para seleccionar y aislar el equipo que presenta falla, continuando energizado el resto de los transformadores, esto por la característica particular que distinguen a los transformadores conectados a una red tipo anillo, que cuentan con un seccionador de operación con carga.

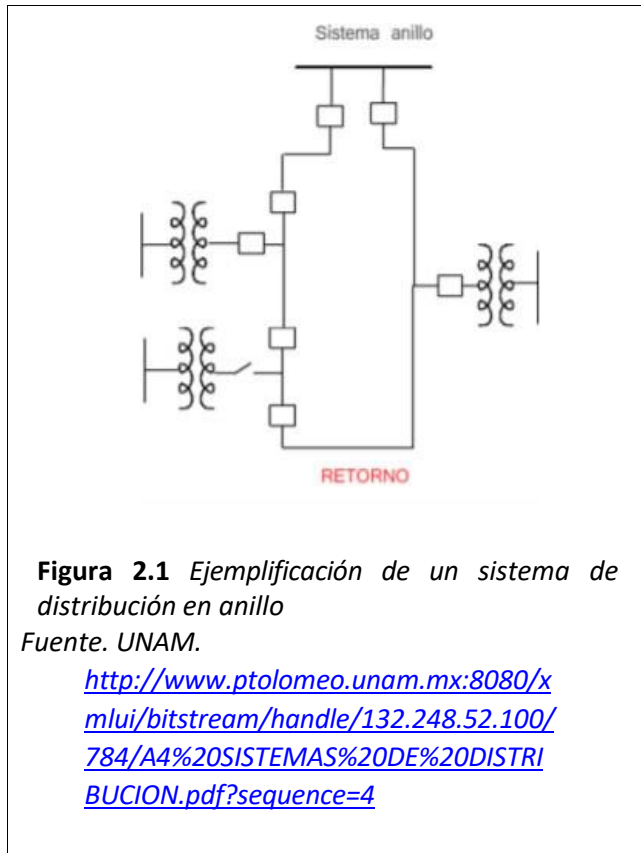


Figura 2.2 Ruta del sistema de distribución en anillo UACM-SLT
Fuente. Elaboración propia, con planos del sistema eléctrico de UACM-SLT.

La UACM-SLT hasta el momento tiene 5 subestaciones eléctricas que forman un sistema de interconexión en anillo, este sistema comienza en la subestación central, la distribución en media tensión se va vía subterránea de la subestación receptora al edificio de cubículos de profesores (Edif E y D), de ahí se sigue al edificio 1 (Edif. A) y después al edificio 2 (Edif. B) y al edificio 3 (Edif. C), donde por último pasa a otros dos edificios que están en construcción, para terminar la trayectoria y cerrar el circuito de distribución en la subestación receptora como se encuentra representada con línea amarilla en la (Figura 2.2). Este sistema de anillo es más utilizado para abastecer grandes masas de carga, desde pequeñas plantas industriales, medianas o grandes construcciones comerciales donde es de gran importancia la continuidad en el servicio como es el caso de este plantel. De acuerdo con el nivel de voltaje que manejan las subestaciones, éstas se pueden clasificar en:

- Subestaciones de transmisión: arriba de 230 kV - 400 kV.
- Subestaciones de subtransmisión: entre 230 kV y 115 kV.
- Subestaciones de distribución primaria: entre 115 y 36 kV.
- Subestaciones de distribución secundaria: debajo de 36 kV.

Con esta clasificación se considera que en la UACM-SLT se tienen subestaciones de distribución secundaria ya que manejan un suministro de media tensión de 23 kV reduciendo el voltaje a 220 o 127 V. Son subestaciones interiores con envolventes metálicas y con gas aislante de SF₆. A continuación (tabla 2.2) se muestran las características de las subestaciones de la UACM-SLT.

Tabla 2.2 Características eléctricas de las Subestaciones de la UACM-SLT

Subestacion	Características	Voltaje de suministro	Transformador			Transformador para iluminación			Planta de emergencia	Abastecimiento eléctrico para
			marca y tipo	primario	secundario	marca y tipo	primario	secundario		
Subestación principal	encapsulada en SF ₆ , 24 KV, 3 fases, 60 Hz	23000	Encapsulado, marca squared, impedancia 4.5 %, 300 KVA	enfriamiento AA, 3F, tensión nominal 23 000kv, conexión delta.	tension secundario 220/127 conexión estrella, 3F, 60Hz	Tipo seco, marca squared, impedancia estandar, 75 Kva	Tensión 220 V, conexión delta	Tensión 480/277 V, conexión estrella, 3F, 60 Hz	marca aurora pica,potencia a maxima 264 KW, 330 KVA, combustible a diesel 500 lts.	SAIT, Agora, casetas, super postes.
Subestación edif A,B y C	compacta modular autosoportada, tension maxima 23 KV, 3 fases, 60 Hz	23000	Encapsulado, marca squared, impedancia 4.5 %, 500 KVA	enfriamiento AA, 3F, tensión nominal 23 000kv, conexión delta.	tension secundario 220/127 conexión estrella, 3F, 60Hz	Tipo seco, marca squared, impedancia 4.5%, 150 KVA	Tensión 220 V, conexión delta	Tensión 480/277 V, conexión estrella, 3F, 60 Hz	marca OTTOMOTO RES,potencia maxima 250 KW, 313 KVA, combustible a diesel 1000 lts.	edificios
Subestación edif Ey D	compacta modular autosoportada, tension maxima 23 KV, 3 fases, 60 Hz	23000	Encapsulado, marca squared, impedancia 4.5 %, 300 KVA	enfriamiento AA, 3F, tensión nominal 23 000kv, conexión delta.	tension secundario 220/127 conexión estrella, 3F, 60Hz	Tipo seco, marca squared, impedancia 4.5%, 150 KVA	Tensión 220 V, conexión delta	Tensión 480/277 V, conexión estrella, 3F, 60 Hz	marca OTTOMOTO RES,potencia maxima 200 KW, 250 KVA, combustible a diesel 1000 lts.	Edificio E y D

Fuente. Elaboración propia con plano eléctrico de UACM-SLT, instalación eléctrica trayectorias de alta tensión.

En la Figura 2.3 se puede ver el esquema de la subestación receptora, en la parte inferior izquierda se encuentra el gabinete donde llega la electricidad en media tensión a 23 kV, en ese mismo gabinete se van vía subterránea las líneas en media tensión para la distribución en anillo a los demás edificios. La

alimentación en media tensión para esta subestación se va a la subestación encapsulada para llegar al transformador de 300 kVA, que transforma el voltaje a 220 y a 127 principalmente para contactos.

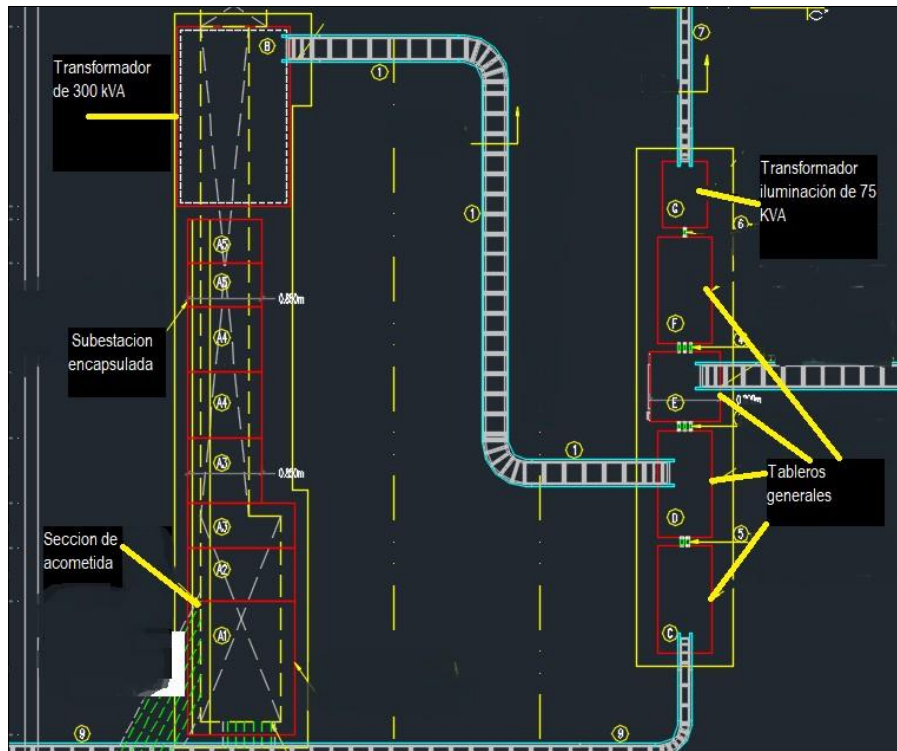


Figura 2.3 Esquema de Subestación receptora
Fuente. Elaboración propia con planos eléctricos de UACM-SLT.

Después de pasar por el transformador de 300 kVA se eleva la tensión en el transformador elevador marca squared de 75 kVA a 277 V para la iluminación. La finalidad de que se eleve la tensión a 277 V es para alimentar las lámparas fluorescentes de encendido instantáneo que requieren alto voltaje para el arranque.

2.3. Esquema tarifario (2012-2018)

Para empezar con el análisis de la facturación es necesario entender antes los cambios que ha tenido México en la red eléctrica y en su metodología de cobro. La red eléctrica se nacionalizó durante el mandato del presidente Adolfo López Mateos el 27 de septiembre de 1960, desde ese momento las instituciones públicas encargadas de proveer la electricidad al país fueron la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Luz y Fuerza del Centro (LyFC), regidos por la ley de servicio público de la

energía eléctrica (LSPEE), aunque después solo continuó CFE ya que, por decreto en 2009 se extinguió LyFC.

En abril del 2012 la SHCP publicó el acuerdo por el cual se autorizó modificar las tarifas de suministro y venta de energía eléctrica para cubrir las necesidades financieras y la expansión del servicio eléctrico nacional. Posteriormente la reforma energética fue presentada por el gobierno de Enrique Peña Nieto y fue aprobada por el Senado de la República el 11 de octubre del 2013. El objetivo con el que fue presentada era el de abrir la competencia, modernizar, regular y volver sustentable al sector energético mexicano.

Con las leyes secundarias de la Reforma energética en 2014 la LSPEE le dio entrada a la ley de la industria eléctrica (LIE) y a la ley de la comisión federal de electricidad, ambas sentaron las bases para crear el mercado eléctrico mayorista (MEM). Se dividió el Mercado eléctrico en 4 actividades principales:

- Generación.
- Transmisión.
- Distribución.
- Comercialización.

La CFE adquirió independencia para modernizar la generación eléctrica permitiendo la intervención del sector privado, se estableció que en las áreas de transmisión y distribución de energía el estado mantendría su titularidad y por lo tanto no podía llevar a cabo algún contrato, la comercialización como lo indica la (LIE) también se abrió al sector privado, lo que ha permitido que puedan vender sus excedentes de energía eléctrica. En la LIE se estableció que al Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) el cual era parte de CFE se le diera autonomía, encargándose de la operación del mercado MEM procurando la calidad y continuidad del servicio eléctrico.

Se agregaron facultades a la Comisión Reguladora de Energía (CRE) encargada entre otras funciones de expedir la metodología para determinar el cálculo y ajuste de las tarifas reguladas para los servicios de transmisión, distribución, la operación de los suministradores de servicios básicos, la operación de la CENACE y los servicios conexos no incluidos en el mercado eléctrico mayorista, como lo establece el artículo 139 de la LIE.

Los niveles de tensión utilizados en el sistema eléctrico mexicano siguen igual que como se manejaban antes de la reforma energética, se dividen en tres: baja, media y alta tensión¹⁰. Para baja tensión el rango es menor o igual a 1 kV. Es utilizada para alumbrado público, hogar e industrias, generalmente en las industrias se manejan voltajes entre los 220 y los 440 volts, en los hogares se manejan entre 110 y 220 volts. En media tensión se manejan niveles mayores a 1 kV, pero menores o iguales a 35 kV. Esta tensión es la que se ocupa para transportar la energía que va de las subestaciones hasta los bancos de transformadores, de ahí se va a las ciudades donde los cables pueden ser sostenidos por torres metálicas, de madera o cemento. Para alta tensión, a nivel subtransmisión el servicio se suministra en niveles de tensión mayores a 35 kV, pero menores a 220 kV. A nivel transmisión se suministra en niveles de tensión igual o mayor a 220 kV.

El 23 de noviembre del 2017 la CRE publicó en su página de internet el acuerdo A/058/2017, la metodología de cálculo y ajuste de las tarifas finales del suministro básico (TFSB) en el cual toma en cuenta cada segmento de la cadena de valor de la industria eléctrica y las variaciones temporales del costo de servicio dependiendo del momento del año, publicando la metodología, mes a mes, a partir de diciembre del 2017.

Por otro lado, el Ejecutivo Federal, a través de la SHCP determinó un mecanismo de fijación de tarifas de suministro básico distinto al de la CRE con el que garantizó que las tarifas domésticas, agrícolas con estímulo y acuícolas, no tuvieran modificaciones en su forma de determinación. En la tabla 2.3 se muestra como quedaron las categorías tarifarias y cuál es su equivalente respecto al esquema anterior.

¹⁰ CFE. (2017). *Anexo B del acuerdo A/058/2017*.

http://subace.com.mx/normateca/regulacion_energetica_sb/calculo_tarifa_sb/ANEXO_B_A_058_2017.pdf

Tabla 2.3 Relación entre el Esquema tarifario anterior y el vigente

Categoría tarifaria	Descripción	Tarifa anterior
PDBT	Pequeña Demanda (hasta 25 kW-mes) en Baja Tensión	2, 6
GDBT	Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Baja Tensión	3, 6
RABT	Riego Agrícola en Baja Tensión	9
APBT	Alumbrado Público en Baja Tensión	5, 5A
APMT	Alumbrado Público en Media Tensión	5, 5A
GDMTH	Gran Demanda en Media Tensión horaria	HM, HMC, 6
GDMTO	Gran Demanda en Media Tensión ordinaria	OM, 6
RAMT	Riego Agrícola en Media Tensión	9M
DIST	Demanda Industrial en Subtransmisión	HS, HSL
DIT	Demanda Industrial en Transmisión	HT, HTL

Fuente. Elaboración propia con datos de CFE.

Se hizo una clasificación de 17 divisiones tarifarias que seccionan a todo el país (figura 2.4). Las divisiones tarifarias tienen conceptos de cobro en cada región que no son iguales, con la finalidad de establecer un precio más cercano a lo real según la ubicación del usuario, hay cargos fijos relacionados con la demanda y cargos variables relacionados con el consumo de energía.

**Figura 2.4** Divisiones tarifarias del esquema actual

Fuente. Adaptado de *Divisiones tarifarias* (p. 16), CRE, 2018, Acuerdo A/064/2018.

Los conceptos de cobro en los recibos de luz del nuevo esquema de las tarifas finales de suministro básico se ven en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 *Conceptos de cobro del nuevo esquema tarifario 2018*

Concepto	Descripción
Suministrador de Servicios Básicos ((OSSBi,j)	Importe mensual único independiente del nivel de consumo o demanda del usuario, calculado para cada división. Se aplica por la operación del suministrador que se encarga de la facturación, cobranza, atención a usuarios.
Transmisión	Cargo por utilizar la infraestructura eléctrica como transporte ya sea para consumir o para inyectar energía a la red. Se aplica por kWh de acuerdo al nivel de tensión al que se encuentren conectados los usuarios.
Distribución	Costo por distribuir la energía a través de los centros de transformación, se aplica a usuarios conectados en media y baja tensión; estas incluyen un cargo sobre la energía (kWh) para los usuarios que por su tipo de medidor no es posible diferenciar entre demanda y energía consumida, y para el resto de los usuarios se aplica un cargo sobre la demanda (kW): Usuarios con cargo por energía: DB1, DB2, PDBT, APBT y RABT. Usuarios con cargo por demanda: GDBT, GDMTO, GDMTH, APMT y RAMT.
Operación de CENACE (Cen)	Costo por administrar la energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista, se aplica en todas las categorías tarifarias, a través de un monto por nivel de consumo (kWh) correspondiente a las cargas.

Servicios Conexos no incluidos en el MEM (<i>SCnMEM</i>):	Este cobro se aplica para garantizar la calidad, continuidad y seguridad del Sistema eléctrico nacional. Se aplica para las 12 categorías tarifarias y 17 divisiones tarifarias y corresponde a un importe mensual por nivel de consumo (kWh).
Cargo por Generación	Costo variable por producir la energía eléctrica en alta tensión, se compone de un cargo por energía y un cargo por capacidad.
Cargo de energía	Se establece un importe variable único para aquellas categorías con medición simple y con cargos para los periodos horarios base, intermedio, punta y semipunta correspondientes a cada división tarifaria, para las categorías con medición horaria: Categorías con cargo por energía ordinario: DB1, DB2, PDBT, GDBT, RABT, RAMT, GDMTO, APBT y APMT. Categorías con cargo por energía horario: GDMTH, DIST y DIT.
Cargo de capacidad (<i>Ci</i>)	Es el costo de la potencia(demanda), se aplican con base a lo siguiente: Categorías con cargo asignado al consumo (kWh): DB1, DB2, PDBT, APBT, APMT y RABT. Categorías con cargo asignado a la demanda máxima (kW): GDBT, GDMTO y RAMT. Categorías con cargo asignado a la demanda máxima coincidente con el periodo horario de punta (kW): GDMTH, DIST y DIT.

Fuente. Adaptado de Divisiones tarifarias (p. 17), CRE, 2018, Acuerdo A/064/2018.

La facturación eléctrica es una fuente de información importante que puede ser respaldada con mediciones de los parámetros eléctricos de una instalación según sea el nivel de profundidad del diagnóstico energético. Este análisis permite corroborar que el cobro de la compañía de luz es el adecuado, para esto es necesario entender la metodología de la tarifa aplicada para aprovecharla al máximo y reducir costos. A continuación, se presenta una forma de analizar la facturación eléctrica (figura 2.5).

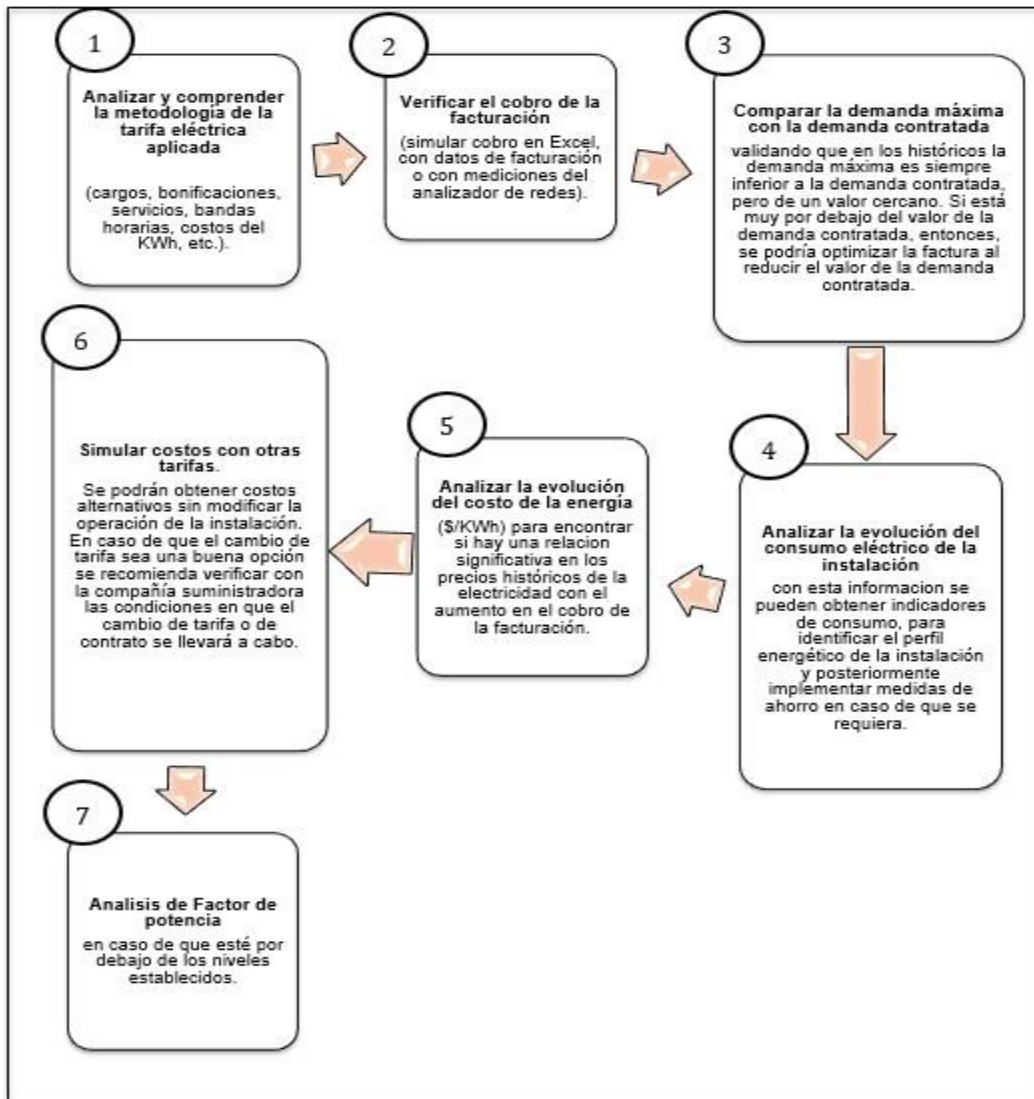


Figura 2.5. Metodología para analizar la facturación eléctrica.

Fuente. Elaboración propia

Los pasos mencionados en la figura 2.5 se desarrollan a lo largo de esta tesis, empezando por el análisis de la metodología de la tarifa eléctrica como se presenta en el siguiente apartado.

2.3.1 Tarifa HM

Antes de la implementación de la reforma energética en diciembre del 2017 la UACM plantel SLT tenía la tarifa HM que significa “Horaria en media tensión”, los costos de energía variaban según la hora del día, estaba dividida en tres periodos horarios (base, intermedio y punta). El periodo base es un rango de tiempo en el día en el que la demanda de energía es menor y el costo de kWh es el más bajo. El

intermedio es un periodo de tiempo en el que se incrementa la demanda sin llegar a ser la mayor, en este periodo el kWh incrementa su precio. En punta es el periodo de tiempo en el que se tiene la mayor demanda de energía por lo cual el costo de kWh es el más elevado.

La tarifa HM era aplicable para los servicios de energía de cualquier uso, con media tensión y una demanda de 100 KW o más, variaba según la región del país (región central, noreste, noroeste, norte, peninsular sur, baja california y baja california sur). Para el plantel SLT aplicaba la tarifa HM región central. Los horarios para las regiones central, noreste, noroeste, norte, peninsular y sur eran las siguientes (tabla 2.5).

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre.

Tabla 2.5 Horarios para la Tarifa HM.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Fuente. CFE, 2017. https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril (tabla 2.6).

Tabla 2.6 Horarios para la Tarifa HM.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00

domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	
-------------------	--------------	---------------	--

Fuente. CFE, 2017. https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp

Los conceptos de cargo que se aplicaban son la suma de todos los siguientes:

- La energía en horario base multiplicada por el costo del kW en ese horario.
- La energía en horario intermedio multiplicada por el costo del kW en ese horario.
- La energía en horario punta multiplicada por el costo del kW en ese horario.
- Demanda facturable que está compuesta por la demanda máxima registrada en los horarios base, intermedia y punta.
- Cargo del 2% del consumo por medición en baja tensión (siempre que aplique).
- Cargo o bonificación por factor de potencia (en el caso de la bonificación se le resta a la suma de los cargos anteriores).

La demanda facturable se obtenía con la siguiente expresión.

$$DF = DP + FRI \times \max (DI - DP, 0) + FRB \times \max (DB - DPI, 0) \quad (\text{ec. 2.1})$$

Donde:

DF: Demanda Facturable

DP: Demanda máxima en horario de punta.

DI: Demanda máxima en horario intermedio.

DB: Demanda máxima en horario base.

DPI: Es la demanda máxima en horario de punta e intermedio.

FRI y FRB: son factores de reducción que varían sus valores según la región del país. Para la zona central los valores eran 0.3 y 0.15.

El símbolo "max" significa máximo, es decir que cuando la diferencia de demandas que está entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero. Cualquier fracción de kilowatt de demanda facturable

se tomará como kilowatt completo. El procedimiento para obtener el cobro en esta tarifa se ejemplifica en el Anexo 2.

2.3.2 Tarifa GDMTH

A partir de diciembre del año 2017 entro en vigor el nuevo esquema tarifario, el equivalente de la tarifa HM es la GDMTH. La Metodología de las tarifas finales del suministro básico lo desarrolló la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Secretaría de Energía y CFE Suministrador de Servicios Básicos¹¹.

En la Tabla 2.7 se puede apreciar las principales características de la Tarifa HM y la Tarifa GDMTH, así como sus diferencias donde ya en la última no se usa la fórmula para encontrar el cargo por demanda facturable y en su lugar se desglosan los costos por los diferentes servicios que proporciona el mercado eléctrico.

Tabla 2.7 Principales características de Tarifa HM y GDMTH

Esquema tarifario Anterior	Nuevo esquema tarifario
<p>Tarifa HM: Horaria Media Tensión (1 a 35 kV) Utilización general para usuarios con demanda mensual igual o mayor a 100 kW. Según la Región tarifaria.</p>	<p>Tarifa GDMTH: Gran Dem. en Media Tensión Horaria Utilización general para usuarios con demanda mensual igual o mayor a 100 kW. Según la División tarifaria.</p>
<p>Conceptos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cargo por demanda facturable ✓ Cargo por energía consumida periodos Base, Intermedio y Punta ✓ Cargo por factor de potencia 	<p>Conceptos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cargo fijo mensual (\$/mes) ✓ Cargo variable por energía: B, I y P (\$/kWh) ✓ Cargo por distribución (\$/kW) ✓ Cargo por capacidad (\$/kW) ✓ Cargo por factor de potencia
<p>Las tarifas horarias manejan criterios de: regionalizada, temporalidad (verano y fuera de verano) y periodos horarios</p>	

Fuente. Chávez, C. (2018). *Fundamentos para el ahorro de energía eléctrica*.

El horario manejado en esta tarifa¹² para la UACM es el de la región central, y se aplican los mismos del esquema anterior en tarifa HM (Figura 2.6).

¹¹ CRE. (2017). La CRE publica las Tarifas Finales del Suministro Básico que aplicará CFE Suministro Básico durante diciembre de 2017. 2021, <https://www.gob.mx/cre/prensa/la-cre-publica-las-tarifas-finales-del-suministro-basico-que-aplicara-cfe-suministro-basico-durante-diciembre-de-2017>

¹² CRE. (2018). apartado 3.3.4 del acuerdo A/064/2018.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5622415&fecha=29/06/2021#gsc.tab=0

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril. (Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo, Abril)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24 hrs.
Lunes a Viernes	BASE						INTERMEDIA												PUNTA		INTERMEDIA				
Sábado	BASE						INTERMEDIA												PUNTA		INTERMEDIA				
Domingo y Festivos	BASE																		INTERMEDIA						

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre. (Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24 hrs.
Lunes a Viernes	BASE						INTERMEDIA												PUNTA		INTERMEDIA				
Sábado	BASE						INTERMEDIA																		
Domingo y Festivos	BASE																		INTERMEDIA						

Figura 2.6 Horarios de cobro en la Tarifa GDMTH región central.

Fuente. Elaboración propia, con información de la página web de CFE Tarifa GDMTH.

Con el nuevo esquema tarifario se secciona el valle de México en tres divisiones: valle norte, valle centro y valle sur (tabla 2.8) La UACM se encuentra en la delegación Iztapalapa donde hay dos divisiones tanto la centro como la sur. Por el cargo fijo que cobra la CFE en el recibo de luz a la UACM se deduce que está clasificada en la división sur. En el Anexo 3 se puede consultar la comprobación de la metodología de esta tarifa.

Tabla 2.8 Divisiones Tarifarias en Valle de México.

No.	Delegación	Valle de México		
		Norte	Centro	Sur
1	Álvaro Obregón	X	X	X
2	Azcapotzalco	X	X	
3	Benito Juárez		X	
4	Coyoacán			X
5	Cuajimalpa de Morelos		X	X
6	Cuauhtémoc		X	
7	Gustavo A. Madero	X	X	
8	Iztacalco		X	
9	Iztapalapa		X	X
10	La Magdalena Contreras			X
11	Miguel Hidalgo	X	X	
12	Milpa Alta			X
13	Tláhuac			X
14	Tlalpan			X
15	Venustiano Carranza		X	
16	Xochimilco			X

Fuente. Chávez, C. (2018). *Fundamentos para el ahorro de energía eléctrica*.

2.4. Análisis de la tarifa eléctrica, Plantel SLT

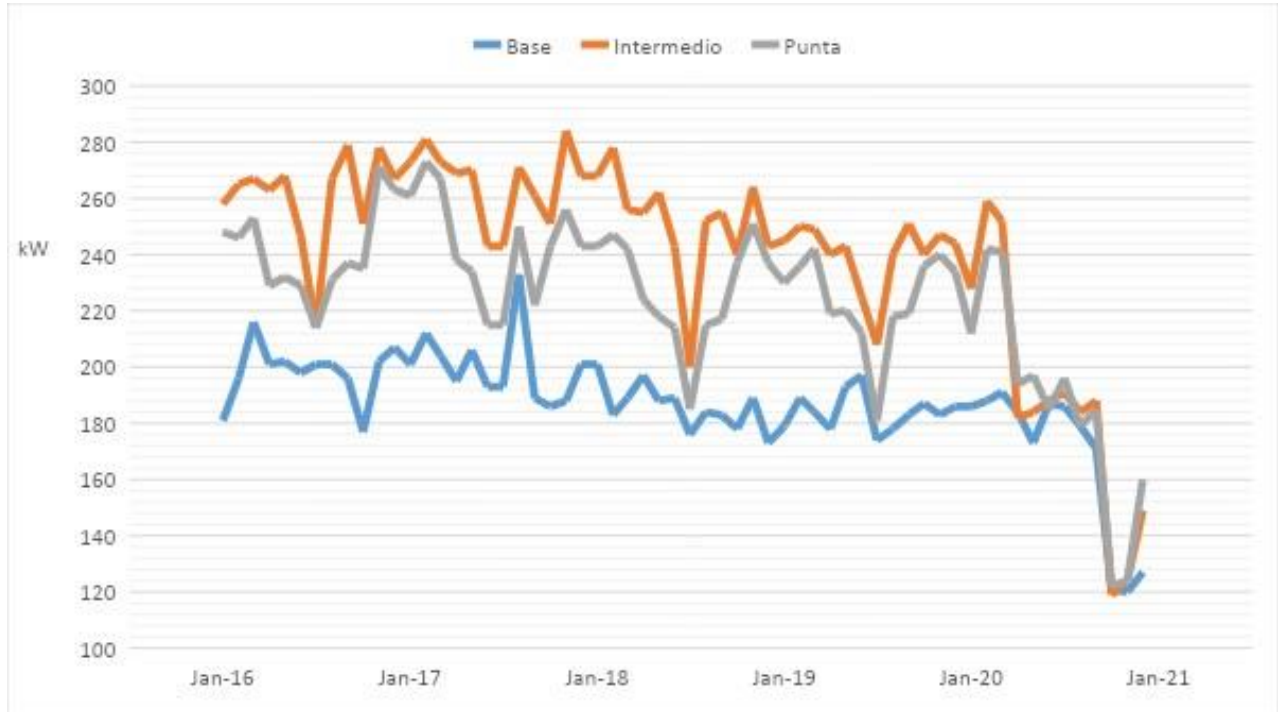
Para el presente trabajo de investigación, el análisis de la facturación en la UACM- SLT se realizó de finales de agosto del 2017 a diciembre del 2020. Es decir, se hizo con el esquema tarifario anterior a la Reforma energética (tarifa HM) y posteriormente con la nueva tarifa aplicable¹³. El estudio tarifario se llevó a cabo con el apoyo y desarrollo de hojas de cálculo del software de Microsoft Excel®, tomando como referencia los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2017 para la tarifa HM y de diciembre del 2017 hasta diciembre del 2020 con tarifa GDMTH donde se corroboró que el cobro en la facturación es el correcto. Dicho análisis se muestra a detalle en el anexo 3.

¹³ GDMTH Gran Demanda Media Tensión Horaria.

2.4.1 Revisión de la demanda para cambio de tarifa

La CFE establece que cuando el usuario mantiene durante 12 meses consecutivos valores de demanda inferiores a 100 kilowatts, podrá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa GDMTO¹⁴.

Gráfica 2.1 Demanda Máxima (kW) UACM-SLT.



Fuente. Elaboración propia, con datos de recibo de luz UACM-SLT.

En la gráfica 2.1 se puede apreciar que a partir de febrero del 2018 la demanda empezó a tener picos ligeramente más bajos en el horario base, intermedio y punta, llegando a tener en noviembre de 2018 cerca de 120 KW de demanda eléctrica, lo cual indica que se ha mantenido por arriba de los 100 KW, por lo tanto, hasta el momento analizado se descarta un posible cambio de tarifa.

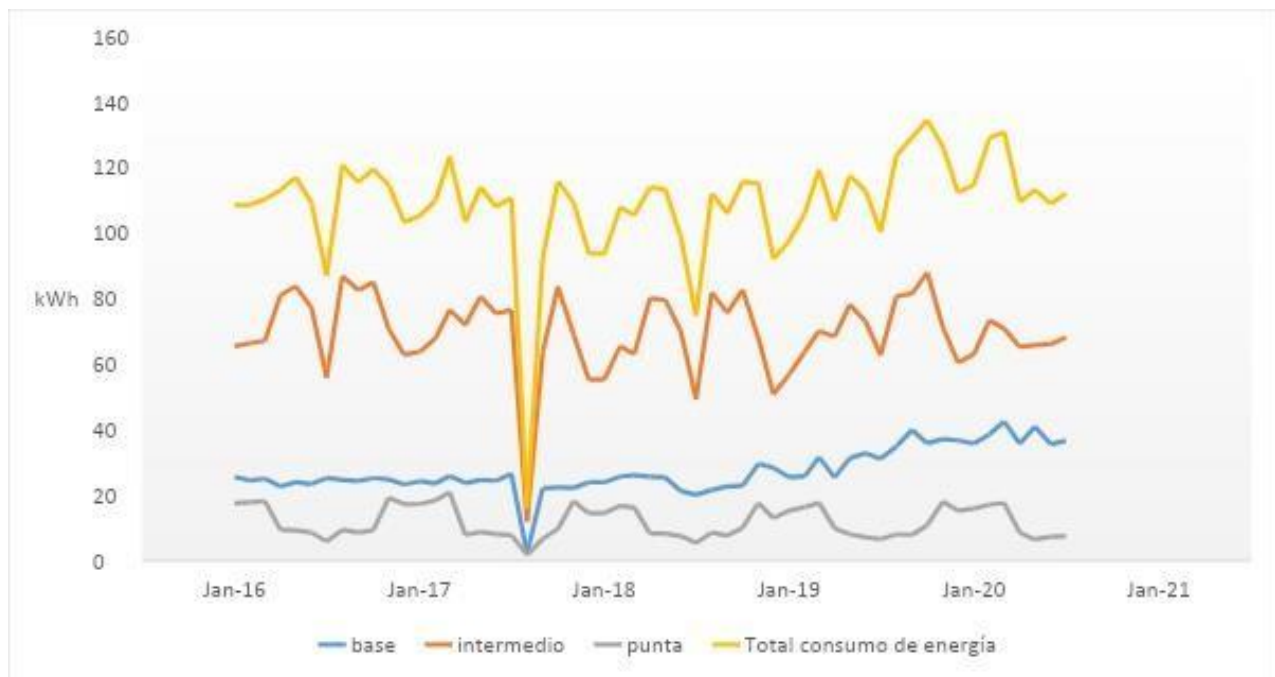
¹⁴ CFE; Industria; (2019).

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>

2.5. Consumo eléctrico histórico de la UACM-SLT

Revisando la facturación del plantel SLT, se encontró que el consumo de energía se mantuvo desde enero del 2016 hasta mayo del 2020 en rangos similares en las bandas horarias intermedio y punta, sin embargo en el periodo base que va entre semana de las 00:00 hrs hasta las 6:00 hrs y los domingos de las 00:00 hrs hasta las 19:00 hrs, se ha duplicado el consumo, pasando de aproximadamente 20,000 kWh mes hasta los 40,000 kWh (ver gráfica 2.2); siendo un horario fuera de la actividad escolar en el plantel.

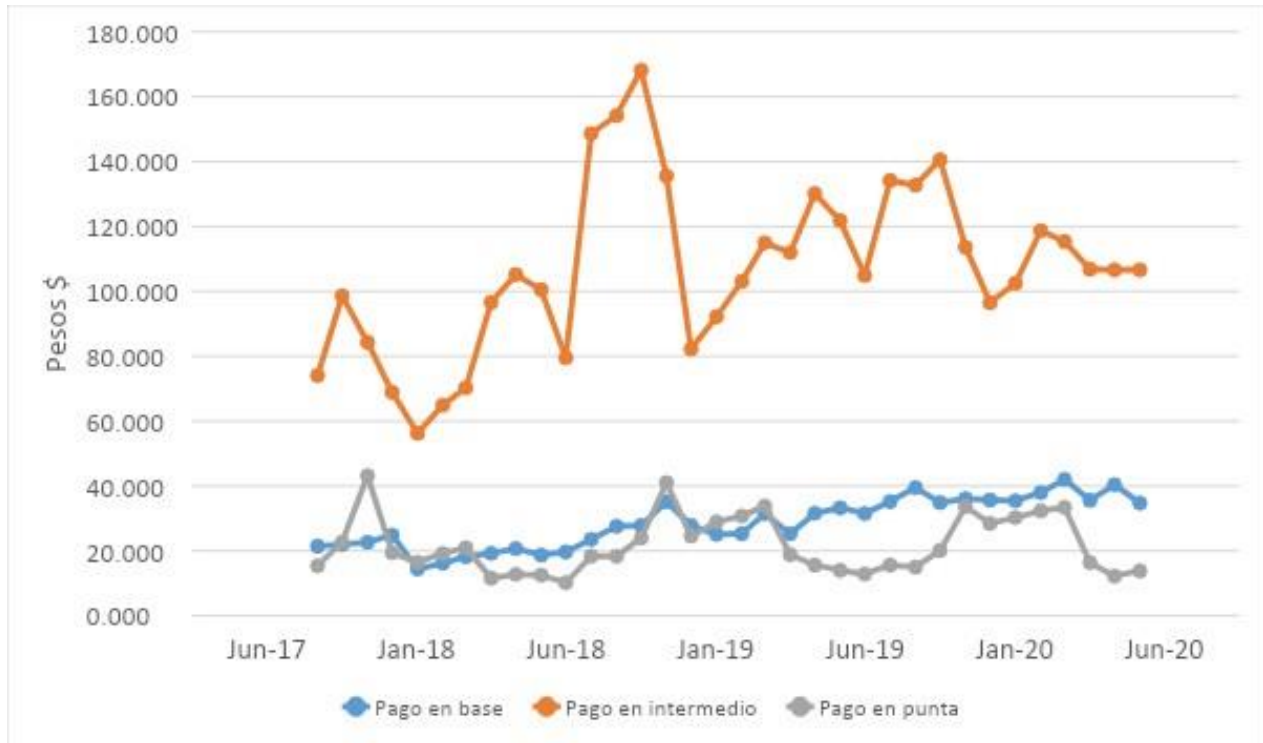
Gráfica 2.2 Consumo de Energía UACM Plantel San Lorenzo Tezonco.



Fuente. Elaboración propia, con datos de recibo de luz UACM-SLT.

Este aumento en el consumo de energía en horario base también se ha visto reflejado en el pago de la facturación pasando de pagar \$20,000 pesos en septiembre del 2017 a \$40,000 pesos en mayo del 2020. Se paga más en horario base que lo que se llega a pagar en horario punta, el pago en horario intermedio es lo que se lleva el mayor porcentaje del total de la facturación, siendo normal ya que cubre prácticamente todo el tiempo que esta la universidad en actividades escolares (gráfica 2.3).

Gráfica 2.3 Pago de Energía por banda horaria de CFE



Fuente. Elaboración propia, con datos de recibo de luz UACM-SLT.

También el plantel SLT ha tenido un ligero aumento en su consumo diario tomando en cuenta el periodo de septiembre del 2017 hasta mayo del 2020 con un promedio de 3.6 kWh/día. En el estudio titulado “Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector de servicios”¹⁵, se propone una metodología para determinar los índices de consumo eléctrico en edificios no residenciales; los índices varían según el clima, pues esto influye en el consumo. Según el estudio la Ciudad de México, entraría en la categoría de clima templado donde el índice por metro cuadrado al año para escuelas es de 40.5 kWh/m².

¹⁵ Chatellier, D., & McNeil, M ; Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector servicios; 2019, p 10.

De los metros cuadrados construidos en la UACM-SLT se tiene que el edificio de profesores cuenta con un área de 9,520.41 m², los tres edificios (A, B y C) tiene un área de 7,387.13 m² cada uno, el ágora de 1,462.48 m², un site de 163.48 m², una cisterna de 260 m², almacén de 1,000 m² y la subestación principal de 400 m², dando un total construido de 34,967.76 m². Si el promedio anual de consumo del 2016 al 2020 es de 1,284 278 kWh, se tiene como resultado un Índice de Consumo de Energía Eléctrica (ICEE) de **36.7 kWh/m²-año**, dando un valor que está por debajo del establecido en la publicación de la CONUEE. Ahora, si se aplica esta misma metodología por edificio tomando los datos del consumo de energía eléctrica medidos en noviembre del 2017, se encuentran los siguientes índices ICEE (tabla 2.9).

Tabla 2.9 Índice de Consumo de Energía Eléctrica.

	EDIF A	EDIF B	EDIF C	EDIF E y D
Consumo anual(kWh/año)	283, 272	272,129	255, 913	198, 907
m ² construidos	7, 387	7, 387	7, 387	9, 520
ICEE (kWh/m ² -año)	38	37	35	21

Fuente. Elaboración propia.

Otro indicador de consumo que se puede analizar, son los kWh/estudiante, El número de estudiantes inscritos en cada semestre de los años 2016, 2017 y 2018 proporcionados por el enlace administrativo del Plantel SLT son los siguientes:

Tabla 2.10 Matricula inscrita por semestre en plantel SLT.

Año	No. de Estudiantes
2016 - I	6,378
2016 - II	7,182
2017 - I	6,421
2017 - II	7,367
2018 - I	6,558
2018 - II	7,614

Fuente: Elaboración propia con datos de enlace administrativo UACM-SLT.

El promedio de estudiantes inscritos es de 6,920, por lo que se obtiene otro indicador de consumo que es de **185.59 kWh/estudiante al año**.

Comparando el indicador de kWh/m² de la UACM-SLT con el de una publicación de un estudio realizado en las universidades de Corea, se tiene que en aquel país el indicador está en promedio de 133 kWh/m²-año tomando en cuenta que es frecuente el uso de aire acondicionado y equipos electrónicos¹⁶ lo que representa un consumo bastante alto. Ahora comparándolo con los datos de un estudio realizado en diez edificios educativos en Argentina¹⁷ se tiene que el indicador de consumo varía entre 20 y 43 kWh/m²-año con un valor promedio de 33 kWh/m²-año, teniendo los valores más bajos las escuelas que utilizan iluminación led con un rango de 24 y 20 kWh/m², lo que muestra que el plantel SLT puede reducir su indicador de consumo con alguna propuesta de ahorro.

Por último, se consultó una publicación por parte de la UNAM donde su desglose de indicadores lo hace más específico (ver tabla 2.11)

Tabla 2.11 Indicadores de consumo

	CEC ^a	Butala et al ^b	EIA ^c	Presente estudio
TOTAL	98.56		118.36	39.2
Iluminación interior	33.36	15.96	36.58	22.80
Iluminación exterior	10.54			15.56
Equipo de oficina*	10.98		10.76	1.63
Misceláneos	2.47		1.08	0.27
Refrigeración			5.38	6.48
Enfriamiento**	14.10		23.67	4.65

Fuente: Castillo D. et al. (2011). *de comparación de indicadores de otros estudios para edificios escolares (en kwh/m2/año) INVENTARIO Y ESCENARIOS DE GASES EFECTO INVERNADERO ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.*

https://www.tucomunidad.unam.mx/galeria/4_inventario_escenarios_gases_efecto_invernadero.pdf

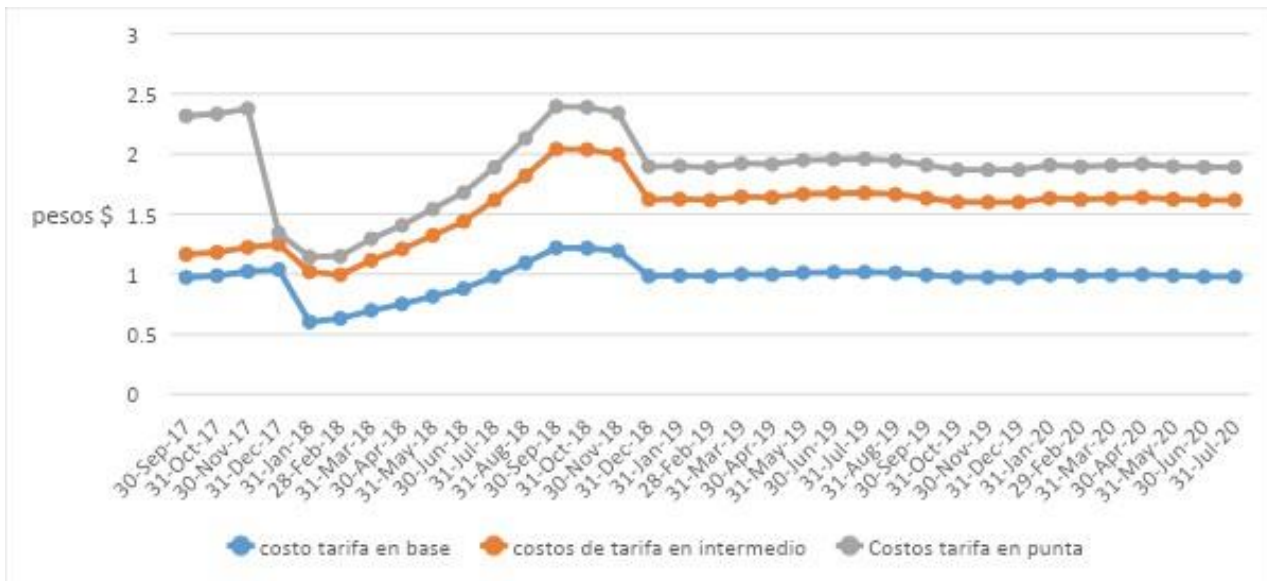
¹⁶ Tae Woo kim et al. (2019). *The study on the Energy Consumption of middle school facilities in Daegu, Korea.*
https://www.researchgate.net/publication/336960069_The_study_on_the_Energy_Consumption_of_middle_school_facilities_in_Daegu_Korea

¹⁷ Kralj M. (2018). *Energía en escuelas: consumos y potenciales ahorros.* [tesis de maestría, Universidad de buenos aires].
<https://www.ceare.org/tesis/2019/tes38.pdf>

2.6. Análisis en la evolución de los costos de la energía eléctrica

Haciendo una revisión histórica de los precios de la electricidad durante el periodo de agosto del 2018 a diciembre del 2020 a precios constantes, se observa que se ha mantenido un precio estable y que no influye de manera significativa en los aumentos del cobro en la facturación para la UACM-SLT (grafica 2.4)

Gráfica 2.4 Pesos por kW en tarifa OH y GDMTH



Fuente. Elaboración propia.

Hasta el momento de elaboración del presente trabajo de investigación, no se pudo hacer la propuesta de cambio de tarifa, pues la demanda se encuentra en un rango promedio de 180 a 240 kW, si se llegará a tener por debajo de 100 kW en un mínimo por 12 meses, se podría revalorar un cambio hacia la tarifa GDMTO y evaluar si es económicamente conveniente. Además, otro punto a tomar en cuenta es que el plantel no ha concluido su proyecto de construcción y su matrícula ha ido aumentando ligeramente por eso se tiene previsto que la demanda de energía también aumente.

2.7. Factor de Potencia en la Facturación

El factor de potencia (FP) entra dentro del análisis de la facturación y se mide en una escala de 0 a 1 donde el uno representa su valor ideal, en las facturas viene representado en porcentaje de 0 a 100%, tanto el 1 como el 100% son el valor máximo, lo que significa que toda la energía consumida por los aparatos se ha transformado en trabajo. El factor de potencia es tomado en cuenta por la compañía de luz a partir de las tarifas en media tensión, y se encuentra registrado en los recibos de la Comisión Federal de Electricidad (figura 2.7).

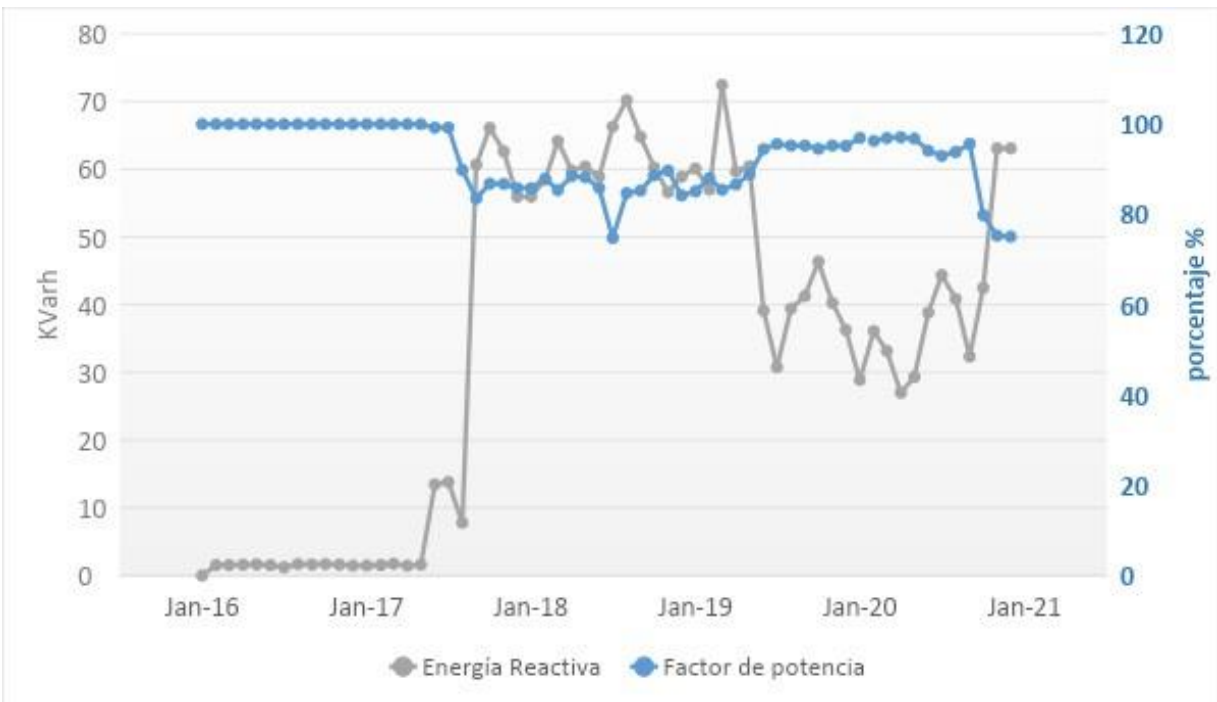
Figura 2.7 Ubicación del FP en recibo de luz de la Tarifa GDMTH

				TOTAL A PAGAR: \$275,928 (DOSCIENTOS SETENTA Y CINCO MIL NOVECIENTOS VEINTIOCHO PESOS 00/100 M.N.)
NO. DE SERVICIO :		PERIODO FACTURADO: 30 ABR 20 - 31 MAY 20		
RMU :				
TARIFA: GDMTH	NO. MEDIDOR:	MULTIPLICADOR: 1200	FECHA LÍMITE DE PAGO: 15 JUN 2020	
CARGA CONECTADA kW: [REDACTED]		DEMANDA CONTRATADA kW: [REDACTED]	CORTE A PARTIR: 16 JUN 2020	
Consumo		Precio (MXN)	Subtotal (MXN)	
Concepto	Medida ● Estimada ●			
kWh base		40,883		
kWh intermedia		65,671		
kWh punta		6,449		
kW base		173		
kW intermedia		184		
kW punta		197		
kWMaxAñoMovil		197		
kVArh		20,305		
Factor de potencia %		96.80		
Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista				Desglose del importe a pagar
Concepto	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (MXN)
Suministro	697	0	0	697
Distribución	0	13007.91	0	13007.91
Transmisión	0	0	18973.21	18973.21
CENACE	0	0	904.02	904.02
Generación B	0	0	33004.85	33004.85
Generación I	0	0	94677.88	94677.88
Generación P	0	0	11058.1	11058.1
Capacidad	0	69273.08	0	69273.08
SCnMEM(?)	0	0	632.81	632.81
Total	697.00	82,280.99	159,250.87	242,228.86
Concepto	Importe (MXN)			
Cargo Fijo(?)	697.00			
Energía	241,531.86			
Bonificación Factor de Potencia(?)	4,360.12-			
Subtotal	237,868.74			
IVA 16%	38,058.99			
Facturación del Periodo	275,927.73			
Adeudo Anterior	274,872.83			
Su Pago	274,872.00-			
Total	\$275,928.56			

Fuente. Elaboración Propia.

Haciendo un análisis del factor de potencia en la facturación del plantel SLT se encontró que en junio del 2017 se tenía un FP de 99% y en agosto del mismo año bajo a 89.8% por una falla en el suministro de energía subterránea de CFE que alimentaba la energía eléctrica en el plantel, la cual se resolvió cambiando la alimentación a una línea aérea cercana. Desde agosto hasta mayo del 2019 el FP estuvo por debajo del 90% acumulando durante este periodo cerca de \$131,000 pesos por penalizaciones. Y para septiembre, octubre y noviembre del 2020 volvió a estar por debajo del 90% (Gráfica 2.5).

Gráfica 2.5 FP y Energía reactiva UACM-SLT



Fuente. Elaboración propia, con datos de recibos de luz.

Capítulo III. Análisis de resultados de los principales parámetros eléctricos en la subestación de la UACM-SLT.

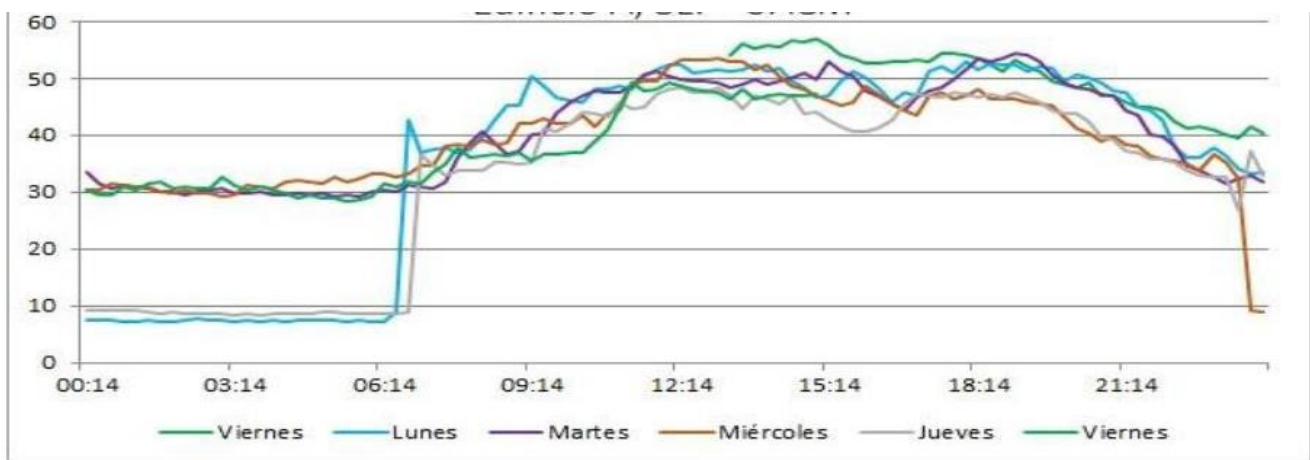
3.1. Demanda y consumo de energía eléctrica

La demanda eléctrica es la intensidad de corriente que absorbe una carga en un instante y el consumo eléctrico se define como la energía demandada en un periodo de tiempo.

En el diagnóstico energético realizado en el plantel SLT¹⁸ se midieron varios parámetros eléctricos con equipo especializado durante una semana en los Edificios A, B, C y de Profesores, las mediciones se llevaron a cabo en los meses de septiembre a noviembre del 2018.

En el diagnóstico del Edificio A se observó una demanda en un rango de 40 a 47 kW. En la gráfica 3.1 se observa que la demanda eléctrica aumenta después de las seis de la mañana y baja después de las diez de la noche lo que se interpreta como normal pues el aumento se manifiesta en horario laboral, el comportamiento es similar de lunes a viernes, solo la madrugada del lunes es más baja que en los demás días posiblemente porque entre semana se quedan aparatos conectados y el fin de semana no.

Gráfica 3.1 Demanda Eléctrica (kW) en edificio A entre semana, UACM-SLT.

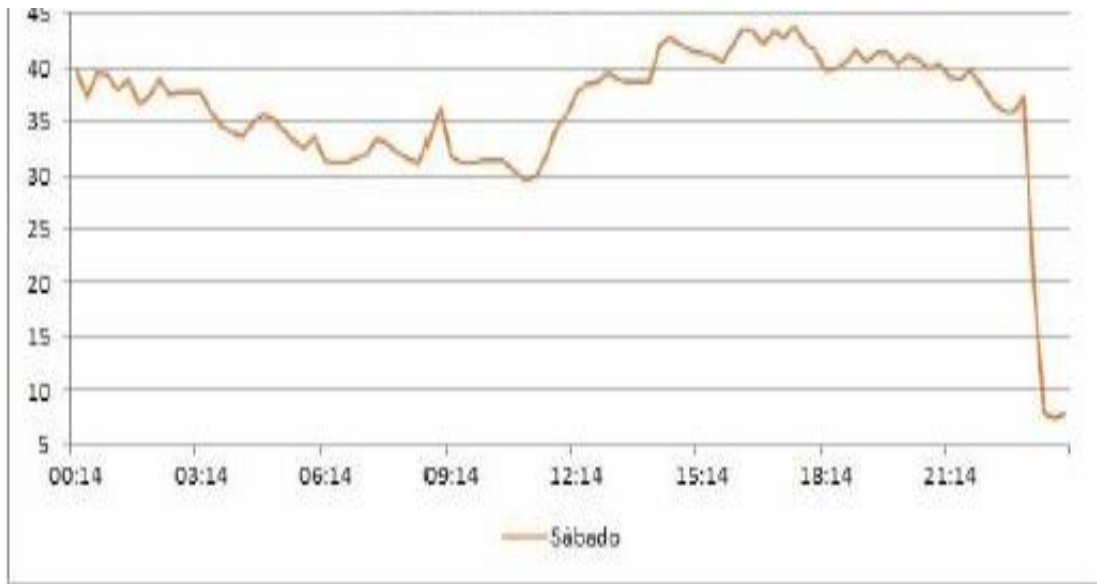


Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica entre semana, Edificio A, González Cervantes, (2019).

¹⁸ Op. Cit. (González, 2019)

El sábado se observa un valor de demanda similar a cualquier día entre semana con un rango entre los 35 kW a los 45 kW disminuyendo la demanda después de las 21:00 hrs (ver grafica 3.2).

Gráfica 3.2 Demanda Eléctrica (kW) en edificio A en sábado, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica en sábado, Edificio A, González Cervantes, (2019).

El domingo baja significativamente la demanda a un rango entre 7 a 8 kW como se puede observar en la (gráfica 3.3).

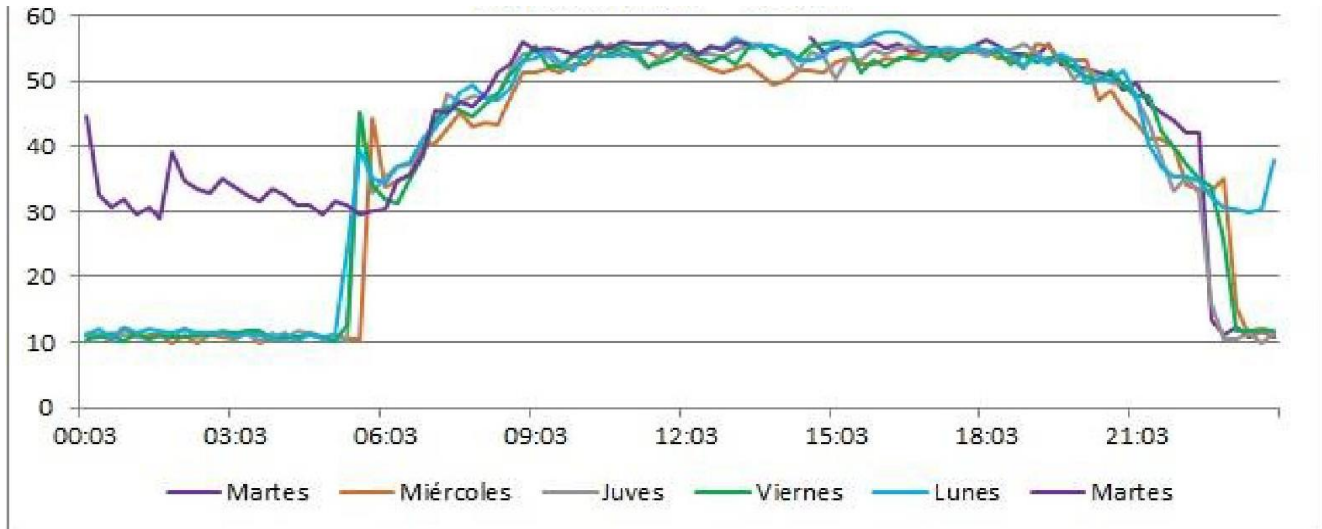
Gráfica 3.3 Demanda Eléctrica (kW) en edificio A en domingo, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica en domingo, Edificio A, González Cervantes, (2019).

En el Edificio B la demanda llega a un pico más alto que en el edificio A, en un rango de 30 a 57 kW (gráfica 3.4). Aumenta antes de las 6:00 am y baja después de las 21:00 hrs.

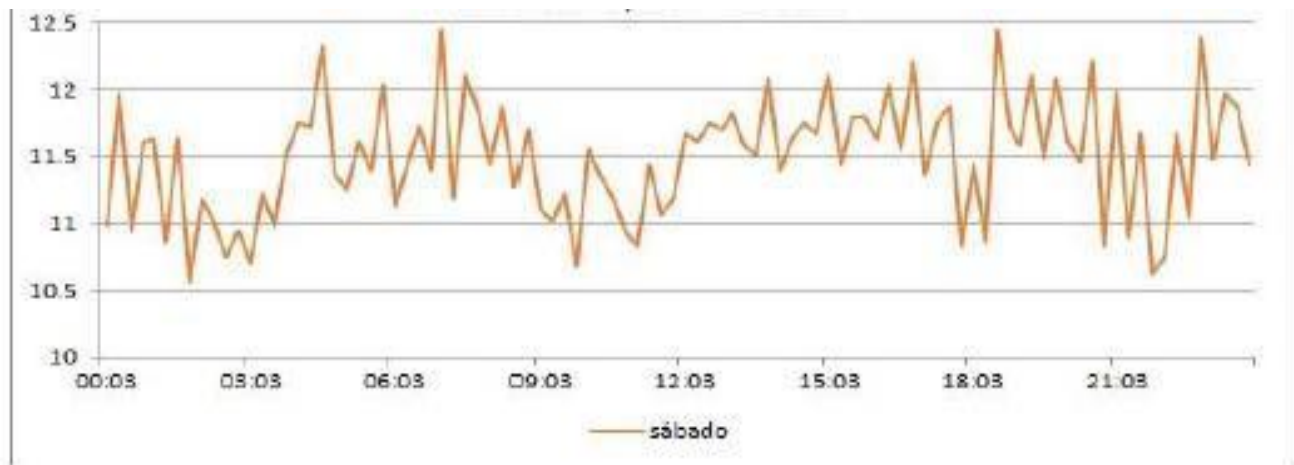
Gráfica 3.4 Demanda Eléctrica (kW) en edificio B entre semana, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica entre semana, Edificio B, González Cervantes, (2019).

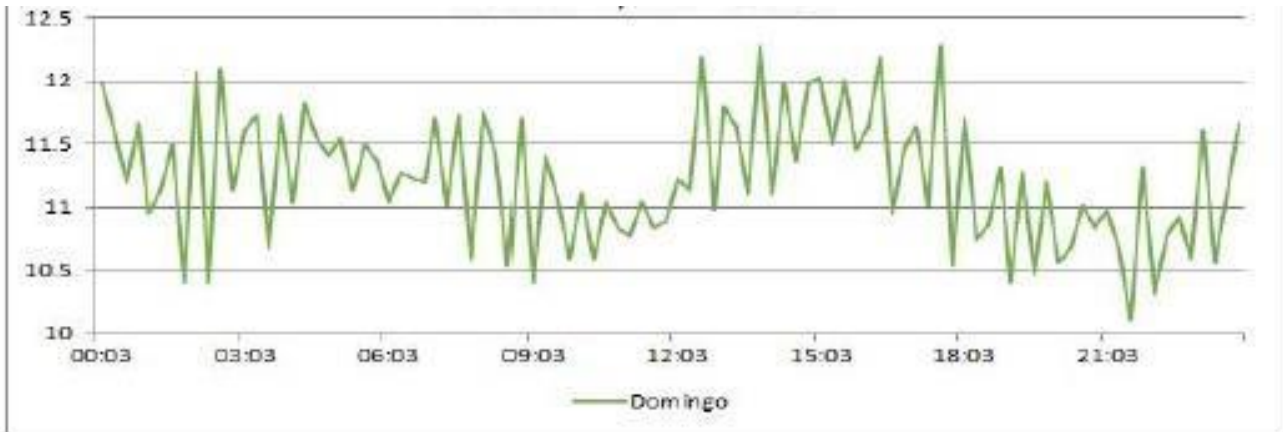
La actividad del sábado y domingo baja significativamente en un rango entre 10 a 12.5 kW como se aprecia en las gráficas 3.5 y 3.6.

Gráfica 3.5 Demanda Eléctrica (kW) en edificio B en sábado, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica en sábado, Edificio B, González Cervantes, (2019).

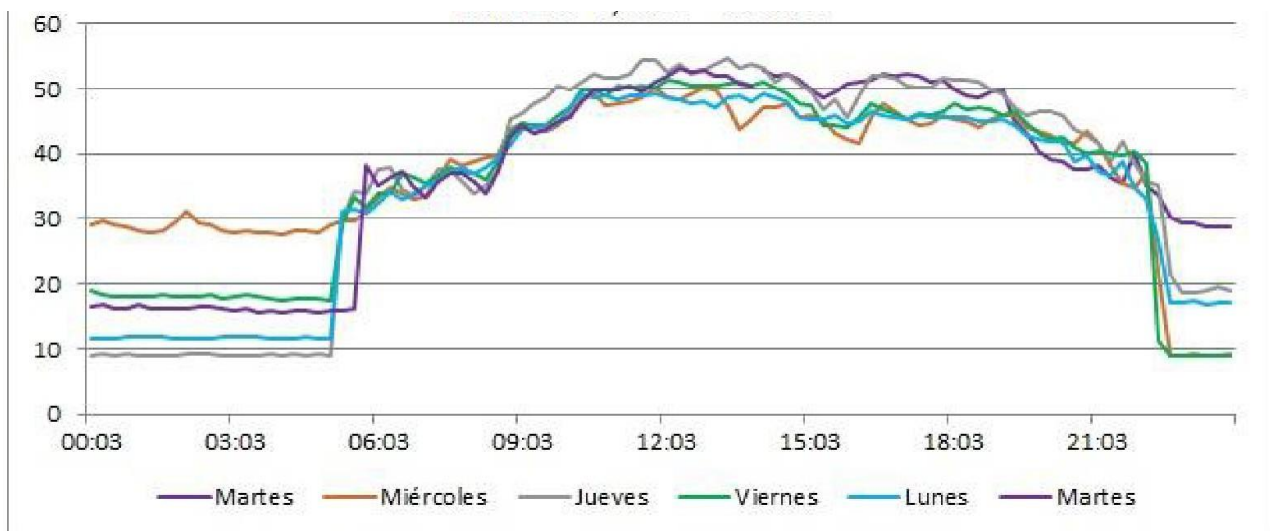
Gráfica 3.6 Demanda Eléctrica (kW) en edificio B en domingo, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica en domingo, Edificio B, González Cervantes, (2019).

En el edificio C la demanda eléctrica está en un rango de 32 a 54 kW. El aumento durante el día es más paulatino que los anteriores, posiblemente varias actividades en este edificio empiezan mas tarde que los edificios A y B (ver grafica 3.7).

Gráfica 3.7 Demanda Eléctrica (kW) en edificio C entre semana, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica entre semana, Edificio C, González Cervantes, (2019).

La demanda en sábado es más baja que entre semana, pero aun así sigue siendo significativa con un rango de 8 a 40 kW entre 9:00 am y 21:00 hrs (ver gráfica 3.8).

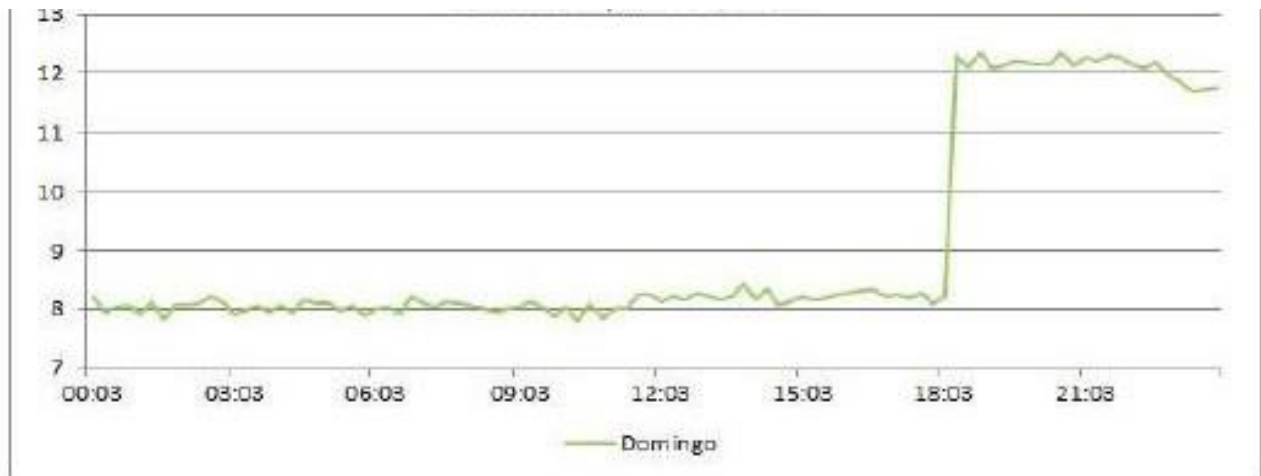
Gráfica 3.8 Demanda Eléctrica (kW) en edificio C en sábado, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica en sábado, Edificio C, González Cervantes, (2019).

El domingo la demanda es baja manteniéndose la mayor parte del día en 8 kW.

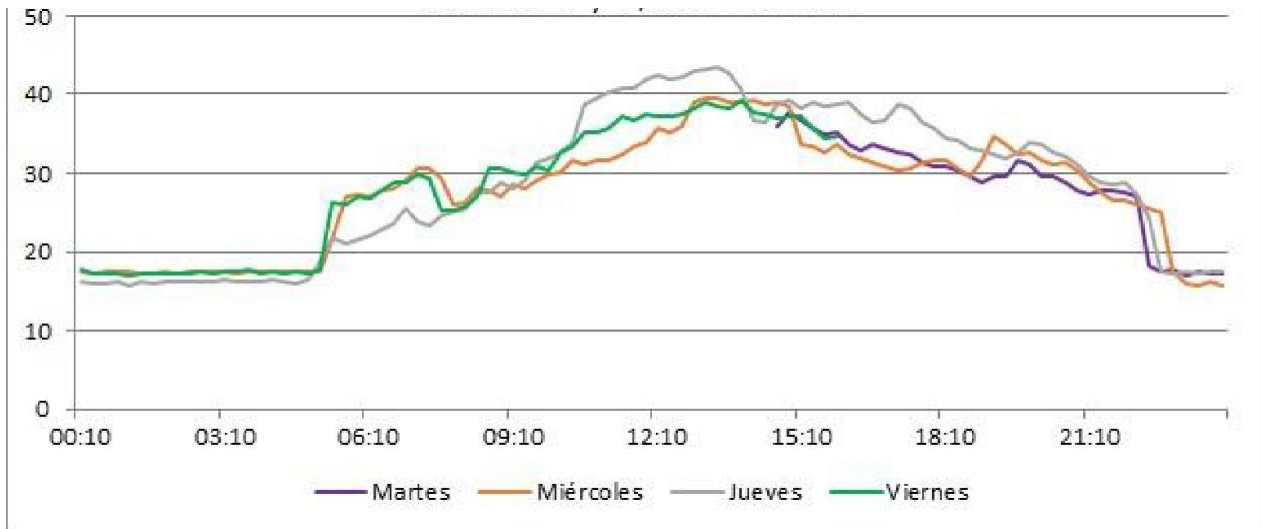
Gráfica 3.9 Demanda Eléctrica (kW) en edificio C en domingo, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica en domingo, Edificio C, González Cervantes, (2019).

En los Edificios D y E la demanda es menor comparada con los otros tres edificios, con un rango de 23 a 43 kW, el aumento empieza antes de las 6 am y disminuye antes de las tres de la tarde, a partir de esa hora la demanda baja paulatinamente.

Grafica 3.10 Demanda Eléctrica (kW) en edificio D y E entre semana, UACM-SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la Demanda eléctrica entre semana, Edificio D y E, González Cervantes, (2019).

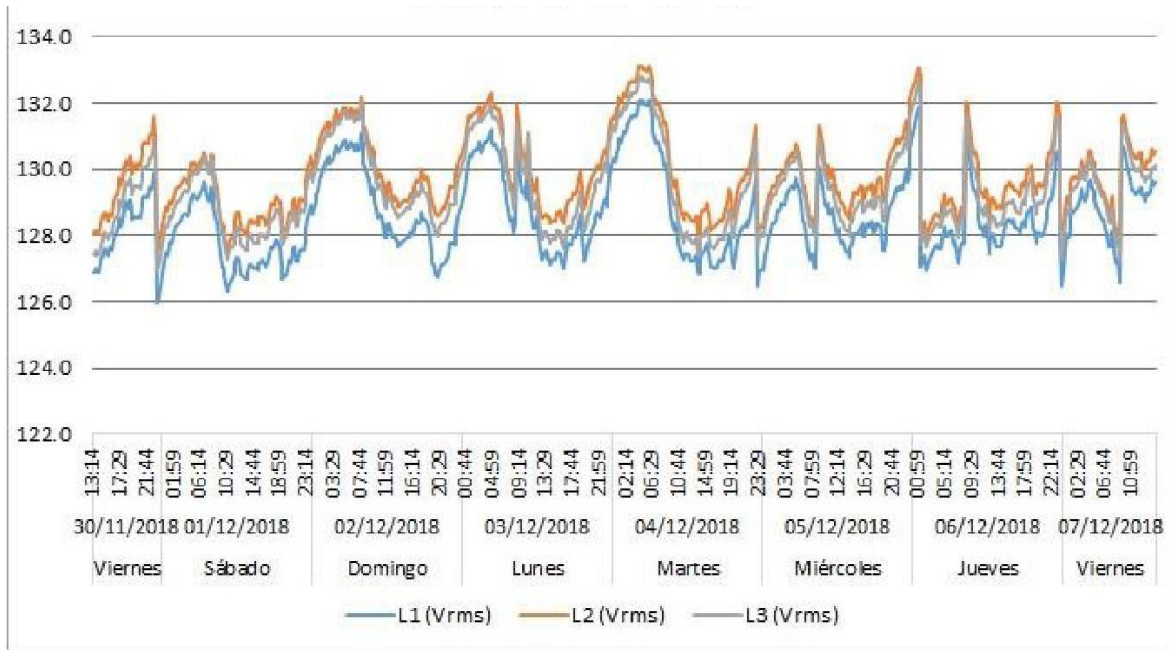
3.1.1 Voltaje en Plantel SLT

El comportamiento del voltaje en el Plantel SLT se considera satisfactorio, ya que la variación se mantiene entre los 126 y 133 V, el voltaje nominal debe ser de 127 V, la tolerancia respecto al valor de 127 V es 139.7 V a 114.3 V debido a que se permite un margen de $\pm 10\%$ en la tensión de alimentación según la Ley del servicio público de energía eléctrica. En la mayoría de los edificios se tiene este intervalo con variaciones de las fases respecto al voltaje nominal menores del 5% de desbalance que es lo recomendado por la NOM-01-SEDE 1999¹⁹. El desbalance de tensión puede afectar a la maquinaria rotatoria con sobrecalentamiento y aumento de la vibración del equipo por esto es importante hacer el análisis de desbalance de tensión y corriente.

En la gráfica 3.11 se observa la variación del voltaje en el edificio A, por lo regular el voltaje aumenta pasando de las 22:00 hrs hasta las 6:00 am, después de las seis empieza a bajar. Este comportamiento se entiende por qué al empezar la actividad escolar aumenta el flujo de corriente por el uso de aparatos eléctricos y es cuando disminuye el voltaje, los días miércoles, jueves y viernes el voltaje se mantuvo por más tiempo con valores bajos.

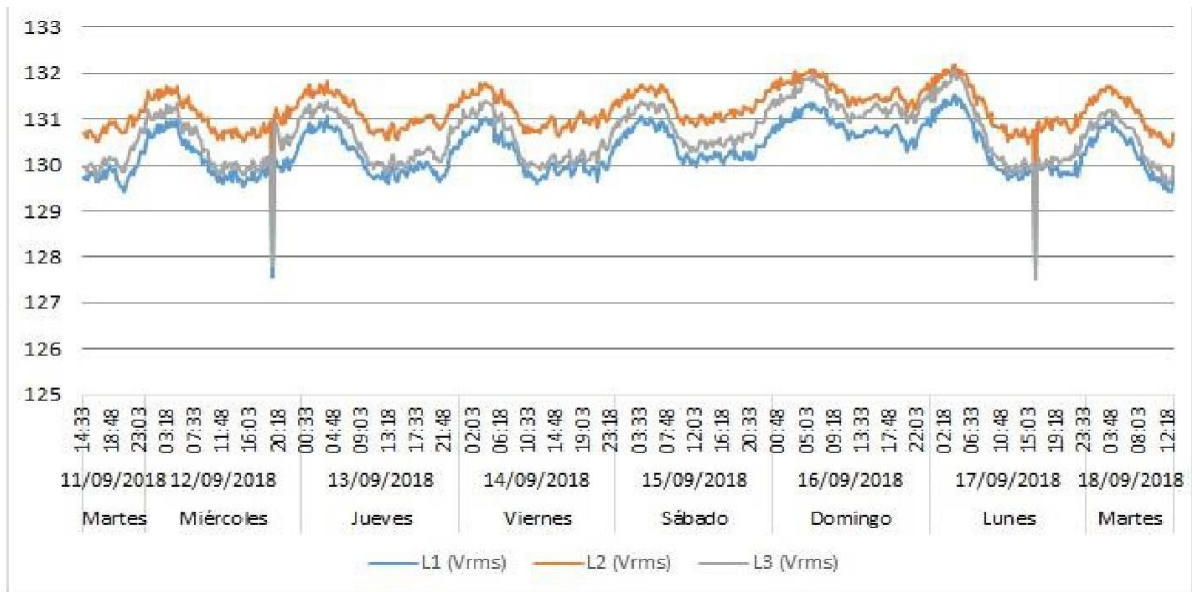
¹⁹ Reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica, 2012.

Grafica 3.11 Tensión (Volt) por fases edificio A, SLT.



Fuente: Elaborado de Medición de la tensión entre fase y neutro, Edificio A, González Cervantes, (2019).

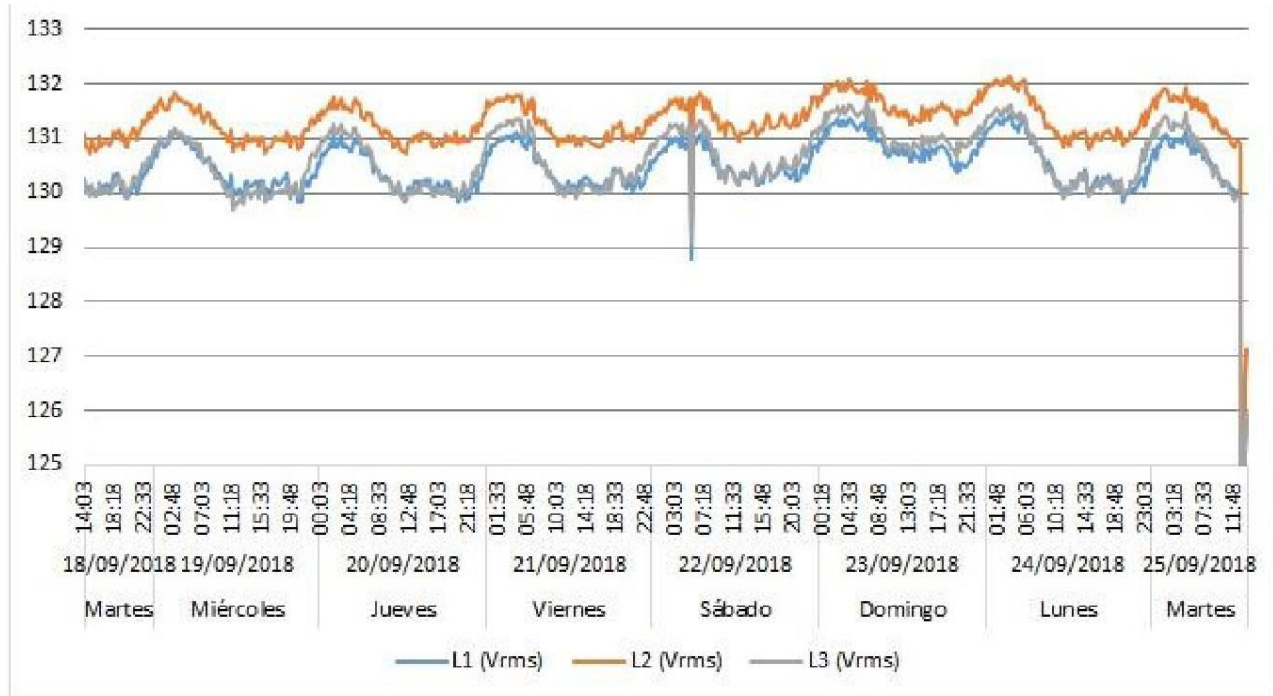
Grafica 3.12 Tensión (Volt) por fases edificio B, SLT.



Fuente: Elaborado de Medición de la tensión entre fase y neutro, Edificio B, González Cervantes, (2019).

Tanto en el edificio B como en el edificio C el comportamiento del voltaje es similar todos los días (ver graficas 3.12 y 3.13). En ambos edificios se presentan valores dentro de los parámetros normales.

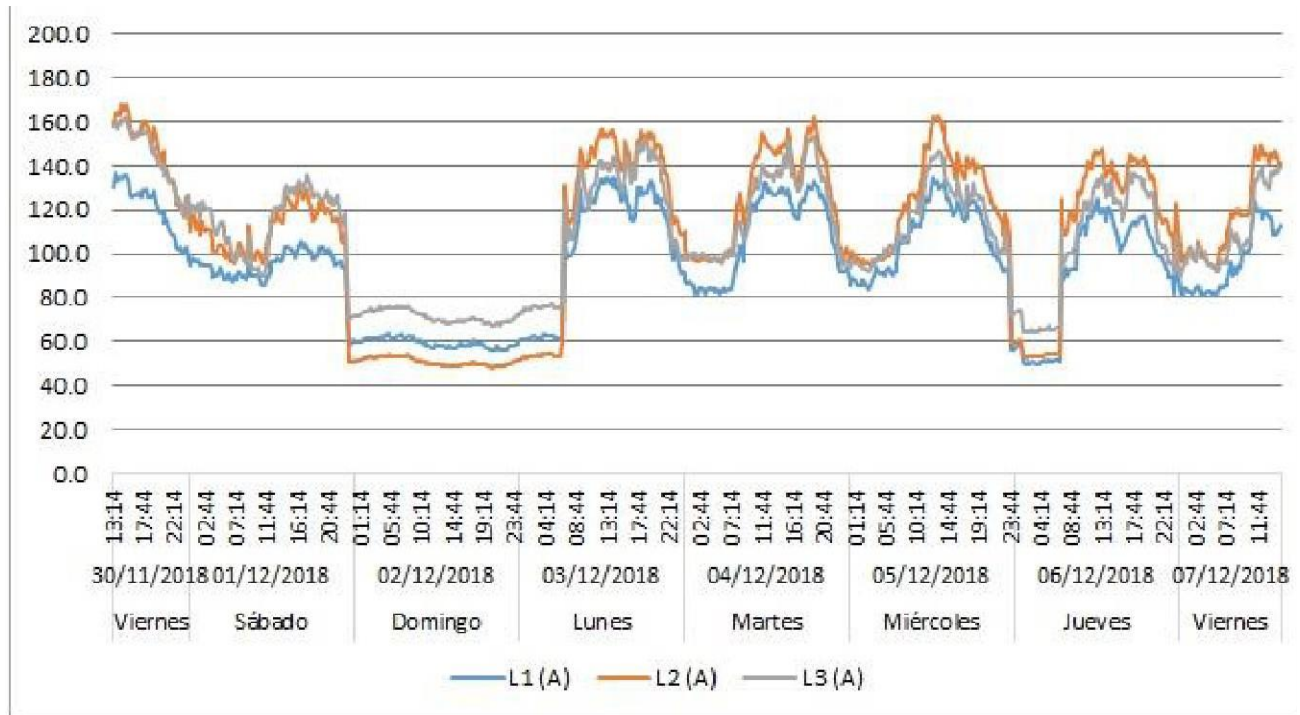
Grafica 3.13 Tensión (Volt) por fases edificio C, SLT.



Fuente: Elaborado de Medición de la tensión entre fase y neutro, Edificio C, González Cervantes, (2019).

En los edificios de profesores se presenta un comportamiento diferente en el voltaje como se muestra en la gráfica 3.14, el horario de actividades es diferente. Se observa como baja el voltaje antes de las 7 am cuando los profesores llegan a sus cubículos y empiezan a encender lámparas y computadoras, en poco tiempo aumenta el voltaje, cuando los profesores se van a impartir clase y desocupan sus cubículos, conforme va aumentando la actividad en este edificio va bajando el voltaje y se mantiene bajo hasta aproximadamente las 14 hrs, después de esa hora el voltaje va aumentando gradualmente.

Gráfica 3.15 Corriente (Ampers) por fase Edificio A, SLT.



Fuente: Elaborado de Medición de la corriente entre fase y neutro, Edificio A, González Cervantes, (2019).

En sábado subieron los valores a partir de mediodía y empezó a bajar aproximadamente a las 20:00 hrs, el domingo tuvo valores muy bajos y entre semana presentó comportamiento similar todos los días, subiendo el valor de la corriente a partir de las 7:00 am y bajando aproximadamente a las 22:00 hrs.

Para el análisis de los valores obtenidos en las gráficas se consultó el documento CFE L000045²⁰ que establece los límites de desbalance de corriente en el punto de acometida para baja, media y alta tensión como se muestra en la tabla 3.1.

²⁰ CFE L000045, 2005, Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida

Tabla 3.1 Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida

Impedancia relativa (I_{cc} / I_L)	Desbalance %		
	Menor a 1 kV	De 1 kV a 35 kV	Mayor a 35 kV
$(I_{cc} / I_L) < 20$	5	2,5	2,5
$20 \leq (I_{cc} / I_L) < 50$	8	4	3
$50 \leq (I_{cc} / I_L) < 100$	12	6	3,75
$100 \leq (I_{cc} / I_L) < 1000$	15	7,5	4
$(I_{cc} / I_L) \geq 1000$	20	10	5

Fuente. Elaborado de Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida, CFE, (2005).

Los valores máximos, mínimos y promedio del edificio A, se muestran en la tabla 3.2 donde se observan con valores altos la línea L2 y la línea L3.

Tabla 3.2 Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio A.

Fase	L1	L2	L3	Neutro
Máximo	136.9	167.7	162.8	0.3
Mínimo	49.5	48.3	64.2	0.2
Promedio	95.6	109.3	109.1	0.2

Fuente. Elaborado de Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio A, González Cervantes, (2019).

Con los valores de la tabla 3.2, se obtuvo el porcentaje de desbalance de corriente mostrado en la tabla 3.3 en donde se observa que hay un porcentaje de desbalance en las líneas L2 y L3 del edificio A.

Tabla 3.3 Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio A.

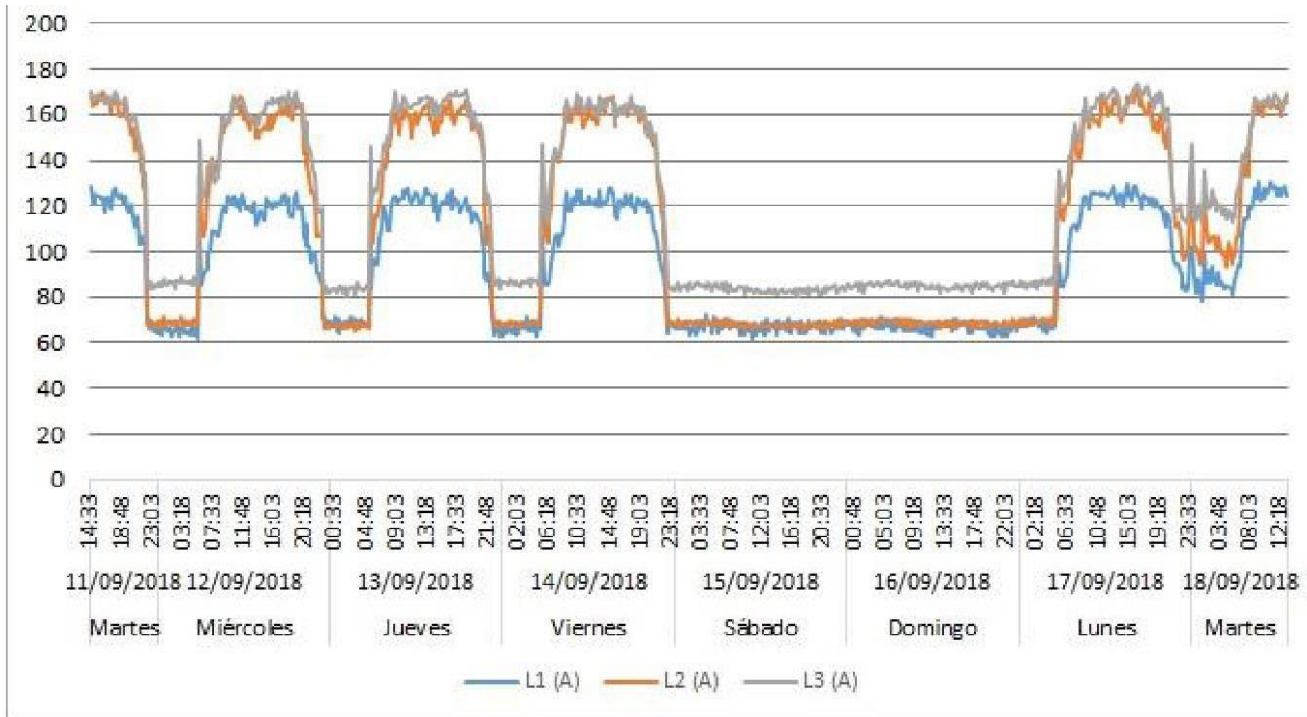
Fase	L1	L2	L3
Máximo	0	7.64	4.5
Mínimo	0	0	18.8
Promedio	0	4.4	4.2

Fuente. Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio A, González Cervantes, (2019).

Comparando los porcentajes de la tabla 3.3 con los límites establecidos por CFE en la tabla 3.1 se observa que el parámetro establecido es de 4% en media tensión y las líneas L2 y L3 tienen 4.4% y 4.2% por lo tanto existe un desbalance de corriente que hay que corregir.

Analizando el edificio B, se puede observar en la gráfica 3.16 que existe una diferencia muy notoria entre los valores de corriente de las líneas L2 y L3 respecto a la línea L1, las dos primeras presentan picos por arriba de los 160 A, el comportamiento de lunes a viernes es similar al del edificio A, el sábado y el domingo se presentaron valores bajos de la corriente.

Gráfica 3.16 Corriente (Amper) por fase Edificio B, SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la corriente entre fase y neutro, Edificio B, González Cervantes, (2019).

Como se había mencionado anteriormente y se puede corroborar en la tabla 3.4, las líneas L2 y L3 presentan valores máximos por arriba de los 160 A, valores muy alejados comparándolos con L1.

Tabla 3.4 Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio B.

Fase	L1	L2	L3	Neutro
Máximo	130.8	172.6	173.1	5.6
Mínimo	61.8	65.2	80.4	0.5
Promedio	92.5	111.7	122.4	1.1

Fuente. Elaborado de Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio B. González Cervantes, (2019).

En la tabla 3.5 se ve que existe desbalance de corriente en la línea L3 con un porcentaje de 12.4%, lo que representa un porcentaje muy alto al valor límite establecido.

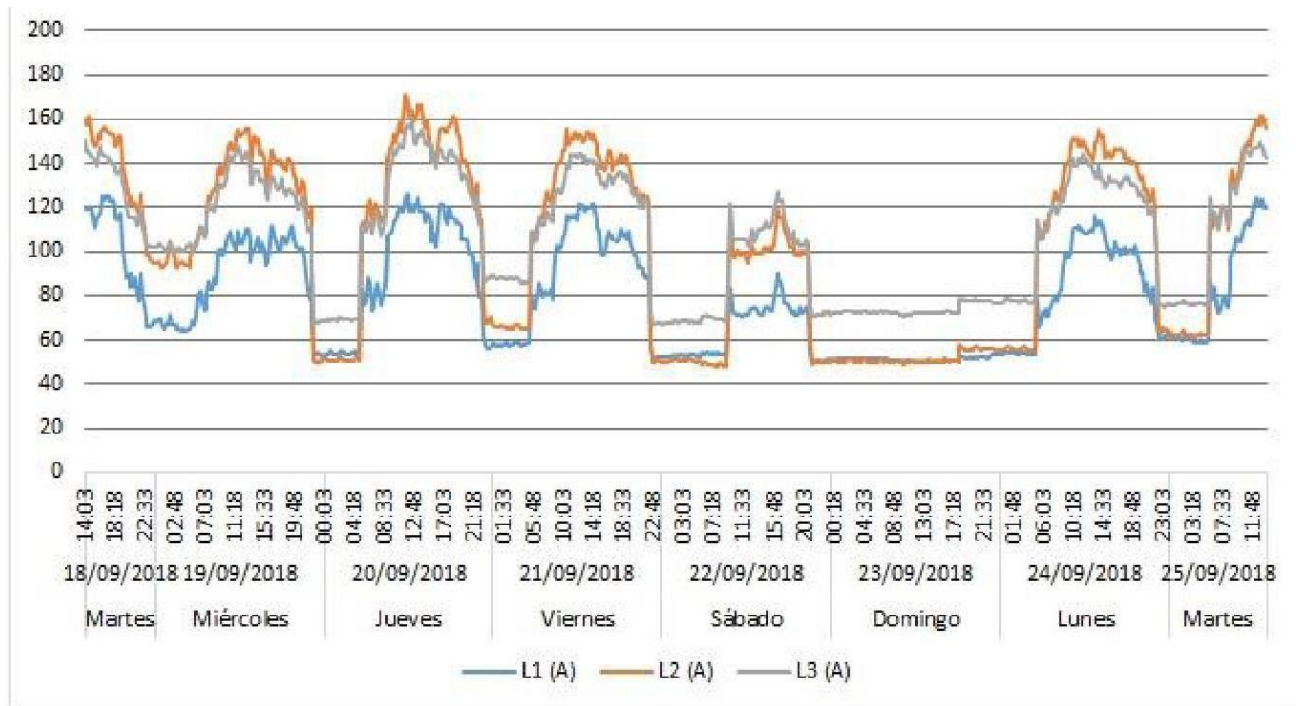
Tabla 3.5 Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio B

Fase	L1	L2	L3
Máximo	0	8.7	9
Mínimo	0	0	16.5
Promedio	0	2.6	12.4

Fuente. Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio B. González Cervantes, (2019).

Las mediciones en el edificio C presentan un comportamiento similar con el valor de la corriente aumentando a partir de las 6:00 am y bajando después de las 19:00 o 20:00 hrs. Las líneas L2 y L3 presentan valores cercanos entre ellas, por el contrario, la línea L1 presenta valores más alejados a las dos anteriores. El sábado se presentó actividad considerable y en domingo los valores bajan significativamente (ver grafica 3.17).

Gráfica 3.17 Corriente (Amper) por fase Edificio C, SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la corriente entre fase y neutro, Edificio C, González Cervantes, (2019).

Los valores máximos, mínimos y promedios de la corriente se muestran en la tabla 3.6, donde de igual manera que los edificios anteriores los valores de la L2 y L3 son similares en tanto que el valor de la línea L1 es más pequeño.

Tabla 3.6 Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio C.

Fase	L1	L2	L3	Neutro
Máximo	125.8	171.2	159	15.6
Mínimo	49.5	48.1	66.9	1.9
Promedio	79.3	101.7	106.2	4.9

Fuente. Elaborado de Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio C. González Cervantes, (2019).

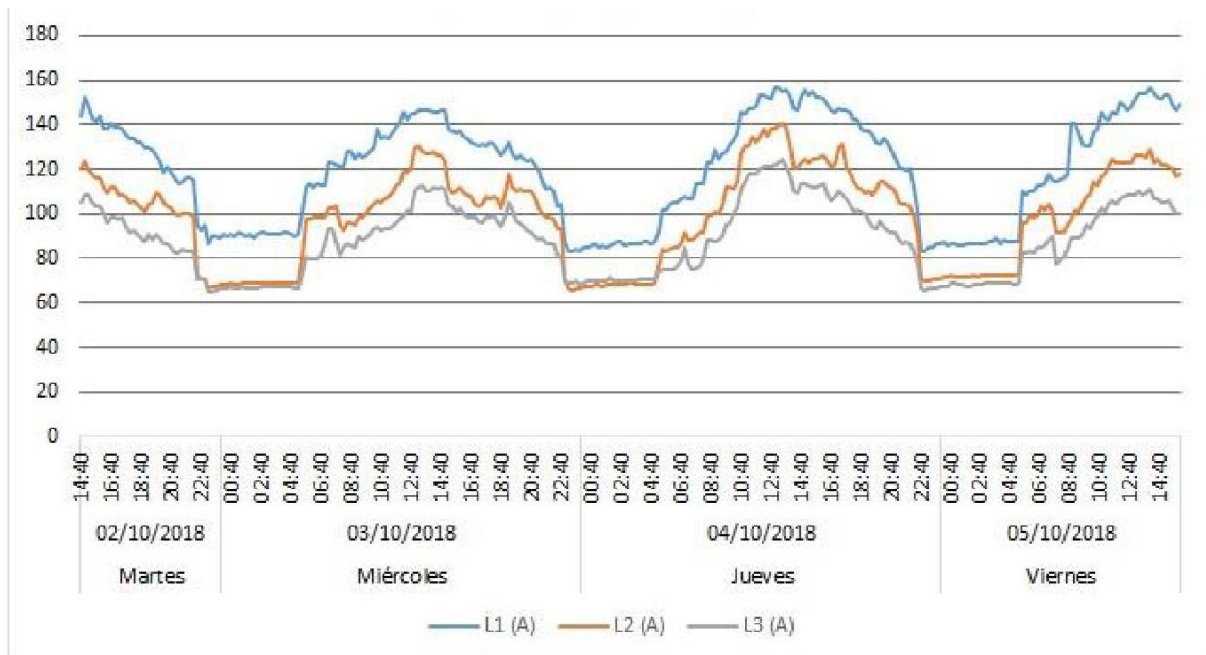
Tabla 3.7 Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio C

Fase	L1	L2	L3
Máximo	0	12.6	4.6
Mínimo	0	0	22.1
Promedio	0	6.3	11

Fuente. Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio C. González Cervantes, (2019).

Los valores de la corriente en los edificios D y E presentan un comportamiento diferente al de los edificios anteriores, en esta medición solo se obtuvieron los valores de cuatro días (ver grafica 3.18)

Gráfica 3.18 Corriente (Amper) por fase Edificio D y E, SLT.



Fuente. Elaborado de Medición de la corriente entre fase y neutro, Edificio D y E, González Cervantes, (2019).

En la tabla 3.9 se observa que el valor promedio más alto de la corriente se presenta en la línea L1

Tabla 3.8 Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificio D y E.

Fase	L1	L2	L3	Neutro
Máximo	156.8	140.9	124.5	20.2
Mínimo	83	65.6	64.5	1.4
Promedio	120.1	99.1	88.7	4.9

Fuente. Elaborado de Valores de corriente Fase-Neutro (Amper), Edificios D y E, González Cervantes, (2019).

Por lo tanto, el porcentaje de desbalance se presenta con un valor muy alto en la línea L1, con un valor promedio muy por encima del límite establecido (ver tabla 3.9).

Tabla 3.9 Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio D y E

Fase	L1	L2	L3
Máximo	11.4	0.1	0
Mínimo	16.9	0	0
Promedio	17	0	0

Fuente. Desbalanceo total de Corriente (%), Edificio C. González Cervantes, (2019).

En conclusión, se tiene a todos los edificios con desbalance de corriente siendo un problema que se tiene que atender.

3.2. Factor de potencia

La definición del factor de potencia (FP) es equivalente a la relación de la potencia activa P (con unidades en kW) entre la potencia aparente S (con unidades en kVA) y también es equivalente al $\cos\alpha$ que representa el rendimiento eléctrico de una instalación (ec.3.1).

$$FP = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia aparente}} = \frac{[W]}{[VA]} = \cos \alpha \quad (\text{ec. 3.1})$$

3.2.1 Triángulo de potencia eléctrica

La potencia eléctrica se define como la cantidad de energía eléctrica que pasa por un circuito en un determinado tiempo (Wikipedia, 2020)²¹, es equivalente al producto del voltaje aplicado por la corriente resultante (ec.3.2).

$$P = VI \quad (\text{ec.3.2})$$

Donde:

P = Potencia [VA]

V = Voltaje [V]

I = Amper [A]

Existen tres tipos de potencia en un circuito eléctrico de corriente alterna: Potencia Activa, Potencia Reactiva y la Potencia Aparente (Figura 3.1).

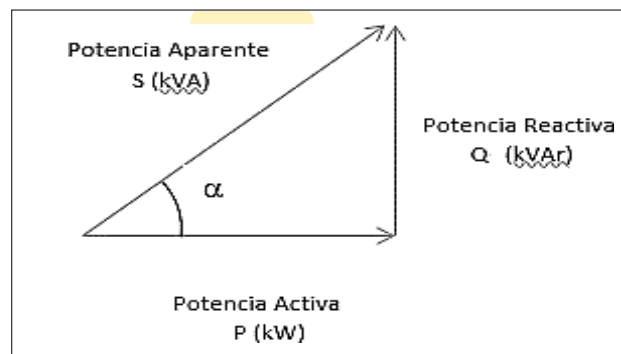


Figura 3.1 Triángulo de potencias eléctricas

Fuente. Adaptado de *Triángulo de potencias eléctricas*, Jael Méndez Serrano, 2004, Corrector de factor de potencia reductor elevador monofásico.

²¹ Wikipedia; 2022;

https://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_el%C3%A9ctrica#:~:text=La%20potencia%20el%C3%A9ctrica%20es%20la,elemento%20en%20un%20momento%20determinado.

3.2.2 Potencia Activa

Se le llama potencia activa a la energía eléctrica que es convertida por los aparatos en: trabajo mecánico (motores), en calor (aire acondicionado), o luz (lámparas). Los equipos que solo consumen esta energía (energía activa) se llaman resistivos. Las unidades de medida de esta potencia son kilowatts (kW), se simboliza con la letra (P) y está determinada por la siguiente (ec. 3.3).

$$P = VI \cos\alpha \quad (\text{ec. 3.3})$$

3.2.3 Potencia Reactiva

Es el flujo de energía (energía reactiva) que no produce por sí mismo ningún trabajo útil, sólo aparece cuando existen aparatos con embobinado (elementos reactivos) debido a que requieren la energía para alimentar sus campos magnéticos y eléctricos, los elementos reactivos pueden ser de tipo:

- Inductivo Q_L (equipos con embobinado), atrasan la corriente respecto al voltaje.
- Capacitivos Q_C (capacitores). Adelantan la corriente con respecto al voltaje.

La energía reactiva tiene unidades en volt-Amper reactivos (VAr) y se simboliza con la (Q) (Fig. 3.2).

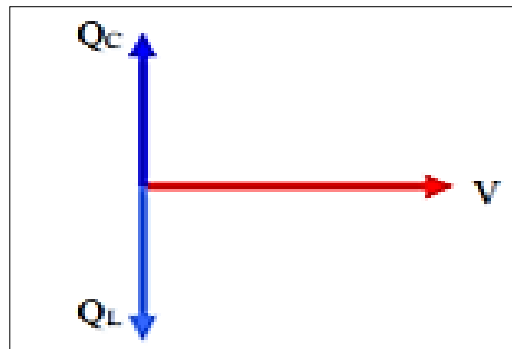


Figura 3.2 Potencia reactiva en adelanto (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión

Fuente. Adaptado de *Potencia reactiva en adelanto (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión*, Enrique Gómez Morales, 2009, *Compensación de Potencia Reactiva*.

Además de que, la potencia reactiva se determina con la ecuación (3.4).

$$Q = VI \sen\alpha \quad (\text{ec.3.4})$$

3.2.4 Potencia aparente

Esta potencia es la suma geométrica de la potencia activa con la potencia reactiva. Es decir, satisface la energía consumida por los elementos resistivos, como también la de los elementos reactivos en caso de que haya en la instalación. Se simboliza con la letra (S) y sus unidades se expresan en volt-amper (VA) (Fig. 3.3).

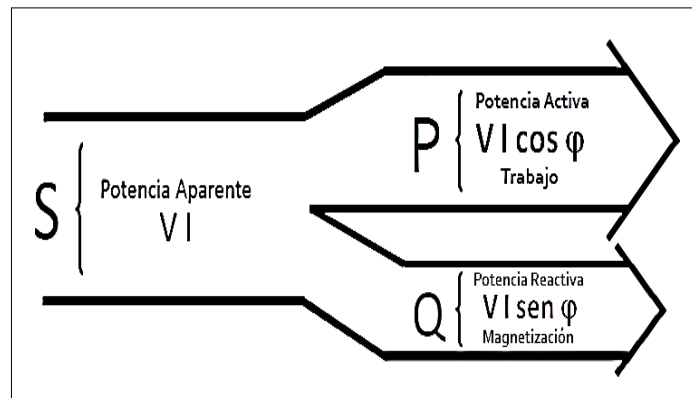


Figura 3.3 Representación del flujo de potencias eléctricas

Fuente. Adaptado de Chávez, C. (2018). *Fundamentos para el ahorro de energía eléctrica*.

Se determina con la siguiente ecuación (3.5).

$$S = VI = P + jQ \quad (\text{ec. 3.5})$$

Donde:

S = Potencia aparente [VA]

V = Voltaje [V]

I = Corriente [A]

P = Potencia resistiva [VA]

Q = Potencia reactiva[VAR]

3.3. Bajo Factor de Potencia.

Normalmente la presencia de carga reactiva inductiva en equipos electromagnéticos, produce un retraso de la corriente 90° con respecto de la tensión debido a que parte de la energía se va almacenando en los embobinados, durante parte del ciclo de la corriente alterna, la tensión y corriente tienen distintos signos es decir cambian de dirección, lo positivo circula de la fuente de energía a la carga (consumo) y lo negativo en sentido contrario, de la carga a la fuente (energía reactiva), la energía que va de la carga a la fuente es la que causa mala calidad de la energía en la red eléctrica y desaprovechamiento de la energía consumida (Figura 3.4).

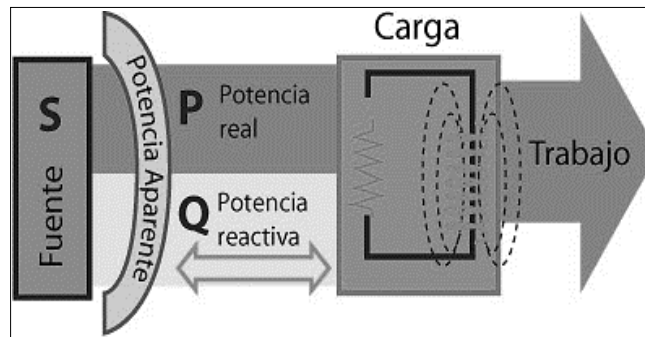


Figura 3.4 Flujo de potencia aparente, activa y reactiva
Fuente. De Telésforo Trujillo Sotelo, 2013, Energy Management. Cargas en una
Instalación eléctrica.

Algunas de las cargas que consumen energía reactiva inductiva provocan un bajo factor de potencia. En la tabla 3.1 se encuentra el factor de potencia que comúnmente tienen algunas cargas, como las lámparas fluorescentes y de descarga que tienen un fp muy bajo.

3.3.1 Consecuencias del bajo factor de potencia

Cuando el factor de potencia en una instalación eléctrica es menor a 1.0, conforme va disminuyendo, también va afectando la calidad de la energía de la red en alta y media tensión, además los materiales y equipos eléctricos se ven perjudicados.

Tabla 3.1 Factor de potencia común en aparatos

Factor de potencia de los receptores más usuales		
Aparato	Carga	cos φ
Motor asíncrono ordinario	0 %	0,17
	25 %	0,55
	50 %	0,73
	75 %	0,8
	100 %	0,85
Lámparas de incandescencia		1
Lámparas de fluorescencia		0,5
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6
Hornos de resistencia		1
Hornos de inducción		0,85
Hornos de calefacción dieléctrica		0,85
Máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9
Centros estáticos monofásicos de soldadura al arco		0,5
Grupos rotativos de soldadura al arco		0,7 a 0,9
Transformadores-rectificadores de soldadura al arco		0,7 a 0,9
Hornos de arco		0,8

Fuente. Adaptado de *cos φ de los aparatos más usuales*, Schneider electric, 2013. Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos.

3.3.2 Penalización en la facturación eléctrica

Debido a que el bajo factor de potencia implica mala calidad de la energía en la red, el productor y distribuidor de energía se ve en la necesidad de penalizar al usuario haciendo que pague más por su electricidad e induciendo a los usuarios a que corrijan sus instalaciones y generen un mínimo de energía reactiva. Un mal factor de potencia es considerado por CFE a partir de 0.9 para abajo, la penalización máxima puede llegar a un 120% y se determina con la siguiente ecuación (ec. 3.6).

$$\frac{3}{5} \left[\frac{90}{F.P.} - 1 \right] \times 100$$

(ec. 3.6)

3.4. Beneficios de corregir el factor de potencia

Corregir el FP significa cuidar las instalaciones eléctricas (cables conductores, transformadores, aparatos eléctricos, etc.) además de que se protege la calidad de la energía en la red eléctrica. A continuación, se presentan las ventajas de un buen factor de potencia:

- Reducción del cobro en el recibo eléctrico
- Reducción de la caída de tensión
- Reducción de la temperatura de los conductores al circular una menor corriente, ocasionando un aumento en la vida del aislamiento del conductor.
- Aumento en la durabilidad de las máquinas eléctricas debido a que la disminución de la energía reactiva evita el aumento de la intensidad que las obliga a trabajar fuera de su punto de diseño.

Un adecuado factor de potencia igual o superior al 0.9 tendrá una bonificación máxima no mayor al 2.5% como lo establece CFE²² (ec. 3.7).

$$\text{Porcentaje de bonificación (\%)} = \frac{1}{4} * \left(1 - \frac{90}{Fp}\right) * 100 \quad (\text{ec. 3.7})$$

3.5. Dispositivos para compensar el factor de potencia

Existen algunas tecnologías utilizadas para mejorar el factor de potencia, cada una de ellas tiene ciertas características que las distinguen. Para elegir un dispositivo de compensación de energía reactiva es vital tomar en cuenta el área de trabajo o instalación donde se va a realizar la compensación u otros datos como:

- Tipo de área de trabajo (Industria, comercio, centro educativo, etc.).
- Tipo de cargas (motores, soldadoras, aire acondicionado, chiller, computadoras, lámparas). Sobre todo, hay que poner atención en las cargas que demandan potencia reactiva.
- Horarios y tiempo promedio en que son conectadas las cargas (al día, semana o mes).

²² CFE; 2018; Anexo único del acuerdo número a/064/2018.

- Características eléctricas del área de trabajo (voltaje, conexión bifásica, trifásica, distribución de las cargas).

A continuación, se presentan tres dispositivos comúnmente utilizados en la compensación de energía reactiva:

- Motores síncronos
- Compensadores estáticos
- Capacitores

3.6. Métodos para calcular la compensación de potencia reactiva

Para realizar la compensación del factor de potencia existen varios métodos en los que básicamente se necesita tener el factor de potencia inicial de la instalación y elegir el factor de potencia deseado, con base en esto se encuentra la energía reactiva necesaria. A continuación, se presentan los métodos más comunes para calcular la compensación de potencia reactiva.

3.6.1 Método del triángulo de potencia

Utilizando las relaciones trigonométricas del triángulo de potencias de la figura 3.1 y con los datos obtenidos del recibo de luz o del algún analizador de redes, se puede obtener la potencia reactiva inicial Q_i y la potencia reactiva final para tener la potencia reactiva del banco de capacitores Q_c . El **FP** actual se toma como el $FP_{inicial}$ y el **FP** deseado es FP_{final} , además se requiere encontrar los ángulos θ_i y θ_f . con las ecuaciones 3.8 y 3.9.

$$FP_{inicial} = \cos \theta_{inicial} \quad (\text{ec. 3.8})$$

$$FP_{final} = \cos \theta_{final} \quad (\text{ec. 3.9})$$

Posteriormente hay que obtener la potencia aparente inicial $S_{inicial}$ (ec. 3.10) y final S_{final} (ec. 3.11).

$$S_{inicial} = \frac{P}{\cos \theta_{inicial}} \quad (\text{ec. 3.10})$$

$$S_{\text{final}} = \frac{P}{\cos \theta_{\text{final}}} \quad (\text{ec. 3.11})$$

Con estos datos se puede obtener la energía reactiva Q_{inicial} (ec. 3.12) y Q_{final} . (ec. 3.13)

$$Q_{\text{inicial}} = S_{\text{inicial}} * \text{sen } \theta_{\text{inicial}} \quad (\text{ec. 3.12})$$

$$Q_{\text{final}} = S_{\text{final}} * \text{sen } \theta_{\text{final}} \quad (\text{ec. 3.13})$$

Para finalmente obtener la potencia reactiva del capacitor (ec. 3.14).

$$Q_c = Q_{\text{inicial}} - Q_{\text{final}} \quad (\text{ec. 3.14})$$

3.6.2 Calculo con factor K

Si solamente se tienen como datos el FP actual ($\cos \theta_{\text{inicial}}$) y el deseado ($\cos \theta_{\text{final}}$) se puede consultar la tabla 3.2 donde el número obtenido de esa referencia se toma como el factor K. El paso siguiente es multiplicar el factor K por la potencia activa (demanda máxima o demanda facturable) para obtener la potencia reactiva Q_c , como se muestra en las ecuaciones 3.15 y 3.16.

$$Q_c = (\tan (\cos \theta_i^{-1}) - \tan (\cos \theta_f^{-1})) * P \quad (\text{ec.3.15})$$

$$Q_c = K * P \quad (\text{ec.3.16})$$

Tabla 3.2 Tabla para obtener el factor K para corrección de FP.

cosφ inicial	cosφ final												
	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

Fuente. Adaptado de Factor K (kVar/kW), de ABB, Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas.

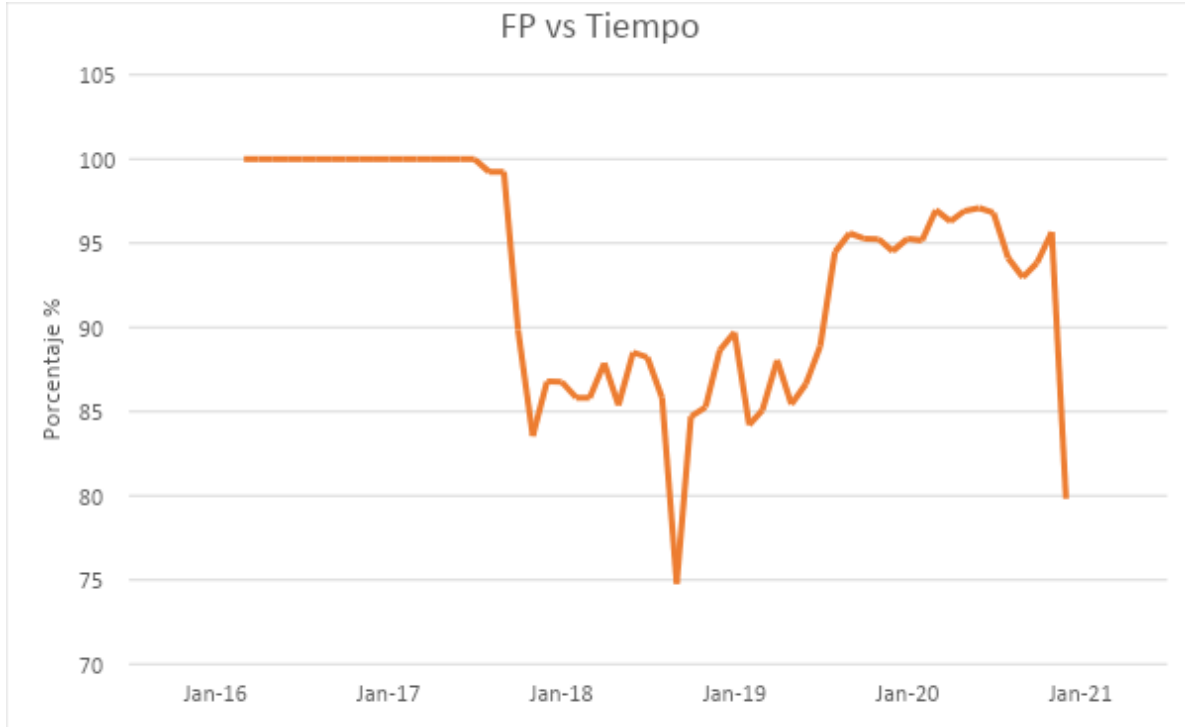
3.7. Compensación de potencia reactiva en el Plantel SLT

En el diagnóstico energético que se realizó en la UACM-SLT en 2018²³ se encontró que el factor de potencia estuvo por debajo del 90%, de septiembre del 2017 hasta julio del 2019, posteriormente con el seguimiento que se le ha dado a la facturación eléctrica se observó que en diciembre del 2020 volvió a

²³ Op. Cit. (Gonzalez, 2018)

bajar a 79.8% (grafica 3.1) lo que ha sido motivo de constantes penalizaciones por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Gráfica 3.1 Histórico FP de UACM-SLT



Fuente. Elaboración propia, con datos de facturación UACM-SLT.

Para realizar el estudio del FP, se midieron otros parámetros eléctricos con equipo especializado durante una semana en los Edificios A, B, C y de Profesores. Dichas mediciones se llevaron a cabo a finales de septiembre y principios de noviembre del 2018, donde se encontró que el consumo eléctrico estuvo cercano al promedio mensual reportado para temporada de clases; el cual estuvo alrededor de 107 kWh. Los principales parámetros medidos se reportan en la siguiente tabla (tabla 3.3).

Tabla 3.3 Medición parámetros eléctricos UACM-SLT

Edificio	Demanda electrica kW				Consumo de Energía kWh	Tension por fase*(Volt)				Corriente por fase*(Amper)			
	Rango de Demanda (kW)	Horario mayor de demanda	Hora pico maximo de demanda	Dias de mayor demanda		Rango en L1	Rango en L2	Rango en L3	Desbalance de Tensión	Rango en L1	Rango en L2	Rango en L3	Desbalance de corriente (%)
A	40 a 57	8 a 20	14:59	Lunes a Sabado	5713	126 a 132,1	127,5 a 133,1	127 a 132,8	No	49,5 a 136,9	48,3 a 167,7	64,2 a 162,8	si: L2=7,64 y L3=7,64
B	30 a 57	9 a 19	16:18	Lunes a Viernes	5315	127 a 131	128 a 132	127 a 132,8	No	61,8 a 130,8	65,2 a 172,6	80,4 a 173,1	si: L2=8,7 y L3=9
C	32 a 54	8 a 20	13:18	Lunes a Sabado	5049	125 a 131	126 a 132	125 a 131,7	No	49,5 a 125,8	48,1 a 171,2	66,9 a 159	si: L2=12,6 y L3=4,6
D y E	23 a 43	9 a 18	13:25	Lunes a Viernes	2059	127 a 132	126 a 131	126,7 a 131,7	No	83 a 156,8	65,6 a 140,9	64,5 a 124,5	si: L1=11,4

Fuente. Elaboración propia con mediciones de analizador de redes de septiembre a noviembre del 2018.

La tabla 3.3 muestra que el edificio donde más energía se consumió es el A, lo cual se entiende porque es dónde hay más actividad escolar, además de que los horarios de mayor demanda de energía activa se relacionan con el horario de actividades del plantel. Por otra parte, la tensión se mantuvo en balance, lo cual no sucedió con la corriente de todos los edificios, ya que las líneas trifásicas presentaron desbalances según las especificaciones de CFE²⁴ y el código de red²⁵, por lo que se propone una revisión en el balance de cargas.

En la tabla 3.4 se aprecia que el edificio con mayor demanda de potencia reactiva fue el edificio de Profesores con 25.1 kVar, y este parámetro se relaciona con el factor de potencia ya que a mayor demanda de energía reactiva menor es el aprovechamiento de la electricidad; lo que ocasiona que el factor de potencia baje hasta un 64%.

²⁴ CFE; Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica especificación L000-45; 2005.

²⁵ CRE; Código de red; [https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/\(DOF%202016-04-08%20CRE\)%20RES-151-2016%20DACG%20Código%20de%20Red.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/(DOF%202016-04-08%20CRE)%20RES-151-2016%20DACG%20Código%20de%20Red.pdf)

Tabla 3.4. Parámetros eléctricos UACM-SLT

Medición analizador de redes			
Área	Potencia reactiva promedio Kvar	Potencia activa promedio Kw	Energía activa semanal kWh
Edif. A	18,9	33,3	5713
Edif. B	23,7	32,1	5377
Edif. C	18,1	30,1	5049
Edif. Profesores	25,1	23,2	3904
Edif A Tablero de Iluminacion	-2	22,7	3721

Fuente. Elaboración propia con mediciones de analizador de redes.

Analizando la información de la tabla 3.4, se observa que el tablero de iluminación del edificio A, tuvo un FP de 91% y una potencia reactiva de -2 kVar, es decir que con el tiempo que se mantengan encendidas las luminarias inyectan energía reactiva a la instalación eléctrica, aunque es muy baja su aportación comparándolas con la potencia reactiva que demanda cada edificio cercano a los 20 kVar.

De la tabla 3.5 se encontró que en el día el FP de todos los edificios fue mayor que en la noche y en promedio todos los edificios medidos estuvieron por debajo del 90 %, lo cual explica porque hay penalizaciones de CFE por bajo factor de potencia. Estos resultados comprueban la importancia de atender esta situación. Otro aspecto que se destaca en el presente trabajo es el tema de la iluminación en los edificios pues se estima que es el 78.7 % del consumo total del plantel, seguido por el equipo de cómputo con 13.8%. Este tema de la iluminación se analizará de manera completa en el capítulo 4.

Tabla 3.5. Parámetros de FP en UACM-SLT

Área	FP día (lunes a viernes)	FP noche (lunes a viernes)	FP sabado día	FP sabado noche	FP Domingo día	FP Domingo noche	FP L1 (rango)	FP L2 rango	FP L3 rango	FP semanal promedio
Edif. A	92,4	71,2	89,9	82,9	32,6	41,6	6 a 97	43 a 98	36 a 93	77
Edif. B	91,1	58,3	40,3	39,3	38,6	38,3	18 a 94	46 a 98	33 a 90	68
Edif. C	92	68,2	77,5	38,3	39,1	37,2	11 a 98	56 a 99	34 a 91	75
Edif. Profesores	73,2	61,5	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	53 a 78	72 a 89	37 a 75	64
Edif A Tablero de Iluminacion	97,9	100	95,6	95,6	95,6	95,6	98 A 99	93 a 98	94 a 98	91

Fuente. Elaboración propia, con datos del analizador de redes.

3.7.1 Resultados de la corrección del factor de potencia

Para llevar a cabo la corrección del FP que se presenta en los edificios del Plantel SLT, se realizaron los cálculos con los datos obtenidos de los recibos de la facturación eléctrica utilizando cuatro métodos; los cuales fueron:

- Triángulo de potencia
- Formula
- Factor K por tabla
- Factor K nomograma

Los resultados se presentan en la siguiente tabla (tabla 3.6).

Tabla 3.6. Datos para corrección del factor de potencia en UACM-SLT.

											Triangulo de potencia	Formula	Factor K Tabla	Factor K Nomogram a
fecha	Potencia o Demanda facturable (kW)	cos θ i	θ i	Qinicial (kVAR)	Sinicial (kVA)	cos θ f	θ f	Sfinal (kVA)	Qfinal (kVAR)	Qc (kVAR)	Qc (kVAR)2	Qc (kVAR)3	Qc (kVAR)4	
ago-17	257	89,8	26,1	125,7	286,1	99	8,1	259,6	36,6	89,1	89,1	95,1	90,0	
sep-17	234	83,6	33,3	153,9	280,1	99	8,1	236,4	33,3	120,6	120,6	117,7	117,0	
oct-17	246	86,8	29,8	140,8	283,4	99	8,1	248,5	35,1	105,7	105,7	110,9	110,7	
nov-17	265	86,8	29,8	151,9	305,4	99	8,1	267,7	37,8	114,1	114,1	119,5	119,3	
dic-17	284	85,8	30,9	169,9	330,9	99	8,1	286,9	40,5	129,4	129,4	135,5	142,0	
ene-18	236	85,8	30,9	141,2	275,0	99	8,1	238,4	33,6	107,5	107,5	112,6	118,0	
feb-18	257	87,9	28,5	139,6	292,4	99	8,1	259,6	36,6	102,9	102,9	109,0	102,8	
mar-18	247	85,4	31,4	150,5	289,3	99	8,1	249,5	35,2	115,3	115,3	117,8	123,5	
abr-18	255	88,5	27,7	134,1	288,1	99	8,1	257,6	36,3	97,7	97,7	101,2	102,0	
may-18	262	88,2	28,1	139,8	297,0	99	8,1	264,6	37,3	102,5	102,5	104,0	104,8	
jun-18	241	85,8	30,9	144,1	280,8	99	8,1	243,4	34,3	109,7	109,7	115,0	120,5	
jul-18	177	74,8	41,6	157,1	236,6	99	8,1	178,8	25,2	131,8	131,8	135,6	132,8	
ago-18	252	84,7	32,1	158,1	297,5	99	8,1	254,5	35,9	122,2	122,2	126,8	126,0	
sep-18	255	85,3	31,5	156,2	299,0	99	8,1	257,6	36,3	119,8	119,8	121,6	127,5	
oct-18	240	88,7	27,6	125,3	270,7	99	8,1	242,4	34,2	91,1	91,1	95,3	96,0	
nov-18	264	89,7	26,2	130,0	294,3	99	8,1	266,7	37,6	92,4	92,4	97,7	92,4	
dic-18	217	84,2	32,6	139,0	257,7	99	8,1	219,2	30,9	108,1	108,1	109,2	108,5	
ene-19	230	85,1	31,7	142,0	270,3	99	8,1	232,3	32,8	109,2	109,2	109,7	115,0	
feb-19	250	88,1	28,3	134,6	283,9	99	8,1	252,5	35,6	99,0	99,0	99,3	100,0	
mar-19	249	85,4	31,3	151,4	291,4	99	8,1	251,5	35,5	116,0	116,0	118,8	124,5	
abr-19	238	86,7	29,9	137,1	274,7	99	8,1	240,4	33,9	103,2	103,2	107,3	107,1	
may-19	243	88,9	27,3	125,2	273,4	99	8,1	245,5	34,6	90,6	90,6	96,5	97,2	
oct-20	122	79,8	37,0	92,0	152,8	99	8,1	123,2	17,4	74,7	74,7	77,3	73,2	
nov-20	124	75,3	41,1	108,3	164,6	99	8,1	125,3	17,7	90,6	90,6	91,6	93,0	
dic-20	160	75,1	41,3	140,8	213,1	99	8,1	161,6	22,8	118,0	118,0	118,2	120,0	
PROMEDIO	235,21	85,5	31,1	139,5	274,0	99,00	8,1	237,6	33,5	106,0	106,0	109,7	110,5	

Fuente. Elaboración propia, con datos de UACM-SLT.

Para realizar el análisis se obtuvo la potencia reactiva de todos los recibos donde el FP fue menor al 90%, considerando el periodo de agosto del 2017 hasta diciembre del 2020. Posteriormente se obtuvo un promedio de la potencia reactiva como se muestra en la tabla 3.6, dando los siguientes resultados:

- Con triángulo de potencia $Q_c = 106 \text{ kVar}$
- Con Formula $Q_c = 106 \text{ kVar}$
- Con Factor K (tabla) $Q_c = 109.7 \text{ kVar}$
- Con Factor K (Nomograma) $Q_c = 110.5 \text{ kVar}$

Con estos valores se hizo una simulación para elegir un valor de compensación, además de obtener la potencia reactiva Q_{c2} , la potencia aparente S_2 y el factor de potencia que quedarían con la compensación. Como resultado se obtuvo que con 100 kVar se alcanzan valores óptimos de factor de potencia (tabla 3.6).

Tabla 3.6 Simulación de resultados por compensación de energía reactiva UACM-SLT.

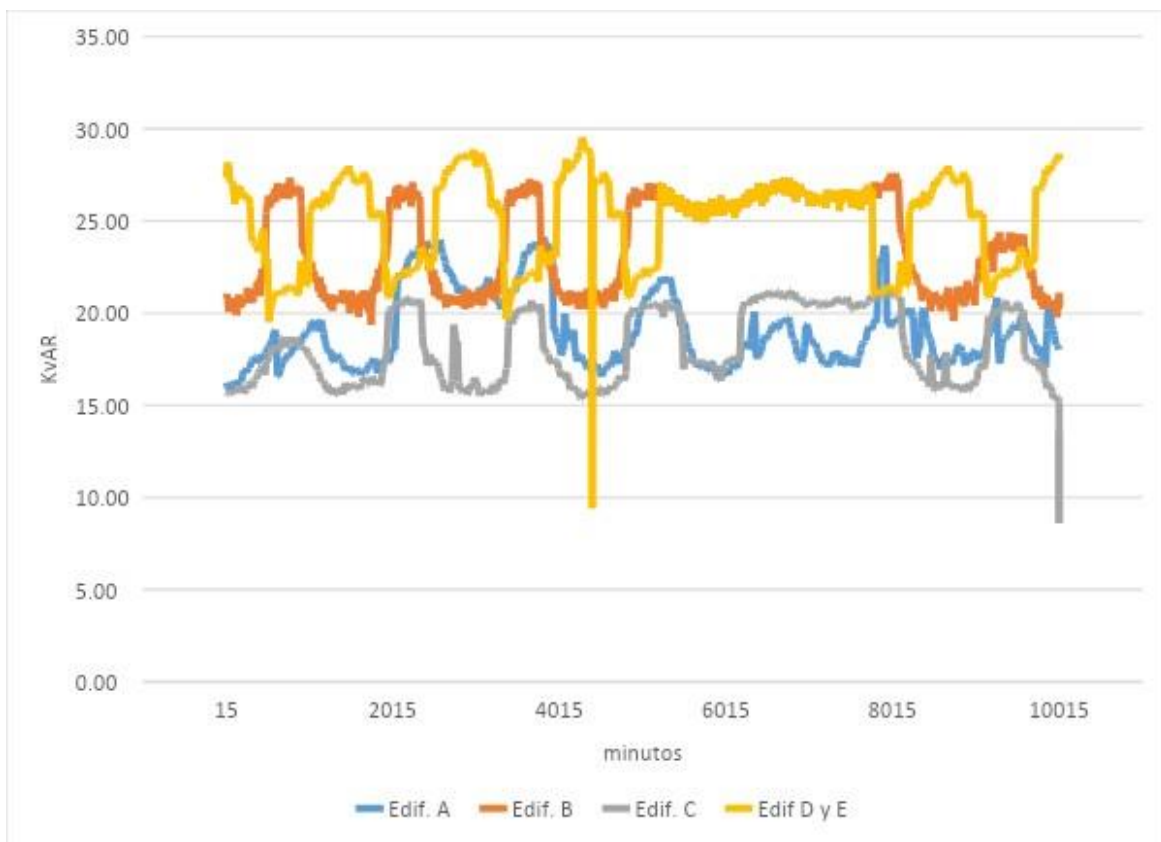
Qc elegido(kV AR)	Qc 2 (kVAR)	S 2 (kVA)	cos θ 3
100,0	25,7	258,3	1,00
	53,9	240,1	0,97
	40,8	249,4	0,99
	51,9	270,0	0,98
	69,9	292,5	0,97
	41,2	239,6	0,99
	39,6	260,0	0,99
	50,5	252,1	0,98
	34,1	257,3	0,99
	39,8	265,0	0,99
	44,1	245,0	0,98
	57,1	186,0	0,95
	58,1	258,6	0,97
	56,2	261,1	0,98
	25,3	241,3	0,99
	30,0	265,7	0,99
	39,0	220,5	0,98
	42,0	233,8	0,98
	34,6	252,4	0,99
	51,4	254,3	0,98
	37,1	240,9	0,99
	25,2	244,3	0,99
	-8,0	122,3	1,00
	8,3	124,3	1,00
	40,8	165,1	0,97
	39,5	238,5	0,99

Fuente. Elaboración propia.

El análisis del comportamiento de la potencia reactiva en los edificios de la UACM-SLT se puede ver en

la gráfica 3.2. Las mediciones inicialmente se empezaron en un horario por la tarde que variaba entre la 13:00 y 14:00 hrs, donde los datos registrados fueron en intervalos de 15 minutos. Ninguno de los edificios presentó demanda de potencia reactiva constante; todos variaron entre sí. Los edificios con más demanda de KVar fueron el E y D de profesores, seguido del B, luego el edificio A, y por ultimo con menos demanda el C, el cual presento menor actividad escolar. Derivado de los comportamientos anteriores se puede decir que el requerimiento de KVar es variable (ver grafica 3.2).

Gráfica 3.2 Potencia reactiva medida en los Edificios de la UACM-SLT.



Fuente. Elaboración propia, con mediciones de analizador de redes.

Por otra parte, cuando la demanda de kVA es inferior o igual al 15% de la potencia nominal del transformador de potencia, es posible la utilización de condensadores fijos. Mayor al 15% se puede utilizar banco de capacitores automático; y para elegir el dispositivo de compensación también se tiene que tomar en cuenta los niveles de voltaje y otras características eléctricas.

Capítulo IV. Análisis del sistema de iluminación Plantel SLT

En este capítulo se abordará la segunda problemática en materia energética del plantel UACM-SLT que es el alto consumo y los bajos niveles de iluminación.

4.1. Introducción

La iluminación natural y artificial son indispensables en la vida actual para realizar diferentes actividades, lo ideal es aprovechar al máximo la luz natural, aunque a veces no es suficiente en situaciones como, espacios con una orientación solar inadecuada, en días nublados con baja iluminación o cuando se realizan actividades nocturnas y se requiere de la iluminación artificial para obtener el confort adecuado. Contar con espacios bien iluminados permite a las personas desarrollar sus actividades de manera óptima, de lo contrario una mala iluminación puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés y accidentes.

4.2. Normas nacionales e internacionales en iluminación

Existe una institución a nivel internacional, máxima autoridad en materia de luz, iluminación y espacios de color, llamada Comisión Internacional de la Iluminación (CIE)²⁶. Tiene comités técnicos encargados de desarrollar programas de actualización y algunas de las normas utilizadas a nivel internacional se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Normas internacionales en materia de iluminación.

Norma	Descripción
UNE –EN 12464-1: 2012	Iluminación de lugares de trabajo en interiores.
UNE –EN 12464-2: 2008	Iluminación de lugares de trabajo en exteriores.
UNE 72-502-84	Sistemas de iluminación. Clasificación general

²⁶ Hisour, Comisión internacional de iluminación, de <https://www.hisour.com/es/international-commission-on-illumination-24835/>

UNE 72-153-85	Niveles de iluminación. Asignación a tareas visuales
UNE-EN 1838:2000	Iluminación. Alumbrado de emergencia
UNE-EN 12665:2012	Términos básicos y criterios para la especificación de los requisitos de alumbrado
UNE-EN 12193:1999	Iluminación para Instalaciones Deportivas
ISO-14001	Gestión Ambiental en donde se establecen los índices de kilogramos de CO ₂ equivalentes, expresado en kg CO ₂ -e/kWh.
ISO-45001	Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, en donde se establecen los niveles adecuados de iluminación y confort visual
ISO-50001	Gestión de la Energía, en donde se establecen los índices de consumo de energía de la instalación expresada en kWh/m ² /año.

Fuente. Elaboración propia.

En México hay dos normas utilizadas para evaluar o dimensionar la iluminación en una instalación, una es la NOM-007-ENER-2014 (Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales), la cual establece los límites de potencia instalada de alumbrado por metro cuadrado, y los límites van variando según la actividad desempeñada que se realice en cierto espacio. La otra es la NOM-025-ENER-2008 (Condiciones de iluminación en los centros de trabajo), donde se establecen los valores medios de iluminación necesarios, según la actividad que se lleve a cabo en un espacio. Ambas normas guían al usuario para tener alumbrado eficiente, con bajo consumo eléctrico y son una herramienta fundamental para evaluar, diseñar y rediseñar espacios que sean estimulantes para las personas, brindándoles confort y evitándoles sobreesfuerzos visuales.

4.3. Sistemas de iluminación

Para poder llevar a cabo una propuesta de mejora para el Plantel San Lorenzo Tezonco en materia de iluminación, primero hay que conocer conceptos fundamentales de estos sistemas, así como las principales características que los integran.

Un sistema de iluminación generalmente se encuentra integrado por:

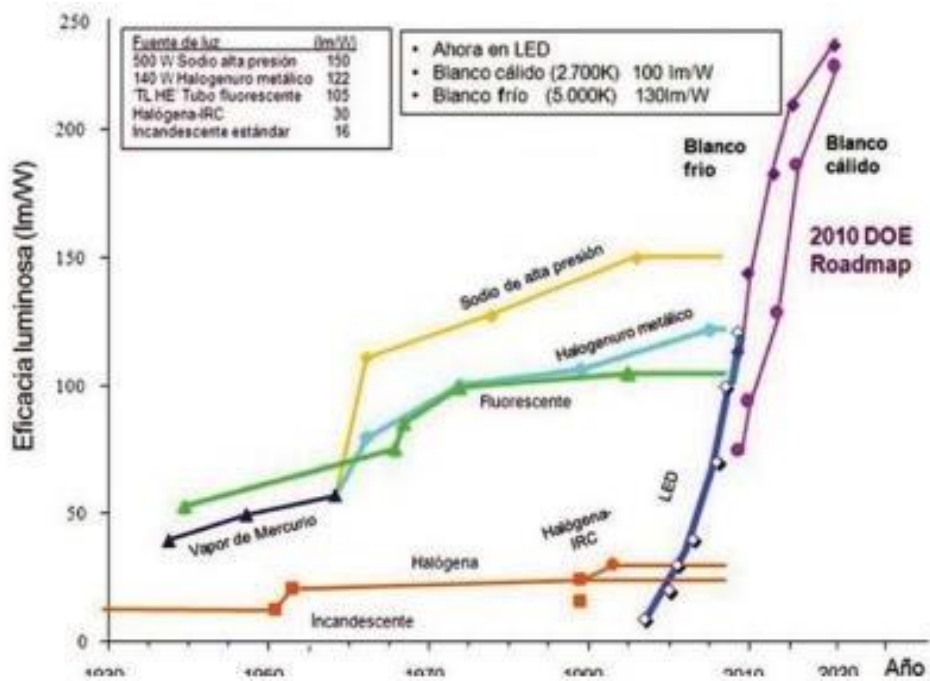
- Lámparas. Emiten luz visible, hay varias tecnologías, transforman la energía eléctrica en luminosa.
- Luminarios. Son los gabinetes que contienen a las lámparas (en algunos casos balastos) controlan y dirigen el flujo luminoso de una o más lámparas.
- Balastos. Son dispositivos electromagnéticos, electrónicos o híbridos, limitan la corriente de las lámparas (generalmente fluorescentes) y cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido.
- Dispositivos de control. Son dispositivos tales como apagadores, atenuadores (dimmers), fotoceldas, controladores de tiempo, sensores de movimiento, etc. Son aparatos con diferentes tecnologías que su función principal es utilizar al mínimo requerido la iluminación.

4.3.1 Lámparas

Las lámparas transforman la energía eléctrica a luminosa, no todas las tecnologías en iluminación brindan las mismas prestaciones, actualmente las que han tenido un gran desarrollo son las tecnologías LED (light emitting diode) y la OLED (organic light emitting diode), ambas tienen un principio físico similar basado en un diodo (componente electrónico semiconductor) que en condiciones especiales es atravesado por una corriente eléctrica lo que hace que emita luz.

En la gráfica 4.1 se puede ver la evolución a través de los años del flujo luminoso emitido por diferentes tecnologías en donde se aprecia claramente que la tecnología led ha tenido una evolución significativa.

Gráfica 4.1 Comparación de la evolución de los flujos luminosos emitidos por diferentes tecnologías.



Fuente. Adaptado de comparativa de flujos emitidos por distintas fuentes de luz, IDEA y CIE (2020). Guía técnica de eficiencia energética en iluminación.

La tecnología OLED a diferencia de la LED cuenta con un diodo de material orgánico, los materiales del diodo determinan las características del color de luz, el ciclo de vida y la eficacia de la fuente luminosa. Se destaca por ser ligera y de poco espesor, buena reproducción cromática ($R_a > 80$), larga vida útil mayor a 1,000 horas, emite luz difusa, funciona con bajo voltaje y no contiene sustancias peligrosas en su composición.

Esta tecnología es la más reciente y aún se encuentra en desarrollo, se espera que a mediano plazo consiga eficacias superiores a los 100 lm/W actualmente están alrededor de los 20 lm/W, y se busca que tenga una elevada vida útil y precios competitivos. En la tabla 4.2 se muestra una comparativa de las principales características de las tecnologías de iluminación vigentes.

Tabla 4.2 Características de diferentes tecnologías en iluminación.

	Gama de potencias (W)	Vida útil (h)	Eficacia (lm/W)	T _e Color (K)	IRC (%)	Encendido y Reencendido	Equipo auxiliar
Incandescentes	25-2000	1000	8-21,5	2700	100	Instantáneo	no
Halógena	40-100	2000	15-27	2800	100	Instantáneo	si
Tubos fluorescentes	16-65	5000-6000	48-80	2700-6000	70-98	Instantáneo	si (balasto y cebador)
Fluorescente compacta	7,5-50	8000	57-65	2700-6000	85	Instantáneo	Si (balasto electrónico)
Luz de mezcla	160-500	6000	19-28	3600	60	E: 2min, R: 5-10 min	no
Mercurio A.P.	50-2000	24000	32-60	3500-4500	40-70	E:4-5 min, R:3-6 min	no
Halogenuro metálico	70-3500	10000	75-105	3000-6000	80-90	E: 3-10 min	si (arrancador)
Inducción	70-150	60000	80	3000	>80	Instantáneo	Si (balasto electrónico)
Sodio B.P.	18-180	6000-8000	100-199	-	-	E:15min R:3min	si
Sodio A.P.	35-1000	8000	60-130	2000-2200	25-50	E:5-10min R:1min	si
Sodio Blanco	35-150	12000-15000	40-50	2500	85	E: 12min, R: 3min	Balasto y unidad control
LEDs	1,5-50	50000	60 - 120	2500 - 8000	70 - 98	Instantáneo	Si, incorporado en luminaria

Fuente. De Enerfigente, (2015), lámparas: tipos y características.
<https://enerfigente.wordpress.com/2015/08/24/lamparas-tipos-y-caracteristicas/>

4.3.2 Luminarias

Una lámpara puede ir colocada al interior de una carcasa llamada luminaria, este sistema tiene como objetivo brindar la máxima cantidad de luz y regular el flujo luminoso de la lámpara, cada luminaria tiene una curva fotométrica característica. Los elementos más utilizados dentro de una luminaria son, el reflector, el difusor, componentes eléctricos y accesorios de montaje.

Los reflectores generalmente son hechos de aluminio, se utilizan como un espejo, se aplica la óptica para aprovechar al máximo la luz de la lámpara concentrándola hacia el área deseada (Figura 4.1).

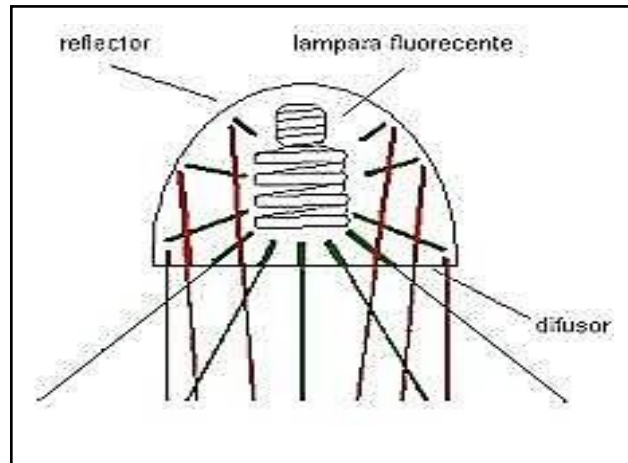




Figura 4.1 Reflector para foco fluorescente.

Fuente. Rojas M. (2013) Iluminación de Interiores. Retrofit vs Luminarias originales LED. Iluminet revista de iluminación. <https://www.iluminet.com/iluminacion-retrofit-led/>

Los difusores son materiales que esparcen la luz emitida por las lámparas, reduciendo el brillo desde cualquier ángulo que se mire, los materiales más comunes son de acrílico, vidrio opalino y acrílico prismático, este último utilizado para lámparas fluorescentes. El acrílico prismático (Figura 4.2) absorbe menos luz que otros materiales, aunque en promedio absorben del 40 al 60 %. También existen rejillas difusoras (Figura 4.3) que evitan el deslumbramiento y direccionan la luz hacia el plano de trabajo.

Figura 4.2 Luminaria con rejilla difusora	Figura 4.3 Luminaria con difusor
	
<p>Fuente. Elaborado de Lucera, gamme technique/technical lighting. https://www.lucera.fr/wp/wp-content/uploads/2014/03/lucera_technique_web.pdf</p>	<p>Fuente. Elaborado de Lucera, gamme technique/technical lighting. https://www.lucera.fr/wp/wp-content/uploads/2014/03/lucera_technique_web.pdf</p>

4.3.3 Balastros

Los balastros son componentes que van ocultos en la luminaria, se utilizan para lámparas fluorescentes, regulan el consumo de corriente a parámetros óptimos y proporcionan un voltaje controlado. Los balastros electromagnéticos tienen una misma frecuencia de entrada que de salida y los balastros electrónicos tienen una frecuencia de entrada a 60 Hz y frecuencia de salida más alta entre 20 y 50 kHz logrando producir el mismo flujo luminoso que un electromagnético, pero con un consumo eléctrico entre 12% a 25% menor, un alto factor de potencia, temperatura de operación menor, mayor tiempo de vida y eliminación del parpadeo.

- Por el tipo de encendido se clasifican en:
- Balastros de arranque con precalentamiento: Su funcionamiento tarda entre 3 y 4 segundos para encender.
- Balastros de arranque rápido: De encendido suave tardan entre 1 a 2.5 segundos se pueden utilizar con controles automáticos de iluminación.
- Balastros de arranque instantáneo: operan con lámparas slimline, requieren mayor tensión de encendido, no aptas para encendidos y apagados frecuentes como en sistemas de control automático.
- Balastros de arranque programado: recomendables para áreas controladas por detectores de presencia.

4.4. Sistemas de regulación y control de iluminación

Existen diferentes tecnologías para regular o controlar la iluminación, algunas de las más comunes se presentan a continuación.

- Sensores: se encargan de prender y apagar las luces de forma automática, los tipos de sensores más comunes son el sensor de presencia, sensor fotoeléctrico y sensor de tiempo; los sensores de presencia manejan tecnología infrarroja y ultrasónica. Es importante tomar en cuenta los tiempos mínimos de encendido pues si son cortos pueden perjudicar a la lámpara.
- Sistemas de domótica e inmótica: la domótica es un sistema de control de tecnologías programables que permite la gestión energéticamente eficiente de la iluminación, aire acondicionado, seguridad y electrodomésticos, posibilitando la comunicación entre todos ellos.

La domótica se aplica a servicios de vivienda y la inmótica a edificaciones comerciales, corporativas,

hoteleras, empresariales, etc.

- **Dimmer (Atenuadores):** Es un aparato parecido a un apagador que regula el flujo luminoso de una fuente de iluminación disminuyéndole su potencia. Los atenuadores de mala calidad pueden afectar la eficacia luminosa de la bombilla reduciendo su vida útil, no cualquier fuente luminosa es apta para funcionar con atenuador porque algunas producen parpadeos molestos. Este sistema permite regular la iluminación según como va variando la luz natural aprovechando ésta y disminuyendo el exceso de iluminación artificial brindando confort al usuario.


4.5. Características de las luminarias




Para el empleo de una luminaria hay particularidades que son de gran relevancia, y se deben considerar los requerimientos y necesidades del lugar donde se van a colocar, a continuación, se describe las características de una luminaria con forme las necesidades que se tengan.

4.5.1 Montaje de luminarias

La selección del tipo de montaje de una luminaria tiene que ver con características físicas de la construcción donde va a ser instalada. En general las luminarias que van empotradas o sobrepuestas son para techos con alturas bajas o alturas promedio, las luminarias suspendidas se utilizan en techos de mayor altura y las luminarias empotradas en el piso, comúnmente se utilizan en pasillos (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 *Sistemas de montaje*

Sistemas de montaje	
Luminaria empotrada en cielos falsos	
Luminaria sobrepuesta	






Luminaria suspendida	
Luminaria de pared	
Luminaria empotrada en piso	

Fuente. Elaboración propia

4.5.2 Distribución luminosa

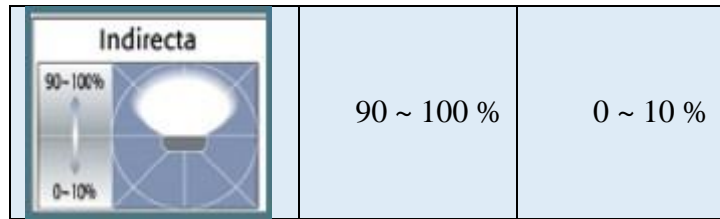
La distribución luminosa se refiere a la dirección que abarca el haz luminoso que emite la luminaria permitiendo tener zonas con un nivel de iluminación regular y evitando zonas con iluminación deficiente o elevada. Según la CIE²⁷ reconoce 6 tipos de distribución luminosa (Tabla 4.4) en artefactos interiores²⁸:

Tabla 4.4. Tipos de distribución luminosa

Clases de luminarias		Hemisferio superior	Hemisferio inferior
Directa 		0 ~ 10 %	90 ~ 100 %
Semi-directa 		10 ~ 40 %	60 ~ 90 %
Directa-indirecta 	General-difusa 	40 ~ 60 %	40 ~ 60 %
Semi-indirecta 		60 ~ 90 %	10 ~ 40 %

²⁷ Op. Cit. CIE (2001)

²⁸ Reyes P., Propuesta para una iluminación eficiente en el edificio de Ciencias Forenses y medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia, Costa Rica, 2016.



Fuente. Adaptado de *Clases de luminarias de acuerdo con la clasificación CIE de porcentaje de flujo*, de IDEA y CIE, (2019). Guía técnica eficiencia energética en iluminación. Oficinas.

La iluminación directa es cuando el porcentaje de luz emitida hacia abajo esta entre el 90% al 100%, esta distribución varia si es de haz estrecho o ancho. La iluminación semi-directa en un sistema de iluminación directa se puede transformar en semi-directa utilizando pantallas difusoras de vidrio o plástico, es utilizada en oficinas y talleres.

La iluminación general se distribuye en todas las direcciones de manera homogénea, donde una parte de esta luz llega al área de trabajo, la demás se distribuye hacia techo y paredes produciendo sombras muy suaves generando una iluminación agradable, en ocasiones puede provocar deslumbramiento por eso se aconseja ubicarlas a una altura mayor o elegir luminarias con menor potencia, esta distribución es recomendable para oficinas.

En la iluminación semi-indirecta la mayor parte de la luz es proyectada al techo por esto el rendimiento luminoso es bajo, el riesgo a deslumbramiento es mínimo, se sugiere techos pintados de colores claros para que reflejen bien la luz. No se recomienda para áreas donde se requiere buena percepción de texturas y relieves. Y en la iluminación indirecta todo el flujo luminoso se dirige al techo es por eso que tiene que estar pintado de colores claros para un mayor rendimiento, se debe regular la altura para evitar manchas luminosas en el techo, se descarta por completo el deslumbramiento, ideal para ambientes relajantes o para salas de computadoras en donde se quiere evitar el reflejo en las pantallas.

4.6. Propiedades de las lámparas

Después de haber visto los tipos de las luminarias, se requiere estudiar las características que ofrecen las lámparas, de igual manera, tomado en cuenta las necesidades para el lugar donde va a ser ocupada, a continuación, se describen las características útiles para elegir un tipo de lámpara.

4.6.1 Distribución fotométrica

Una de las características de la lámpara que no puede pasar por alto es el tipo de haz luminoso el cual se clasifica por el ángulo de apertura del haz luminoso que emite la lámpara, la clasificación es la siguiente:

- intensivo
- semi intensivo
- dispersor
- semiextensivo
- extensivo
- super-extensivo

De acuerdo con el estudio Iluminación en Centros Docentes²⁹ recomienda el haz dispersor para iluminación general y decorativo, el extensivo para iluminación general y el intensivo para iluminación general en grandes alturas (Figura 4.4).

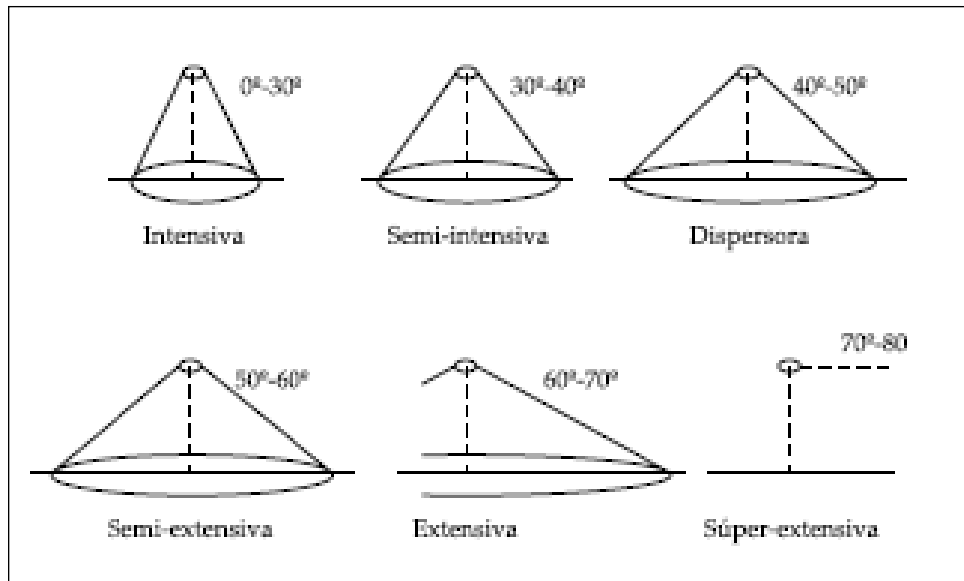


Figura 4.4. Clasificación de las amplitudes de haz luminoso

Fuente. Clasificación en función de la amplitud del haz luminoso Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, (2015).

²⁹ CIE, Guía Técnica de eficiencia Energética en iluminación; Centros docentes. Madrid, 2020.

4.6.2 Color

El color de un espacio que es iluminado artificialmente está relacionado con la elección de dos parámetros característicos en una fuente luminosa que son:

- El Índice de reproducción cromática (IRC o Ra).
- Temperatura de color (K)

El IRC es la capacidad que tiene una fuente luminosa para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina. La luz del día tiene un valor Ra=100 debido a que reproduce fielmente los colores por lo tanto entre más se acerquen a este valor las lámparas o focos mejor reproducen el color de los objetos. Según la CIE³⁰ divide el IRC en 4 clasificaciones (Figura 4.5).

Índice de reproducción cromática (Ra)	Grupo de Rendimiento de color
Excelente 90-100	1A
Bueno 80-90	2A
Razonable 70-80	1B
Mala < 70	2B

Figura 4.5 Índice de reproducción cromática
Fuente. Guía técnica de eficiencia energética en iluminación (oficinas).
Comité español de iluminación (2001).

Para centros educativos no se requieren valores altos de IRC, excepto en áreas de pintura, algunos laboratorios y talleres. Con carácter general las lámparas tendrán un índice de reproducción cromática (Ra) de los valores comprendidos entre 70 y 85. Para las dependencias que precisan una mayor calidad el valor será > 90.

La temperatura de color es un parámetro que indica el color de una fuente de luz, su unidad de medida es el kelvin, los colores empiezan desde valores bajos que proporcionan tonos cálidos (rojo, naranja,

³⁰ Op. Cit. CIE (2001)

amarillo), pasando por valores intermedios que emiten tonos neutros (luz blanca, grises) hasta llegar a temperaturas altas con tonos fríos (azulados), (Figura 4.6).

Tono de luz. Temperatura de color	Tipo de actividad o de iluminación
Tonos cálidos. < 3000 K.	Entornos decorados con tonos claros Áreas de descanso. Salas de espera. Zonas con usuarios de avanzada edad Áreas de esparcimiento. Bajos niveles de iluminación
Tonos neutros. 3300 - 5000 K.	Lugares con importante aportación de luz natural Tareas visuales de requisitos medios.
Tonos fríos. > 5000 K.	Entornos decorados con tonos fríos Altos niveles de iluminación Para enfatizar la impresión técnica. Tareas visuales de alta concentración

Figura 4.6 Temperatura de color

Fuente. Elaborado de Guía técnica de eficiencia energética en iluminación (oficinas). Comité español de iluminación (2001).

En la lámpara se pueden conocer las características de sus propiedades, como se muestra en la (Figura 4.7).



Figura 4.7 Temperatura de color

Fuente. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, (2015) Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos.

En la figura 4.7 se muestra la cifra de 18 W, que es la potencia de la lámpara, luego el número 865, el 8 equivale a 80 como valor IRC y el 65 equivale a 6,500 K que sería el valor de la temperatura de color. Por lo tanto, tiene un valor razonable de IRC y una temperatura de color indicada para tareas visuales de alta concentración. En oficinas donde los trabajadores permanecen expuestos a un determinado ambiente en largos periodos de tiempo, el color de la iluminación puede influir en su rendimiento y en el grado de satisfacción visual experimentado.

4.7. Situación de la iluminación en la UACM-SLT

En el plantel San Lorenzo Tezonco se llevó a cabo un estudio de iluminación donde se realizó un censo de cargas instaladas que fueron evaluadas conforme a la norma oficial mexicana NOM-007-ENER-2014, el número de áreas evaluadas y el porcentaje de espacios que cumplen con los niveles de iluminación indicados se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Porcentaje de cumplimiento de Niveles de iluminación en UACM-SLT.

	Edificio A	Edificio B	Edificio C	Edificio de Profesores
Espacios evaluados	94	82	92	447
Iluminación mañana	79% cumple	77% cumple	100% cumple	99% cumple
Iluminación tarde	79% cumple	74% cumple	99% cumple	99% cumple
Iluminación noche	17% cumple	35% cumple	23% cumple	91% cumple

Fuente. Elaboración propia, con datos de diagnóstico energético en UACM-SLT, González Cervantes, (2019)

En la tabla anterior se observa que hay un porcentaje de áreas en los edificios que no cumplen con un nivel adecuado de iluminación, debido a que se tiene pared con una ventanilla muy pequeña en los cuatro niveles del edificio ubicada hacia el lado sur, provocando una falta de luminosidad natural uniforme en los salones.

Para el caso de la noche; cerca de un 80 % de las áreas medidas tienen una iluminación por debajo de lo necesario, en gran parte responde a que la mayoría de las lámparas han disminuido su eficacia. Según las características de éstas (F32T8), descritas en los planos eléctricos de la UACM, indican que tienen un ciclo de vida de 24,000 horas, haciendo una estimación de su tiempo de vida desde la inauguración del plantel a la fecha, la vida útil ya ha sido rebasada casi en un 15%. Los espacios que no cumplen con los niveles de iluminación en los edificios A, B y C principalmente son salones de clase, laboratorios, baños y pasillos. Del edificio de profesores alrededor de 40 cubículos están ligeramente por debajo de la iluminación establecida en la norma.

Por otra parte, también se llevó a cabo el estudio del porcentaje de nivel de reflexión, encontrando que es alto en la mañana (Tabla 4.6), así como en la tarde debido a que la mayoría de las áreas tienen ventanas grandes del lado norte y el deslumbramiento por la luz del día es significativo.

Tabla 4.6. Porcentaje de cumplimiento de los Niveles de reflexión en UACM-SLT.

	Edificio A	Edificio B	Edificio C	Edificio de Profesores
Nivel de reflexión mañana*	46% cumple	62% cumple	25% cumple	98% cumple
Nivel de reflexión tarde*	60% cumple	65% cumple	30% cumple	97% cumple
Nivel de reflexión noche*	54% cumple	73% cumple	78% cumple	100% cumple

*existe deslumbramiento en el puesto de trabajo cuando el valor de La reflexión (K_r) supera los niveles máximos permisibles del 50%.

Fuente. Elaboración propia, con datos de diagnóstico energético en UACM-SLT.

El problema de deslumbramiento se podría contrarrestar con acabados de superficies mates en pizarrones, redireccionando las lámparas, reduciendo la iluminación de las lámparas, bajando la iluminación natural de ventanas mediante cortinas o implementando una luz específica para el pizarrón. En este caso, se determinó el grado de deslumbramiento consultando la tabla 4.7 tomando los valores para un centro docente.

Tabla 4.7. Tipos de distribución luminosa

Valoración de deslumbramiento según UGR											
p techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
p paredes		50	30	30	30	30	50	30	50	30	30
p suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2 H	2 H	17,2	18,4	17,5	18,6	18,8	17,5	18,7	17,8	18,9	19,1
	3 H	17,1	18,1	17,4	18,4	18,7	17,9	19,0	18,3	19,2	19,5
	4 H	17,0	18,0	17,4	18,3	18,5	17,9	18,9	18,3	19,2	19,4
	6 H	17,0	17,8	17,3	18,1	18,4	17,9	18,8	18,2	19,0	19,4
	8 H	16,9	17,8	17,3	18,1	18,4	17,8	18,7	18,2	19,0	19,3
	12 H	16,9	17,7	17,2	18,0	18,3	17,8	18,6	18,2	18,9	19,3
4 H	2 H	17,5	18,5	17,8	18,7	19,0	17,8	18,8	18,1	19,0	19,3
	3 H	17,4	18,2	17,8	18,5	18,9	18,3	19,1	18,7	19,4	19,8
	4 H	17,4	18,1	17,7	18,4	18,8	18,3	19,0	18,7	19,3	19,7
	6 H	17,3	17,9	17,7	18,3	18,7	18,2	18,9	18,7	19,2	19,6
	8 H	17,2	17,8	17,7	18,2	18,6	18,2	18,8	18,6	19,2	19,6
	12 H	17,2	17,7	17,7	18,1	18,5	18,2	18,7	18,6	19,1	19,5
8 H	4 H	17,3	17,8	17,7	18,2	18,6	18,2	18,8	18,6	19,1	19,6
	6 H	17,2	17,7	17,7	18,1	18,5	18,1	18,6	18,6	19,0	19,5
	8 H	17,2	17,6	17,6	18,0	18,5	18,1	18,5	18,6	19,0	19,4
	12 H	17,1	17,5	17,6	17,9	18,4	18,1	18,4	18,6	18,9	19,4
12 H	4 H	17,3	17,7	17,7	18,2	18,6	18,2	18,7	18,6	19,1	19,5
	6 H	17,2	17,6	17,6	18,0	18,5	18,1	18,5	18,6	18,9	19,4
	8 H	17,1	17,5	17,6	17,9	18,4	18,1	18,4	18,6	18,9	19,4
Valoración de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1,0 H		+0,8 / -0,9					+0,3 / -0,5				
S = 1,5 H		+2,1 / -5,6					+1,4 / -2,2				
S = 2,0 H		+3,5 / -10,9					+1,6 / -4,1				
Tabla estándar Sumando de corrección		BK01 -2,1					BK01 -1,5				
Índice de deslumbramiento corregido en relación con 13.400 lm, flujo luminoso total											

Fuente. IDEA y CEI, (junio 2020). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros Docentes.*

Tomando como ejemplo un salón de clases de la UACM-SLT con medidas de 5.36 x 9.5 metros y una altura de 1.78 metros, con reflectancias de 0.7, 0.5 y 0.2; se tiene que las dimensiones del área serían 2H y 6H, y estando perpendicular al eje de la lámpara hay un UGR de 17 y longitudinalmente uno de 17.9, donde el límite según la tabla 4.7 para aulas es de 19, por lo tanto, se está cerca del límite permitido para deslumbramiento.

Se efectuó la clasificación de los espacios del plantel SLT, haciendo una clasificación de las áreas más comunes, para este criterio de selección se tomó en cuenta que tuvieran las mismas dimensiones, igual

número de luminarias y que se desempeñaran actividades similares, hubo áreas que no cumplieron con este criterio y por consecuencia requieren de un estudio aparte.

Esta clasificación se hizo con el objetivo de darle atención específica a las áreas más comunes, facilitar el análisis y cumplir con sus requerimientos visuales, además, como referencia se tomaron los censos de cargas elaborados por González (2018)³¹, donde se identificó entre otras características, la actividad que se realiza en cada espacio de la universidad. En las tablas 4.4, 4.5 y 4.6, se observan los resultados encontrados para los edificios A, B y C.

Tabla 4.4 *Conteo de áreas comunes edificio A*

Edificio A	Luxes requeridos	Luminarias por área	Lámparas por área	Total de áreas	Total de lámparas
Salón de clases	300	9	18	40	720
Laboratorios (física, biología, química, otros)	500	18	36	6	216
Laboratorios de cómputo	500	9	18	10	180
Baños	100	8	8	10	80
Área de lavabos	100	8	8	5	40
Vestíbulo	50	10	10	5	50
Pasillo por nivel (cartelas)	20	10	40	4	160
Aula titulación	200	9	18	2	36
Almacén de laboratorios	300	9	18	3	54
				total	1536

Fuente. Elaboración propia.

³¹ Op. Cit. (González, 2019)

Tabla 4.5 *Conteo de áreas comunes edificio B*

Edificio B	Luxes requeridos	Luminarias por área	Lámparas por área	Total de áreas	Total de lámparas
Salón de clases	300	9	18	41	738
Laboratorios (física, biología, química, otros)	500	18	36	6	216
Laboratorios de computo	500	9	18	0	0
Baños	100	8	8	10	80
Área de lavabos	100	8	8	5	40
Vestíbulo	50	10	10	5	50
Pasillo por nivel (cartelas)	20	10	40	4	160
Aula titulación	200	9	18	-----	-----
Almacén de laboratorios	300	9	18	3	0
				total	1284

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4.6 *Conteo de áreas comunes edificio C*

Edificio C	Luxes requeridos	Luminarias por área	Lámparas por área	Total de áreas	Total de lámparas
Salón de clases	300	9	18	44	792
Laboratorios (física, biología, química, otros)	500	18	36	3	110
Laboratorios de computo	500	9	18	9	*164
Baños	100	8	8	10	80
Área de lavabos	100	8	8	5	40
Vestíbulo	50	10	10	5	50
Pasillo por nivel (cartelas)	20	10	40	4	160
Aula titulación	200	9	18	-----	-----
Almacén de laboratorios	300	9	18	-----	-----
				total	1436

*El laboratorio de producción editorial en el cuarto piso tiene 19 luminarias lo que da un total de 38 lámparas se toma como laboratorio de cómputo pues cuenta con 11 computadoras al momento del diagnóstico energético.

Fuente. Elaboración propia.

4.7.1 Análisis de resultados en la iluminación UACM-SLT

El único edificio que no presentó problemas de reflexión y de niveles de iluminación fue el edificio de Profesores debido a que los cubículos tienen dimmer para regular la iluminación artificial además que cuentan con persianas para regular la luz natural. El edificio con más problemas de reflexión es el edificio C por su ubicación geográfica pues una gran parte del día le da el sol directo del lado sur.

En cuestiones de iluminación los edificios que requieren mayor atención son el edificio A y C seguido del edificio B, debido al porcentaje de espacios que no cumplen con el nivel de iluminación requerido. Los salones de clases son las áreas que tienen el mayor número de lámparas con baja iluminación.

4.7.2 Iluminación y luminarias en salones y áreas comunes

Cuando se llevó a cabo el presente trabajo de investigación, las luminarias de los salones de los edificios A, B y C estaban suspendidas a 35 cm aproximadamente del plafón, eran dimmeables con distribución lumínica semidirecta, y contaban con dos lámparas F32T8/TL841 HI-VISION marca Philips u osram de 120 cm cada una, e incluían un balastro electrónico lutron 2x32W dimmeable con rejilla difusora. Los salones tienen tres líneas con tres luminarias continuas, todas conectadas a un sensor de presencia (ultrasónico) bidireccional marca lutron controlado por un controlador de zona de iluminación microwatt³² de igual forma dimmeable.

Para los pasillos de todos los edificios hay luminarias tipo luz indirecta con reflector que tienen una lámpara F32WT8/TL841, con balastro electrónico compartido de 2x32W y 277 volts. Están ubicadas en las paredes del lado sur frente a las cartelas, conectadas a un controlador microwatt no dimmeable.

³² Lutron, installation, <https://assets.lutron.com/a/documents/041549.pdf>

Por otra parte, las luminarias de las cartelas son modelo vertical marca Elmsa, de distribución lumínica directa con vidrio difusor, cuentan con cuatro lámparas F32T8/TL841 marca Philips con dos balastos electrónicos de 2x32W marca osram, junto con las luminarias del vestíbulo modelo tipo luz indirecta con lámpara F32T8/TL841, balastro electrónico compartido de 2x32W y 277 volts, sumadas a las luminarias del pasillo de lavabos en los baños con una lámpara cada una F32T8/TL841, tipo luz indirecta que van conectadas a un mismo controlador microwatt no dimmeable.

Todos los microwatt del edificio se interconectan y se van por tubería subterránea hacia el panel de control donde son gestionados por un software desde un lugar central ubicado en el edificio SITE³³. Los sensores de presencia y de luz natural están conectados directamente a los controladores del sistema.

4.7.3 Determinación de la iluminación en cada área de la UACM-SLT

Para solucionar el problema de baja iluminación en algunas áreas de la UACM-SLT, se realizó el cálculo del flujo luminoso requerido en cada espacio. Para llevarlo a cabo se aplicó el método de lúmenes, también conocido como el método del factor de utilización, tomando como base los datos obtenidos de los salones de clases³⁴.

Inicialmente se utilizaron los siguientes datos:

1. Dimensiones del local de la zona a iluminar (Figura 4.8).

Se tiene que las medidas del salón de clases son:

³³ Op. Cit. (Iutron, 2013)

³⁴ Op. Cit. (González, 2019)

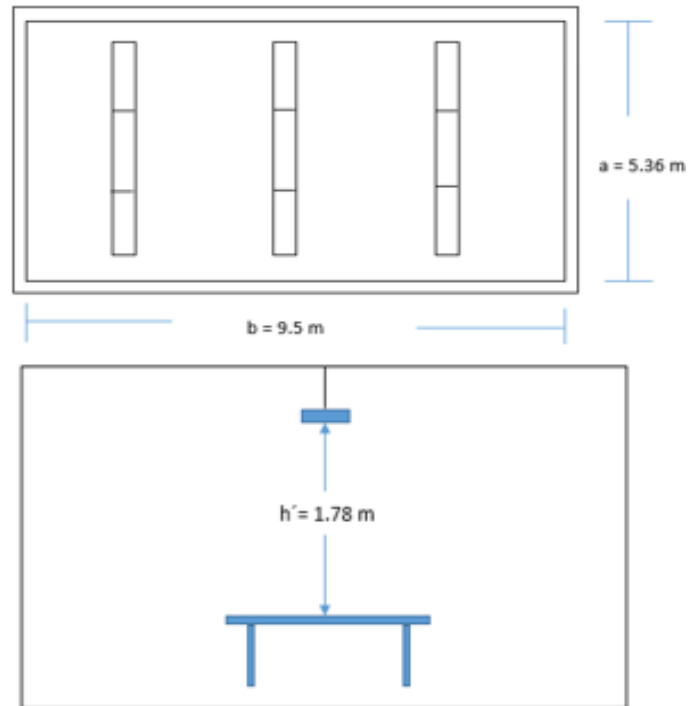


Figura 4.8 Medidas de salón de clase UACM-SLT.
Fuente. Elaboración propia.

Lado a (lado ancho) = 5.36 m

Lado b (lado largo) = 9.5 m

H (altura del piso al techo) = 3.06 m

h' (altura del plano de trabajo a la luminaria) = 1.78 m

2. Determinar el valor de iluminancia media (E_m).

La norma NOM-025-STPS-2008, para aulas requiere de 300 lux.

3. Escoger el tipo de lámpara.

Para elegir el tipo de lámpara, intervienen características como, temperatura de color, reproducción de color, eficacia, etc. En este caso para un salón de clases se escoge una lámpara con temperatura de color neutra, un IRC >80 y una eficacia mayor a 65 lm/W además se respetarán las medidas de las lámparas existentes T8 de 1,200 mm de largo.

4. Tipo de luminaria.

Se escogió una luminaria tomando en cuenta que ésta puede influir en el flujo, para este caso de estudio se respetara la luminaria existente en los salones de clases.

5. Determinar la altura de suspensión de la luminaria.

Para áreas como oficinas, viviendas y aulas, la luminaria se debe colocar lo más alta posible, por lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones (Tabla 4.7), en el caso del salón de clases de San Lorenzo tienen una altura entre el plano de las luminarias y el techo de 50 cm.

Tabla 4.7 Ecuaciones para determinar la altura idónea de las luminarias.

Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (H - h')$	Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (H - h')$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{5} \cdot (H - h')$	$h \approx \frac{3}{4} \cdot (H - h')$

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

6. Calcular el coeficiente de utilización (Cu).

Este coeficiente indica la cantidad de lúmenes que llegan de manera efectiva al plano de trabajo. Lo debe proporcionar el fabricante de la lámpara y viene en las tablas de factor de utilización. Si es alto; los coeficientes de reflexión también son altos. Si no se obtiene el coeficiente de utilización en tablas por lectura directa, es necesario interpolar en función de los valores del coeficiente de reflexión y el índice del local.

a) Cálculo del índice del local: El índice del local se obtiene con las medidas del área de trabajo y la altura (Tabla 4.8), las ecuaciones varían según el tipo de iluminación, directa o indirecta. En este caso es iluminación directa.

Tabla 4.8. Ecuaciones para determinar el índice de local.

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

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

Sustituyendo valores se obtiene que: $k = \frac{5.4 \cdot 9.5}{1.78 \cdot (5.4 + 9.5)} = 1.93$

b) Calcular los coeficientes de reflexión: los coeficientes varían según la reflexión de luz que emite un material, superficie o color (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Tabla de factor de reflexión

Factores de reflexión para diversos colores y materiales iluminados con luz blanca			
Color	Factor de reflexión	Material	Factor de Reflexión
Bianco	0.70 - 0.85	Mortero claro	0.35 - 0.55
Techo acústico blanco, con orificios	0.50 - 0.65	Mortero oscuro	0.20 - 0.30
Gris claro	0.40 - 0.50	Hormigón claro	0.30 - 0.50
Gris oscuro	0.10 - 0.20	Hormigón oscuro	0.15 - 0.25
Negro	0.03 - 0.07	Arenisca clara	0.30 - 0.40
Crema, amarillo claro	0.50 - 0.75	Arenisca oscura	0.15 - 0.25
Marrón claro	0.30 - 0.40	Ladrillo claro	0.30 - 0.40
Marrón oscuro	0.10 - 0.20	Ladrillo oscuro	0.15 - 0.25
Rosa	0.45 - 0.55	Mármol blanco	0.60 - 0.70
Rojo claro	0.30 - 0.50	Granito	0.15 - 0.25
Rojo oscuro	0.10 - 0.20	Madera clara	0.30 - 0.50
Verde claro	0.45 - 0.65	Madera oscura	0.10 - 0.25
Verde oscuro	0.10 - 0.20	Espejo de vidrio plateado	0.80 - 0.90
Azul claro	0.40 - 0.55	Aluminio mate	0.55 - 0.60
Azul oscuro	0.05 - 0.15	Aluminio anodizado y abrigantado	0.80 - 0.85
		Acero pulido	0.55 - 0.65
		Cobre	0.48 - 0.50
		Cromo pulido	0.60 - 0.70
		Cromo mate	0.52 - 0.55
		Madera clara de abedul y arce	0.55 - 0.65
		Madera de roble, laqueada clara	0.40 - 0.50
		Madera de roble, laqueada oscura	0.15 - 0.40
		Madera de caoba o nogal	0.15 - 0.40

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

Los coeficientes de reflexión del salón de clases son:

Techo: 0.7, Pared: 0.5, Suelo: 0.5

Tomando en cuenta el índice de local de $k=1.93$, hay que interpolar utilizando los valores de la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Cálculo de coeficiente de utilización

Tabla de corrección						
Techo	0.70	0.70	0.70	0.50	0	
Pared	0.70	0.50	0.20	0.20	0	
Suelo	0.50	0.20	0.20	0.10	0	
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

Donde se encuentra un valor del $C_u = (116+129+91+100) / 4 = 109 = 1.09 \%$

7. Determinar el coeficiente de mantenimiento (C_m).

Este coeficiente hace referencia a la influencia que tiene el medio ambiente (según el grado de suciedad) con el flujo luminoso que emiten las lámparas. Los siguientes valores suponen de una limpieza periódica anual (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Cálculo de coeficiente de mantenimiento

Ambiente	Coeficiente de mantenimiento (C_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

Donde se tomará un $C_m = 0.8$, para el salón de clases. Posteriormente se aplica la ecuación 4.1 para el flujo luminoso.

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \quad (\text{ec. 4.1})$$

Sustituyendo valores:

$S = \text{superficie a iluminar} = a * b = 5.36 \text{ m} * 9.54 \text{ m} = 51.13 \text{ m}^2$

$\Phi_T = (300 * 51.13 / 1.09 * 0.8) = 17,590.6 \text{ lúmenes}$

Para el cálculo de luminarias se tiene la ecuación 4.2.

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (\text{ec. 4.2})$$

Donde:

$n = \text{número de lámparas por luminaria}$

$\Phi_L = \text{Flujo luminoso de una lámpara (se toma de catálogo)}$

En el caso de los salones de clases, se sabe que tienen 9 luminarias con 2 lámparas cada una, por lo tanto, se requiere estar al tanto del flujo luminoso necesario por una lámpara, para ello se requiere despejarlo de la ecuación 4.2.

$$\Phi_L = \frac{\Phi_T}{n * NL} \quad (\text{ec. 4.3})$$

Y al sustituir los valores se obtiene que:

$\Phi_L = (17,590.6 / 2 * 9) = 977 \text{ lúmenes}$

Para verificar que el espacio entre luminarias es el adecuado para una iluminación uniforme se toma en cuenta que la distancia de la pared a la luminaria debe tener la mitad de distancia de lo que tienen entre una luminaria y otra (Figura. 4.9).

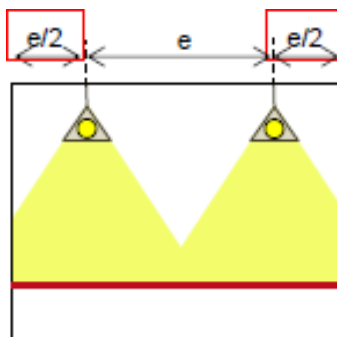


Figura 4.9 Separación de las luminarias a las paredes.

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

La distancia máxima de separación entre luminarias también depende del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo (Tabla 4.12).

Tabla 4.17 Relación entre la altura del local y la distancia máxima entre luminarias.

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤ 4 m	$e \leq 1.6 h$

Fuente. Castilla N., Blanca V., Martínez A., Pastor R., Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes.

Para el salón estudiado se tiene un $h = 1.78$ y $e = 2.7$

Por lo tanto, se toma un tipo de luminaria extensiva con una altura de local menor a 4 metros

$$e \leq 1.6 h = e \leq 1.6(1.78) = 2.7 \leq 2.8$$

La diferencia es mínima por lo que se puede asumir que tiene una iluminación uniforme.

Posteriormente para corroborar que el flujo luminoso de la lámpara escogida sea el correcto se utilizara la ecuación 4.4.

$$E_m = \frac{NL * n * \Phi_L * C_u * G_n}{S} \geq E_{Tablas} \quad (\text{ec. 4.4})$$

Finalmente, con los datos y resultados obtenidos, se determinó el flujo luminoso para las áreas más comunes de la UACM-SLT. En la tabla 4.13 se presentan los datos obtenidos para la UACM-SLT.

Tabla 4.13. Flujos luminosos para diferentes áreas de la UACM-SLT.

Área de trabajo	baño	laboratorio de computo	Laboratorios de química, física etc.	Salón de clases	Pasillo sección A (cartelas)	Pasillo sección B (cartelas)	Pasillo iluminación indirecta
Altura de trabajo (metros)	2.94	1.73	0.93	1.78	1.3	1.3	4
S = Área (metros)	4.02*5.9	5.3*10.8	9.8*13.5	5.36*9.54	2.9*34.4	2.9*59.65	2.9*10.5
K = Coeficiente de local	.82	2.06	6.11	1.93	2.06	2.13	1.75

Coeficiente de reflexión	Techo	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5
	Pared	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	suelo	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cu = Factor de utilización	0.73	.96	1.13	1.09	1.03	1.03	1.03	1.03
Cm = Coeficiente de mantenimiento	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Em (nivel de iluminación medio requerido en luxes)	200	500	500	300	50	50	50	50
Φ_T = Flujo luminoso (lúmenes)	8205.2	37266	73175	17592	6053	10487.9	1847.7	1847.7
NL = Número de luminarias necesarias	6	9	18	9	4	6	9	9
n = Número de lámparas por luminaria	1	2	2	2	4	4	1	1
Φ_L = Flujo luminoso mínimo necesario por lámpara (lúmenes)	1367.53	2070.3	2032.6	977.3	378.3	436.9	205.3	205.3
Distribución de luminarias (en metros) e <=	4<=4.7 Cumple con uniformidad	3<=2.8 No cumple, pero la diferencia es aceptable	2.75<=1.5 No cumple, la distancia entre lámparas debería de ser más corta o la altura de las luminarias más alta	2.75<=2.8 Cumple con la uniformidad	10.5<=1.6 No hay uniformidad quizás por esta razón hay lámparas con luz indirecta entre carteles	10.5<=1.6 No hay uniformidad quizás por esta razón hay lámparas con luz indirecta entre carteles	-----	-----

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 4.13, en la mayoría de las áreas del plantel hay lámparas fluorescentes T8 de 32 W de marcas como Philips y Osram, conectadas a sensores ultrasónicos lutron³⁵, de los cuales varios no funcionan. Además, en una evaluación de los niveles de iluminación que se realizó conforme a la NOM-025-STPS-2008³⁶, predominó una iluminación insuficiente a partir de que ya no hay contribución de luz natural, excepto para el Edificio de Profesores.

³⁵ Op. Cit. (lutron, 2013)

³⁶ SENER; NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Límites y métodos de prueba; México; 2008.

Capítulo V. Propuestas de ahorro de energía eléctrica para la UACM- SLT

5.1. Propuesta 1 Etiquetado de tableros de iluminación, edificios A, B y C

La siguiente propuesta se presenta para contrarrestar la falta de etiquetado que se detectó en las subestaciones de los edificios y es importante para tener identificados los circuitos, facilitar futuras propuestas de ahorro, hacer balance de cargas, algún mantenimiento, etc.

Tabla 5.1 Propuesta 1

Propuesta 1	Etiquetado de tableros de iluminación, Edificios A, B y C
Objetivo:	Tener un adecuado manejo de los circuitos, conociendo que áreas de iluminación se controlan.
Procedimiento:	Con dos personas se puede realizar el orden y etiquetado de los circuitos, una impresión enmicada por cada tablero de iluminación.
Tiempo de aplicación:	Una semana.
Status de Inversión	No se requiere de inversión

Fuente. Elaboración propia

En esta propuesta no se hace el cálculo energético, económico ni ambiental debido a que no requiere inversión y no trae un ahorro medible, sin embargo, es importante aplicarla para tener un orden y control de los circuitos eléctricos de los edificios.

Un dato importante para el cálculo del ahorro es tener el precio promedio por kWh pagado en los recibos de CFE por la UACM-SLT que se obtuvo de promediar los precios medios de cada recibo desde agosto del 2017 hasta noviembre del 2020 dividiendo el subtotal pagado de energía entre el total de energía consumida por cada recibo, dando como resultado un precio de 2.3 \$/kWh. Con esta información se hace el cálculo de ahorro de energía, del consumo actual y el proyectado.

5.2. Propuesta 2 Cambio tecnológico de lámpara fluorescente a lámpara led

Tabla 5.2 Propuesta 2

Propuesta 2	Cambio tecnológico de lámpara fluorescente a lámpara led
Objetivo:	Cumplir con una adecuada iluminación según la NOM-025-
Procedimiento:	<p>Quitar balastro electrónico de luminarias y realizar conexión acorde al tipo de conexión de la lámpara seleccionada. Sustituir lámpara de:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Salones con lámpara modelo FT832/841, longitud de 1200 mm, sustituir por lámpara led T8 a 277 V, base G13 (dos pines) temperatura de color entre 3300 a 5000 K, IRC > 80, flujo luminoso mayor a 900 lx, tomar en cuenta lámparas led con ángulo de iluminación de 360° por tipo de luminaria con eficacia mayor a 65 lm/w. b) En laboratorios de química, física, biología, y cómputo, colocar lámparas led con flujo luminoso mayor a 2100 lx, las lámparas en laboratorios del cuarto piso requieren haz de luz con ángulo de 240°, en todos los laboratorios se necesita lámpara t8 Philips de 2100 lm, base g13 bi pin, 4000 K, vida útil 50 000 h, potencia 14.5 a 277V, IRC 80-90, terminal doble CATALOGO 14.5T8/COR/48- 840/MF21/G 10/1 c) En los baños colocar lámparas led con flujo luminoso mayor a 1400 lx, temperatura de color 3000 K, IRC >75, longitud 1200 mm y eficacia mayor a 65 lm/W d) En las Cartelas colocar lámparas led con flujo luminoso mayor a 500 lx y agregar más luxes por cristal difusor que absorbe entre el 50 y 60 %, lo que se convierte en 800 lx, con temperatura de color de 3000 K, IRC >75, longitud 1,200mm y eficacia mayor a 65 lm/W

Tiempo de aplicación:	Seis meses
Status de Inversión	Se requiere de inversión

5.2.1 Propuesta 2a y 2c

Cambio de tecnología de lámparas fluorescentes T8 a Led T8 Osram de 16W, voltaje a 277. Esta propuesta se considera para salones de clase y los baños por las similitudes en las características de la lámpara que requieren cada área.

5.2.1.1 Evaluación energética

Tomando en cuenta un horario de funcionamiento de las lámparas de 17 hrs al día debido a un horario de funcionamiento de 6 am a 23:00 pm siendo este el horario de actividad que se mostró en las mediciones del diagnóstico energético realizado en UACM-SLT, se calcula por 5.5 días de actividad a la semana, 4 semanas del mes por 4.5 meses por semestre obteniendo un tiempo aproximado de 1683 hrs por semestre, al año serían 3366 hrs

Tabla 5.3 Propuesta 2a y 2c Evaluación energética

Área	Cantidad de lámparas	Potencia actual fluorescentes (32W)	Potencia Led (16W)	Ahorro de potencia instalada (W)	Ahorro anual de energía (kWh)
Edif A	840	26,880	13,440	13,440	45,239
Edif B	818	26,176	13,088	13,088	44,054
Edif C	872	27,904	13,952	13,952	46,962

Fuente. Elaboración propia

Se tiene que con la sustitución de nuevas lámparas marca osram con flujo luminoso de 1600 lx, en salones de clase habría un nivel de iluminación de 490 lx los cuales estarían por arriba de los 300 lx establecidos en la norma. Y para los baños se tendrían 234 lx que cumplen de igual forma con la normativa vigente.

5.2.1.2 Evaluación económica

La inversión por edificio es la siguiente:

Tabla 5.4 Propuesta 2a y 2c Evaluación económica

Área	Cantidad de Lámparas led	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
Edif A	840	62.37	52,390.8
Edif B	818	62.37	51,018.6
Edif C	872	62.37	54,386.6

Fuente. Elaboración propia

Nota: contemplar costos por instalación, quitar balastro y conectar lámpara (número de personas, mano de obra y tiempo de instalación), además de la actualización de los precios (precio actualizado al 2023).

Periodo de recuperación: $PR = \text{INVERSION TOTAL} / \text{INGRESOS CORRIENTES}$

Tabla 5.5 Propuesta 2a y 2c periodo de recuperación

Áreas	Ahorro anual de energía (kWh)	Ahorro anual económico (\$)	PR
Edif A	45,239	103,863	0.5 años
Edif B	44,054	101,145	0.5 años
Edif C	46,962	107,821	0.5 años

Fuente. Elaboración propia

El periodo de recuperación en los tres edificios es de medio año, considerando que las lámparas tienen un tiempo de vida de 15,000 horas, divididas entre las horas que se ocuparían al año (3,366 h/año) da un tiempo de vida aproximado de 4.45 años.

5.2.1.2 Evaluación ambiental (emisiones de CO₂)

Tomando en cuenta el factor de emisión del sistema eléctrico nacional para el 2021³⁷ fue de 0.423 tCO_{2e}. El ahorro en la emisión de GEI es:

$$\text{Edif A GEI} = 0.423 \text{ Tco2e/MWh} * ((45,239\text{kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1 \text{ 000 KW})) = 19.1. \text{ tCO}_2\text{e}$$

$$\text{Edif B GEI} = 0.423 \text{ Tco2e/MWh} * ((44,054\text{kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1 \text{ 000 KW})) = 18.6 \text{ tCO}_2\text{e}$$

$$\text{Edif C GEI} = 0.423 \text{ Tco2e/MWh} * ((46,962\text{kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1 \text{ 000 KW})) = 19.9 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Por los tres edificios da un ahorro de GEI de 57.6 tCO_{2e}

³⁷ SEMARNAT, *Factor de emisión del sector eléctrico nacional 2021*, México, 2022.

5.2.2 Propuesta 2b

Cambio tecnológico de lámpara fluorescente T8 de 32W a lámpara Led T8 de 18 W funcionando a un voltaje de 277 V para laboratorios de cómputo, biología, química y física. Para los laboratorios también se considera el mismo horario que en salones dando un total de horas de funcionamiento anual de 3366 hrs.

5.2.2.1 Evaluación energética

Tabla 5.6 Propuesta 2b Evaluación energética

Área	Cantidad de lámparas	Potencia actual fluorescentes (32W)	Potencia Led (18W)	Ahorro de potencia instalada (W)	Ahorro anualde energía (kWh)
Edif A	396	12,672	7,128	5,544	18,661
Edif B	216	6,912	3,888	3,024	10,179
Edif C	274	8,768	4,932	3,836	12,912

Fuente. Elaboración propia

Los diferentes laboratorios se contemplan dentro de la misma propuesta pues comparten un requerimiento similar de nivel de iluminación y prácticamente se encuentran funcionando en un horario similar. El flujo luminoso que se requiere para estas lámparas es mayor a 2000 lúmenes con las lámparas escogidas de 2100 lúmenes quedaría un nivel de iluminación en laboratorios de 517 lux aproximadamente.

5.2.2.2 Evaluación económica

Tabla 5.7 Propuesta 2b Evaluación económica

Área	Cantidad de Lámparas led	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
Edif A	396	110.81	43,881
Edif B	216	110.81	23,935
Edif C	274	110.81	30,362

Fuente. Elaboración propia

Nota: contemplar costos por instalación, quitar balastro y conectar lámpara (número de personas, mano de obra y tiempo de instalación), además de la actualización de los precios (precio actualizado al 2023).

Periodo de recuperación: $PR = INVERSION\ TOTAL / INGRESOS\ CORRIENTES$

Tabla 5.8 Propuesta 2b periodo de recuperación

Área	Ahorro anual de energía (kWh)	Ahorro anual económico (\$)	PR
Edif A	18,661	42,920	1.02
Edif B	10,179	23,409	1.02
Edif C	12,912	29,697	1.02

Fuente. Elaboración propia

El periodo de recuperación es de 1 año.

5.2.2.3 Evaluación ambiental (emisiones de CO2)

Edif A GEI = 0.423 Tco2e/MWh * ((18,661kWh/año)*(1 MW/1 000 KW)) = 7.9 tCO₂e

Edif B GEI = 0.423 Tco2e/MWh * ((10,179kWh/año)*(1 MW/1 000 KW)) = 4.3 tCO₂e

Edif C GEI = 0.423 Tco2e/MWh * ((12,912kWh/año)*(1 MW/1 000 KW)) = 5.5 tCO₂e

Por los tres edificios da un ahorro de GEI de 17.7 tCO₂e

5.2.3 Propuesta 2d

Cambio tecnológico de lámpara fluorescente T8 32W a lámpara Led T8 16W marca osram funcionando en un voltaje de 277 V en pasillos (cartelas, vestíbulos).

Tomando en cuenta el horario de operación de las lámparas en exteriores mostrado en el diagnostico energético quedarían encendidas las 24 hrs, toda la semana durante 4.5 meses aproximadamente por semestre dando como resultado 3,024 hrs/semestre al año son 6,048 hrs/año.

5.2.3.1 Evaluación energética

En la siguiente evaluación energética se considera el ahorro por las lámparas que están prendidas las 24 horas, se tiene un aproximado de:

Tabla 5.9 Propuesta 2d Evaluación energética

Área	Cantidad de lámparas	Potencia actual fluorescentes (32W)	Potencia Led (16W)	Ahorro de potencia instalada (W)	*Ahorro anual de energía (kWh)
Edif A	210	6,720	3,360	3,360	20,321
Edif B	210	6,720	3,360	3,360	20,321
Edif C	210	6,720	3,360	3,360	20,321

Fuente. Elaboración propia

*considerando que las lámparas de las cartelas se quedan encendidas las 24 horas

Con esta lámpara led osram que ofrece 1600 lm quedaría una iluminación en pasillos de 200 lx, lo mínimo requerido por la norma es de 50 lx.

5.2.3.2 Evaluación económica

Tabla 5.10 Propuesta 2d Evaluación económica

Áreas	Cantidad de Lámparas led	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
Edif A	210	62.37	13,098
Edif B	210	62.37	13,098
Edif C	210	62.37	13,098

Fuente. Elaboración propia

Nota: contemplar costos por instalación, quitar balastro y conectar lámpara (número de personas, mano de obra y tiempo de instalación), además de la actualización de los precios.

Periodo de recuperación: $PR = \text{INVERSION TOTAL} / \text{INGRESOS CORRIENTES}$

Tabla 5.11 Propuesta 2d periodo de recuperación

Área	Ahorro anual de energía (kWh)	Ahorro anual económico (\$)	PR
Edif A	20,321	46,738	0.3
Edif B	20,321	46,738	0.3
Edif C	20,321	46,738	0.3

Fuente. Elaboración propia

El periodo de recuperación es aproximadamente de tres meses y medio.

5.2.3.3 Evaluación ambiental (emisiones de CO₂)

Edif A $GEI = 0.423 \text{ Tco}_2\text{e/MWh} * ((46,738 \text{ kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1\ 000 \text{ KW})) = 19.8 \text{ tCO}_2\text{e}$

Edif B $GEI = 0.423 \text{ Tco}_2\text{e/MWh} * ((46,738 \text{ kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1\ 000 \text{ KW})) = 19.8 \text{ tCO}_2\text{e}$

Edif C $GEI = 0.423 \text{ Tco}_2\text{e/MWh} * ((46,738 \text{ kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1\ 000 \text{ KW})) = 19.8 \text{ tCO}_2\text{e}$

Por los tres edificios da un ahorro de GEI de 59.4 tCO₂e

5.3. Propuesta 3 Instalación de fotocontroladores de iluminación para lámparas en pasillos de edificios A, B y C.

Se propone el uso de fotocontroladores ZTL para lámparas led para aminorar el consumo en las luminarias de pasillos de los edificios A, B y C. Para calcular el ahorro de esta propuesta se considera el horario donde el fotocontrolador va a cortar el paso de corriente hacia las lámparas, el horario sería de las 7:00 am a las 18:00 hrs dando un total de 11 hrs toda la semana por 4.5 meses son 1,386 hrs/semestre, al año serían 2,772 hrs/año. El cálculo de este ahorro se hará tomando en cuenta lámparas de 16 W.

Tabla 5.12 Propuesta 3

Propuesta 3	Instalación de fotocontroladores de iluminación, para lámparas en pasillos de Edif A, B y C.
Objetivo:	Reducir el consumo de energía eléctrica y prolongar el tiempo de vida de las lámparas.
Procedimiento:	Por desarrollar
Tiempo de aplicación:	Tres semanas
Status de Inversión	Se requiere de inversión

Fuente. Elaboración propia

El fotocontrolador para led propuesto resiste una carga de 2200 watts y resulta que hay tres circuitos para lámparas de pasillos por cada edificio, el circuito C7 tiene 10 luminarias de 4 lámparas por 32 watts a 277 V, EL C13 tiene 20 luminarias y por último el circuito C29 con 10 luminarias.

Si se cambian las lámparas a led de 16 watts el C7 tendría 640 watts, con lámparas de 32 se tendría 1280 W, en el C13 tendría con 16W una potencia de 1280W y con lámpara de 32W se tendría 2560 W, por último, el C29 tendría lo mismo que el C7.

5.3.1 Evaluación energética

Tabla 5.13 Propuesta 3 Evaluación energética

Área	Cantidad de lámparas	Cantidad de fotocontroladores ZTL	Ahorro anual de energía (kWh)*
Edif A	210	3	9,314
Edif B	210	3	9,314
Edif C	210	3	9,314

*el cálculo de ahorro se realizó considerando lámparas de 16 W

Fuente. Elaboración propia

5.3.2 Evaluación económica

Tabla 5.14 Propuesta 3 Evaluación económica

Área	Cantidad de fotocontroladores	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
Edif A	3	500	1,500
Edif B	3	500	1,500
Edif C	3	500	1,500

Fuente. Elaboración propia

Nota: contemplar costos por instalación, quitar balastro y conectar lámpara (número de personas, mano de obra y tiempo de instalación), además de la actualización de los precios.

Periodo de recuperación: $PR = \text{INVERSION TOTAL} / \text{INGRESOS CORRIENTE}$

Tabla 5.15 Propuesta 3 periodo de recuperación

Área	Ahorro anual de energía (kWh)	Ahorro anual económico (\$)	PR
Edif A	9,314	21,422	0.07
Edif B	9,314	21,422	0.07
Edif C	9,314	21,422	0.07

Fuente. Elaboración propia

El periodo de recuperación es de aproximadamente una semana

5.3.3 Evaluación ambiental (emisiones de CO₂)

Edif A GEI = $0.423 \text{ Tco}_2\text{e/MWh} * ((9,314 \text{ kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1000 \text{ KW})) = 3.9 \text{ tCO}_2\text{e}$

Edif B GEI = $0.423 \text{ Tco}_2\text{e/MWh} * ((9,314 \text{ kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1000 \text{ KW})) = 3.9 \text{ tCO}_2\text{e}$

Edif C GEI = $0.423 \text{ Tco}_2\text{e/MWh} * ((9,314 \text{ kWh/año}) * (1 \text{ MW}/1000 \text{ KW})) = 3.9 \text{ tCO}_2\text{e}$

Por los tres edificios da un ahorro de GEI de 11.8 tCO₂e

5.4. Propuesta 4 Instalación de banco de capacitores automático

Se propone la instalación de un banco de capacitores para rectificar el bajo factor de potencia en el plantel SLT. El banco de capacitores que se requiere debe ser automático estándar de gabinete metálico para una instalación eléctrica trifásica, con un voltaje de operación de 220 V, una frecuencia de 60 hz y con una potencia reactiva de 100 Kvar.

Tabla 5.16 Propuesta 4

Propuesta 4	Instalación de banco de capacitores Automático.
Objetivo:	Eliminar las multas por bajo factor de potencia y obtener las bonificaciones, además de cuidar las instalaciones eléctricas.

Procedimiento:	Con una persona se puede realizar el orden y etiquetado de los circuitos, una impresión enmicada por cada tablero de iluminación.
Tiempo de aplicación:	Cuatro días
Status de Inversión	Se requiere de inversión

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente tabla se puede apreciar el factor de potencia y el cargo que la Comisión de CFE ha aplicado al plantel SLT al estar por debajo de lo establecido.

Tabla 5.17

Fecha	Fp (%)	Penalización (\$)
Agosto 2017	89.8	77.28
Septiembre 2017	83.55	7 470.14
Octubre 2017	86.79	4 306.04
Noviembre 2017	86.76	4 592.38
Diciembre 2017	85.82	4 808.98
Enero 2018	85.82	4 293.76
Febrero 2018	87.88	2 363.50
Marzo 2018	85.39	5 832.42
Abril 2018	88.51	2 016.41
Mayo 2018	88.22	2 614.54
Junio 2018	85.83	6 217.93
Julio 2018	74.80	22 455.80
Agosto 2018	84.71	10 879.33
Septiembre 2018	85.28	10 440.52
Octubre 2018	88.65	3 100.15
Noviembre 2018	89.71	682.60
Diciembre 2018	84.21	9 274.32
Enero 2019	85.09	8 511.88
Febrero 2019	88.05	3 366.36
Marzo 2019	85.44	9 082.92
Abril 2019	86.65	6 332.62
Mayo 2019	88.89	1 917.00

Octubre 2020	79.83	1 389.34
Noviembre 2020	75,32	17 010.14
Diciembre 2020	75,07	19 002.08
	Total	168 038

Fuente. Elaboración propia

5.4.1 Evaluación económica

Tabla 5.18 Propuesta 4 Evaluación económica

Área	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio Total (\$)
Banco de capacitores automático	1	235,000	235,000

Fuente. Elaboración propia

Nota: contemplar costos por instalación.

Periodo de recuperación: $PR = \text{INVERSION TOTAL} / \text{INGRESOS CORRIENTE}$

Tabla 5.19 Propuesta 4 periodo de recuperación

Área	Ahorro anual económico (\$)	PR
Edif A	85,000	2.7

Fuente. Elaboración propia

El periodo de recuperación es de aproximadamente tres años.

Conclusiones

- En los edificios escolares existentes en el Plantel San Lorenzo Tezonco, la identificación de los potenciales ahorros en consumos de energía es la clave para una correcta intervención que asegure mejoras en el desempeño energético con una inversión acotada. A su vez, para identificar potenciales ahorros, es necesario continuar estudiando el actual desempeño energético de los edificios, incluyendo los consumos históricos y el relevamiento del equipamiento energético existente.
- Diseñar una estrategia de eficiencia energética que dependa de la conducta de los usuarios y sea aplicada, independiente del potencial de ahorro, por cuanto no requiere gastos de inversión.
- En relación a los usos finales de consumo de energía eléctrica, la iluminación representa el uso de mayor participación en el consumo eléctrico de edificios escolares. Este resultado significa que el diseño de una adecuada iluminación natural en edificios escolares sigue siendo un tema esencial (y pendiente) que requiere una mayor atención de parte de las autoridades de la Universidad.
- La transición a tecnología LED en iluminación generaría ahorros sustanciales, de aproximadamente 50% en el uso final de iluminación, y a pesar de tener un costo medio a elevado, es un cambio que en muy poco tiempo puede ser implementado en todos los edificios. Dependiendo de la disponibilidad de presupuesto, el reemplazo se podrá efectuar de manera gradual o en una sola intervención. De ser gradual, es conveniente iniciar el reemplazo dando prioridad a los espacios de mayor utilización y, al mismo tiempo, reemplazar las lámparas convencionales a medida que llegan al fin de su vida útil. El costo depende del tipo de lámpara y luminaria a reemplazar.
- Es posible generar una reducción importante de consumo eléctrico optimizando el sistema de limpieza. Esto incluye disminuir la cantidad de horas para limpieza durante la noche y aprovechar más la luz diurna, el control del apagado de luminarias mientras se realiza esta tarea, evitando mantener todas las luminarias encendidas mientras un reducido número de personas realiza la limpieza. En algunas escuelas se realiza la limpieza desde la hora de finalización de clases hasta la hora 5 de la mañana siguiente con muy poco personal trabajando durante todo el tiempo.

Bibliografía

1. BEA. *Certificación Leed*. Recuperado el 10 de septiembre del 2019, de <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>
2. BREEAM. *BREEAM INTERNACIONAL*. Recuperado el 10 de septiembre del 2019, de <https://breeam.es/internacional/>
3. Cámara de Diputados. (2001). *Evaluación y Perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2000*.
4. Carpio, C. Coviello, M. F. (2013). *Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe: Avances y Desafíos del último Quinquenio*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago de Chile.
5. Chatellier, D., & McNeil, M. (2019). *Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector servicios*. Cuadernos de la CONUEE, 11.
6. Chávez, C. (2018). *Fundamentos para el ahorro de energía eléctrica*. [Diapositiva de Power Point] no publicada.
7. Cinquantini, M. A. Capalbo, L. Bertolino, R. Ayala, E. Heredia, M. J. (2017). *Modelo de diagnóstico energético con propuestas de plan de eficiencia energética en edificios públicos*. Friedrich Ebert Stiftung. (N° 19). Argentina. Recuperado el 21 de enero del 2019, de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/argentinien/13398.pdf>
8. Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2017). *Anexo B del acuerdo A/058/2017*. Recuperado el 10 de septiembre del 2019, de http://subace.com.mx/normateca/regulacion_energetica_sb/calculo_tarifa_sb/ANEXO_B_A_058_2017.pdf

9. CFE. (2005). *Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica especificación L000-45*.
10. CFE. (2017). *tarifas*. Recuperado el 21 de septiembre del 2019, de https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp
11. CFE. (2018). *Informe anual 2018*. Recuperado el 27 de Octubre del 2019, de https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-05-15-1/assets/documentos/PoderEjecutivo_informe_anual_2018_cfe.pdf
12. Comisión Reguladora de Energía (CRE). (2018). *Acuerdo A/064/2018*. Recuperado el 27 de Octubre del 2019, de
13. CRE. (2016). *Código de red*. Recuperado el 21 de octubre del 2019, de [https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENyMEM/\(DOF%202016-04-08%20CRE\)%20RES-151-2016%20DACG%20Código%20de%20Red.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENyMEM/(DOF%202016-04-08%20CRE)%20RES-151-2016%20DACG%20Código%20de%20Red.pdf)
14. Comunidad de Madrid. (2017). *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios Públicos de la Comunidad de Madrid*.
15. ECOENERBLOG. (2018). *Etiqueta de eficiencia energética*, Recuperado el 7 de marzo del 2021, de <https://ecoenerblog.wordpress.com/2018/05/11/la-etiqueta-amarilla-de-eficiencia-energetica/>
16. Fideicomiso para el ahorro (FIDE). (2012). *Tipos de sello FIDE*. Recuperado el 27 de octubre del 2019, de https://www.fide.org.mx/?page_id=14959.

17. Francisca Casado, M. (2016). *El futuro energético de Japón: entre el regreso a la senda nuclear y el giro hacia las renovables*. Recuperado el 21 de Octubre del 2019, de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-83486/UNISCIDP41-4CASADO.pdf>
18. García Flores, J. L. Morales Valencia, J. J. Palomino Hernández, R. E. (2015). *Diagnostico energético aplicado a edificio Colisur y Lema del instituto de física*. Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
19. González Cervantes, I. R. (2019). *Diagnóstico Energético a las instalaciones de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México plantel San Lorenzo Tezonco*. Tesis de Licenciatura no publicada, Universidad Autónoma de la Ciudad de México/ San Lorenzo Tezonco.
20. Hernández Fernández, J. O. Lucio Gonzalez, L. A. (2014) Evaluación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo del Laboratorio de alta tecnología de Xalapa (LATEX) Universidad Veracruzana
21. International Organization for Standardization (2017). *Realización de una Auditoria Energética/ ISO 50002:2014*. (Primera edición). Ginebra, Suiza: Secretaría Central de ISO.
22. Laguna Padilla, R. M. (2011). *Diagnostico energético del edificio de rectoría de la Universidad Autónoma de Baja California Sur*. Trabajo de grado. Área de conocimiento de ciencias del mar, departamento de ingeniería en pesquerías. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
23. Martinez Martin P. (2021) *Eficiencia energética en iluminación en aulas en la ETSIE*, Universidad Politécnica de Valencia
24. Messina López, V. (2012). *Diagnostico energético eléctrico en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas*. Trabajo de grado, Ingeniería y Tecnología. Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas.

25. Monteoliva, J. M. Pattini, A. (2013). *Iluminación natural en aulas: análisis predictivos dinámicos del rendimiento lumínico-energético en clima soleados*. Porto Alegre. (V. 13, N° 4). Asociación de tecnología de Ambiente Construido. Recuperado el 21 de enero de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/80359361.pdf>
26. Odón de Buen R. (2020) *El programa de ahorro de energía eléctrica en edificios de la administración pública federal: un recuento (1993-2019)*.
27. Realpozo del Castillo, P. E. (2007). *Ahorro de Energía Eléctrica en México Avances y Prospectiva 2006 – 2012*. Academia de Ingeniería.
28. Rojas Clavijo, D. M. (2016). *Diagnóstico energético y propuesta de mejoramiento de la eficiencia energética de un edificio existente*. Trabajo de grado, Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
29. Soto Mazo E. A. Paz Zapata J. A. (2006) *Manual de iluminación interior, Universidad Autónoma de Occidente*.
30. Secretaria de Energía (SENER) (2015). *Estudio de Eficiencia Energética en escuelas*. Recuperado el 20 de Octubre del 2019, de <https://www.gob.mx/sener/documentos/estudios-de-eficiencia-energetica>
31. SENER (2018). *Prospectiva del Sector Eléctrico*. Recuperado el 20 de Octubre del 2019, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325640/Prospectiva del Setor El ctrico 2017-2031.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325640/Prospectiva_del_Setor_El_ctrico_2017-2031.pdf)
32. SENER (2018). *Prospectiva de Gas Natural 2018-2032*. Recuperado el 27 de Octubre del 2019, de https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PGN_18_32_F.pdf

33. SENER (2019). *Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional* Recuperado el 20 de Octubre del 2019, de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prodesen-2019-2033>
34. SENER. (2010). *NOM-028-ENER-2010 Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba*; México.
35. SENER. (2012). *NOM-017-ENER/SCFI-2012 Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba*; México.
36. SENER. (2016). *NOM-030-ENER-2016 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba*; México.
37. SENER. (2008). *NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Límites y métodos de prueba*; México.
38. Sweatman, P. (2016). *Marco Político de Largo Plazo para la Eficiencia Energética*. Recuperado el 27 de Octubre del 2019, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/194644/Marco_Pol_tico_de_Largo_Plazo_para_la_EE_DASE_241116_REV2_090217_1-82.pdf
39. Urteaga Dufour, J.A., & Cortina Correa, L. (2019). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE OFICINAS EN MÉXICO*. Recuperado el 3 de Noviembre del 2019, de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Programa_de_Eficiencia_Energética_en_Edificios_de_Oficinas_en_México_es_es.pdf
40. United Nations Climate Change; *Acuerdo de París; 2015*. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish.pdf

41. Naciones Unidas; Datos y cifras. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=El%20sector%20de%20suministro%20de,35%20%25%20de%20las%20emisiones%20totales>.

Anexo 1. Esquema de desarrollo de auditorías energéticas

5 REALIZACIÓN DE UNA AUDITORIA ENERGÉTICA/ISO 50002:2014

5.1 Generalidades

El proceso de auditoría energética consistente en las etapas siguientes, como se muestra en la figura 1:

- a) Plan de auditoría energética (5.2);
- b) Reunión de apertura (5.3) y recopilación de datos (5.4);
- c) Plan de medición (5.5)
- d) Realización de la visita en el emplazamiento (5.6);
- e) Análisis (5.7);
- f) Informe de la auditoría energética (5.8);
- g) Reunión de cierre (5.9).

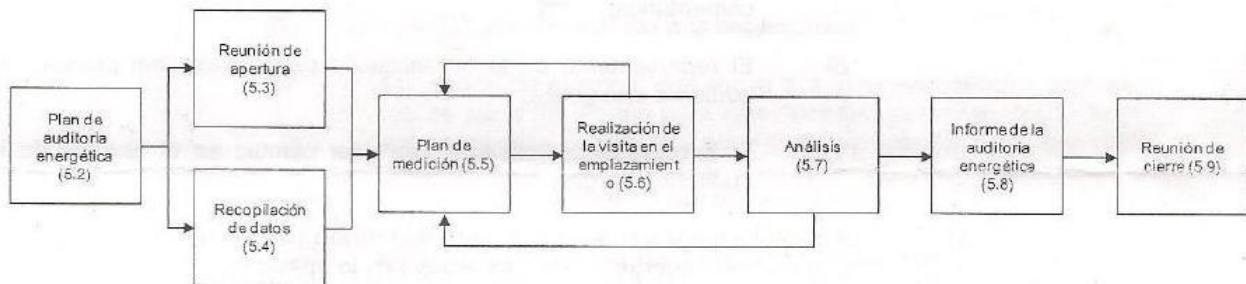


FIGURA 1.- Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética

5.2 Planeación de la auditoría energética

Las actividades del plan de auditoría energética son esenciales para definir el alcance y objetivos de la auditoría energética y para recopilar información preliminar de la organización.

Con el fin de realizar el alcance de la auditoría energética y asegurar llevar a cabo una auditoría energética eficaz, se debe aplicar lo siguiente:

- a) El auditor energético y la organización debe acordar lo siguiente:
 - 1) El alcance, límites y objetivos de la auditoría energética;
 - 2) Necesidades y expectativas para lograr los objetivos de la auditoría;
 - 3) Nivel de detalle que se requiere;

NOTAS

- 1 El apéndice A proporciona una orientación que puede ser útil para las etapas de planeación, incluye tipos de auditoría.

Los procedimientos de muestreo pueden ser necesarios cuando no es práctico ni rentable analizar toda la información disponible durante la auditoría energética. El muestreo se describe en B.3 de la ISO 19011:2011, Procedimientos y métodos pueden seleccionarse con base en el alcance de la auditoría energética.

- 3 El apéndice A proporciona orientación adicional del plan medición de datos.

5.6 Realización de la visita en el emplazamiento

5.6.1 Administración del trabajo en campo

El auditor energético debe:

- a) Observar los usos de la energía junto con la organización y comparar con la información que se proporciona en 5.4;
- b) Evaluar el uso y consumo de la energía de acuerdo con el alcance, límites, objetivos y metodología acordada para la auditoría energética.
- c) Comprensión del impacto de las rutinas de operación y el comportamiento de los usuarios sobre el desempeño energético;
- d) Generación preliminar de ideas, oportunidades, cambios operativos o tecnologías que puedan conducir al mejoramiento del desempeño energético;
- e) Listar áreas y procesos para los cuales se requieren datos adicionales para un análisis posterior.
- f) Asegurar que las mediciones, observaciones y datos históricos son representativos para las prácticas operativas;

NOTAS:

- 1 Las instalaciones pueden tener dos o más modos de operación, ej. "día", "noche", "tarde" o "fin de semana". También puede haber diferencias por la temporada, ej. las instalaciones de procesamiento de alimentos.
- 2 Hacer observaciones y mediciones fuera de los horarios de normales de trabajo, durante los tiempos muertos o cuando no se tiene una expectativa climática puede ser beneficioso.
- g) Asegurar que los datos históricos que se proporcionan son representativos de la operación normal;
- h) Informar inmediatamente a la organización de cualquier dificultad inesperada durante la auditoría energética, incluyendo el acceso a los datos y documentación.

5.6.2 Visitas a los emplazamientos

El auditor energético debe estar de acuerdo con la organización para:

- a) Identificar uno o más personas que proporcionen acceso y sean una guía para el auditor durante las visitas a los emplazamientos, si se requiere: estas

- b) Usos de energéticos que representan un consumo de energía importante;
- c) Comparación de los valores de referencia de procesos similares, donde sea disponible y comparable;
- d) Patrón histórico del desempeño energético;
- e) Mejoras esperadas en el desempeño energético;
- f) Relación entre el desempeño energético y las variables pertinentes donde aplique;
- g) Una evaluación de los indicadores de desempeño energético existentes y si es necesario una propuesta para nuevos indicadores de desempeño energéticos.

NOTA – Verificación de datos que se refieren en un método documentado que se usa para verificar si el conjunto de datos son o no precisos, coherentes y únicos. El método de verificación de datos es capaz de corregir un conjunto de datos primarios de manera que la verificación del conjunto de datos sea precisa, coherente y única.

5.7.3 Identificación de oportunidades de mejora

El auditor energético debe identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético, mismas que se basan en un análisis y en lo siguiente:

- a) Su propia competencia y experiencia;
- b) Evaluación de las opciones de diseño y configuración para hacer frente a las necesidades del sistema

NOTAS:

- 1 El consumo de energía mínimo de un sistema para entregar un producto o servicio.
- c) La vida útil de funcionamiento, condición, operación y nivel de mantenimiento de los objetivos auditados.
- d) La tecnología de los usos de la energía existente en comparación con los más eficientes en el mercado;
- e) Las mejores prácticas, incluyendo controles y comportamientos de funcionamiento;
- f) Usos de la energía futuros y cambios en el funcionamiento.
- 2 Las oportunidades para la mejora del desempeño energético pueden también complementarse por sugerencias de fuentes de energía alternativas, sustitución de combustibles, cogeneración, fuentes de energía renovables, entre otros.

5.7.4 Evaluación de las oportunidades de mejora

El auditor energético debe evaluar el impacto de cada oportunidad sobre los datos de desempeño energético actuales, basándose en lo siguiente:

- 4) Periodo de tiempo para completar la auditoria energética;
- 5) Criterio de evaluación y clasificación de oportunidades de mejora del desempeño energético;

EJEMPLO 1: Retorno de la inversión; potencial de ahorro de energía a través del tiempo; costo del ciclo de vida; análisis de costos para el reemplazo de más equipo de desempeño energético.
- 6) Tiempos compromiso y otros recursos para la organización;
- 7) Datos pertinentes para hacerlos disponibles antes de iniciar la auditoria energética;

EJEMPLO 2: Diagramas, distribución de planta, consumo de energía históricos; facturación de servicios cuando se requiera verificar, manuales de equipo y otra documentación técnica, incluye plan de medición y/o inspecciones durante la auditoria energética.
- 8) Los resultados esperados y el formato del informe;
- 9) Un informe preliminar puede presentarse a la organización para comentarios;
- 10) El representante de la organización responsable del proceso de auditoria energética;
- 11) El proceso para concertar cualquier cambio en el alcance de la auditoria energética.

b) El auditor energético debe solicitar información para establecer el contexto de la auditoria energética, la cual incluye en lo aplicable:

- 1) Requisitos legales u otros requisitos que afecten la auditoria energética;
- 2) Requisitos legales u de otro tipo que afecte el alcance de la auditoria energética propuesta;
- 3) Planes estratégicos que puedan afectar el desempeño energético de la organización.

EJEMPLO 3: Planes de gestión de activos; cambio de la mezcla de productos; planes de expansión; planeación de proyectos; gestión de subcontratación o mantenimiento de los equipos.
- 4) Sistemas de gestión, tales como ambiental, calidad, gestión de la energía u otros;
- 5) Factores o consideraciones especiales que puedan cambiar el alcance, los procesos y las conclusiones de la auditoria energética.
- 6) Cualquier consideración, incluso las más subjetivas como opiniones, ideas y restricciones existentes que se relacionan con las posibles medidas de mejora del desempeño energético.

- c) El auditor energético debe informar a la organización de:
- 1) Instalaciones, equipo y servicios que se requieren para llevar a cabo la auditoría energética;
 - 2) Intereses comerciales u otros que puedan influenciar sus conclusiones y recomendaciones;
 - 3) Cualquier otro conflicto de interés.

5.3 Reunión de apertura

El propósito de la reunión de apertura es para que el auditor energético informe a las partes interesadas el objetivo de la auditoría energética, el alcance de la auditoría energética definido, los límites y métodos y la revisión de las disposiciones de la auditoría energética (ej. instrucciones de seguridad, acceso, seguridad, entre otros).

NOTAS:

- 1 Una reunión puede incluir llamadas telefónicas, teleconferencias y otros medios electrónicos.

- a) El auditor energético debe solicitar a la organización:

- 1) Asignación de personal que apoye al auditor energético o personal que es parte del equipo para este fin: estas personas deben tener la competencia necesaria y autoridad para solicitar o llevar a cabo operaciones en los procesos y equipos, apoyar en el alcance y objetivos de la auditoría energética definidos.
- 2) Informar al personal y las partes interesadas acerca de la auditoría energética, sus funciones, responsabilidades, cooperación y otros requisitos asignados.
- 3) Asegurar la cooperación de la partes afectadas;
- 4) Confirmar cualquier condición inusual que pueda afectar la auditoría energética o el desempeño energético, ej. trabajos de mantenimiento, visitas especiales (clientes, entidades gubernamentales, entre otro), cambios significativos en los volúmenes de la producción y otros.

Se debe designar del equipo auditor, a un miembro como auditor líder energético.

- 2 Algunos de estos requisitos pueden haberse tratado en una etapa anterior.

- b) El auditor energético debe acordar con la organización:

- 1) Formas de acceso, como lo requiere el alcance de la auditoría energética definida por el auditor energético;
- 2) Requisitos para la salud, seguridad e higiene, protección e instrucciones y procedimientos de emergencia;

- 3) Disponibilidad de recursos, incluye datos energéticos y otras medidas adicionales necesarias;
- 4) Acuerdos confidenciales aplicables (ej. inquilinos de un edificio);
- 5) Requisitos para cualquier medida especial, si es necesario;
- 6) Procedimientos a seguir para la instalación de equipos, si es necesario.

El auditor energético debe revisar los detalles del plan de auditoría energética con la organización, incluyendo horarios, procesos, posible necesidad de equipos adicionales de medida, entrevistas con el personal de la organización, reuniones, visitas a emplazamientos, entre otros.

5.4 Recopilación de datos

Cuando esté disponible, el auditor energético debe recopilar, cotejar y registrar los datos energéticos que apoyen a los objetivos de la auditoría. Esto incluye la información siguiente:

- a) Una lista de los sistemas procesos y quipo de consumo de energía;
- b) Características detalladas de los usos de la energía en el alcance de la auditoría energética definido, incluye variables aplicables y como la organización cree que influyen en el desempeño energético.
- c) Datos históricos y actuales del desempeño energético, incluyendo:
 - 1) Consumo de energía;
 - 2) Variables aplicables;
 - 3) Mediciones que se relacionan aplicables;

EJEMPLO 1: Mediciones del factor de potencia; resultados de una encuesta de aire comprimido o termográfica.
 - 4) Historia operativa y eventos pasados pueden afectar el consumo de energía en el periodo en que se recopilan los datos.
- d) Equipo de medición, configuración y análisis de la información;

EJEMPLO 1: Indicadores locales, sistemas de control y distribución, tipos de instrumentación.

NOTA – La disponibilidad para la medición de los datos puede recopilarse y cotejarse por una parte externa, ej. una empresa de servicios.
- e) Planes futuros que puedan afectar el desempeño energético;

EJEMPLO 3: Planes de expansión, contracciones o cambios en el volumen de la producción.

EJEMPLO 4: Cambios previstos o reemplazo de equipos o sistemas que tienen consecuencia importantes en la energía.

EJEMPLO 5: Traslado o subcontratación de las instalaciones, equipos o sistemas.

- g) Auditoria energética o estudios previos que se relacionan con el desempeño energético;
- h) Current energy rate schedule(s) (or tariffs) or a reference rate (or tariff) to be used for financial analysis
- i) Otro dato económico aplicable;
- j) Conocimientos sobre cómo la organización gestiona el uso y consumo de la energía.
- k) Sistemas de distribución de la energía y su gestión.

5.5 Plan de medición

Para cualquier medición y recopilación de datos sobre un emplazamiento, el auditor energético y la organización debe llegar a un acuerdo sobre un plan de medición. Los datos del plan de medición pueden revisarse con base en los resultados encontrados por los auditores energéticos durante la auditoria energética. Los principales elementos que deben incluirse en el plan de medición son:

- a) Una lista de los puntos de medición pertinentes y el proceso asociado y equipo de medición;
- b) Identificación de cualquier punto de medición adicional, equipo de medición idóneo, procesos asociados y la factibilidad de la instalación;
- c) Precisión y repetitibilidad de las mediciones e incertidumbre de las mediciones asociadas;
- d) Duración y frecuencia de las mediciones para cada medición, ej. puntos de datos individuales o seguimiento continuo;
- e) Frecuencia de para cada medición;
- f) Periodo de tiempo donde las actividades son representativas;
- g) Variables aplicables que se proporcionan por la organización, ej. Parámetro de operación y datos de la producción;
- h) Responsabilidades para llevar a cabo las mediciones, incluye personal que trabaja para o en representación de la organización;

NOTAS:

- 1 Para la organización, la persona responsable puede ser el auditor energético o un proveedor externo como un subcontratista.
- g) Calibración y trazabilidad del equipo de medición (si es posible o factible).
- 2 Es importante que los datos que se requieren, como son producción histórica mensual y facturas de servicios públicos, se proporcionen por la organización: la organización clarifica la precisión de su energía, producción y otros datos; el auditor confirma si el análisis se basa en los datos medidos de forma precisa y especifica cómo se obtienen los datos, ej. lectura de un metro, estimación o calculo de otra forma, el análisis también comprueba que los datos son comparables.

- a) Ahorro de energía durante un tiempo establecido o vida útil de funcionamiento esperado;

EJEMPLO: Ahorro de energía, mejoras en el consumo de la energía específicos, entre otros.

- b) Ahorros financieros anticipados para cada oportunidad de mejora;
- c) Investigaciones necesarias;
- d) Acuerdos económicos y otros criterios identificados en el plan de auditoría energética;
- e) Otras ganancias no energéticas (como son productividad y mantenimiento);
- f) La clasificación de oportunidades de desempeño energético;
- g) Interacciones potenciales entre varias oportunidades.

NOTAS:

- 1 La organización puede necesitar emprender trabajo adicional para identificar y calificar completamente los impactos de las oportunidades.
- 2 En la medida de lo posible, las oportunidades se evalúan durante la vida útil de funcionamiento previsto o esperado.

Cuando sea conveniente para el alcance, límites y objetivos de la auditoría energética que se acordaron previamente, se recomienda que el auditor energético complemente estos resultados con los requisitos para obtener datos adicionales y definir su análisis posterior.

5.8 Informe de la auditoría energética

5.8.1 Generalidades

De acuerdo con 5.2, se recomienda que el auditor acuerde el horario sobre un informe. Cuando se informe los resultados de la auditoría energética, el auditor energético debe:

- a) asegurar que los requisitos de la auditoría energética que se acordaron con la organización se conocen, incluyendo los métodos y formatos de los informes que se acordaron previamente.
- b) Identificar la pertinencia de realizar las mediciones durante la auditoría energética, incluyendo los detalles siguientes:
 - 1) Frecuencia, coherencia, precisión, repetitibilidad y representatividad de los datos
 - 2) Justificación de las mediciones y cómo éstas contribuyen al análisis;
 - 3) Dificultades que se encontraron en la recopilación de datos, visita en emplazamientos y análisis;
 - 4) Incertidumbre en las mediciones y muestreo y los efectos en los datos que se informan.
- c) Indicar si la base para el análisis se calcula, simula o estima;

- d) Resumir cualquier detalle en las estimaciones, suposiciones e incertidumbre del análisis
- e) Indicar los límites de precisión para los ahorros y costos, si aplica;
- f) Proporcionar una lista de prioridades de oportunidades de mejora de desempeño energético;
- g) Sugerir recomendaciones para la implementación de las mejoras.

NOTA – Dependiendo del nivel de detalle que se acuerda para la auditoría energética, esta puede incluir viabilidad para la implementación, pasos a seguir, entre otros.

5.8.2 Contenido del informe de la auditoría energética

El contenido del informe debe ser adecuado para definir el alcance, límites y objetivos de la auditoría energética.

El informe de la auditoría energética debe incluir el contenido siguiente:

- a) Resumen ejecutivo:
 - 1) Resumen del uso y consumo de la energía;
 - 2) Clasificación de las oportunidades para la mejora del desempeño energético;
 - 3) Recomendaciones para el programa de implementación;
- b) Antecedentes:
 - 1) Información general sobre la organización, auditor energético y métodos para la auditoría energética;
 - 2) Regulaciones pertinentes y otros requisitos aplicables para la auditoría energética;
 - 3) Declaración de confidencialidad;
 - 4) Contexto de la auditoría energética;
 - 5) Descripción de la auditoría energética, definición del alcance y límites, objetivos y tiempo de la auditoría.
- c) Detalles de la auditoría:
 - 1) Información sobre los datos recopilados:
 - Plan de medición (véase 5.5);
 - Tipo de datos utilizados (frecuencia de adquisiciones, periodo de mediciones, cuales se mediciones y cuales son estimaciones);

personas deben tener la competencia y autoridad necesaria para solicitar o realizar operaciones directas en los procesos y equipos si se requiere;

- b) Identificar una o más personas para instalar registros de datos y verificación del equipo energético durante las visitas a los emplazamientos, donde se acuerde durante el plan de auditoría: estas personas pueden tener la autoridad necesaria para solicitar al personal de operación o mantenimiento autorizados realizar operaciones directas en los procesos o equipos si se requiere;
- c) Facilitar al auditor energético acceso a los documentos pertinentes (véase recopilación de datos en 5.4);
EJEMPLO: Dibujos, manuales y otra documentación técnica.
- d) Permitir la instalación de equipo de medición de energía y registros de datos como se acordó durante el plan de auditoría.

El alcance de la auditoría puede revisarse, si la organización no puede cumplir con estos requisitos.

5.7 Análisis

5.7.1 Generalidades

Con el fin de facilitar una auditoría energética efectiva, los auditores energéticos deben evaluar la viabilidad y disponibilidad de los datos proporcionados y destacar cualquier problema que pueda impedir que la auditoría continúe. Si es necesario, el auditor energético puede proponer métodos diferentes para recopilar o completar los datos.

El auditor energético debe:

- a) Utilizar métodos de cálculo transparentes y técnicamente adecuados;
- b) Documentar los métodos que se utilizan y cualquier hipótesis o estimaciones realizadas;
- c) Asegurar que las variables que afectan la incertidumbre de las mediciones y su contribución en los resultados se toman en cuenta;
- d) Considerar cualquier regulación u otros esquemas o restricciones que puedan impactar en las oportunidades para mejorar el desempeño energético.

5.7.2 Análisis del desempeño energético actual

Durante esta fase, el auditor energético debe establecer y evaluar el desempeño energético actual de los usos de la energía que se definen en el alcance de la auditoría.

El desempeño energético actual constituye la base para la evaluación de mejoras y debe incluir:

- a) Un desglose del consumo de la energía por uso y fuente;

- Copia o referencia de los datos clave que se utilizan, incluyendo informe de pruebas, certificados de calibración, registros del equipo de acuerdo con 5.2 (plan de auditoría energética);
- 2) Análisis del desempeño energético y cualquier indicador de desempeño energético;
- 3) Base para los cálculos, estimaciones e hipótesis y precisión de los resultados;
- 4) Criterios de clasificación de las oportunidades para la mejora del desempeño energético;
- d) Oportunidades para la mejora del desempeño energético:
 - 1) Recomendaciones y el programa de implementación propuesto;
 - 2) Hipótesis y uso de métodos para calcular el ahorro de energía y la precisión de los resultados calculados para el ahorro y beneficio de la energía;
 - 3) Hipótesis utilizada en el cálculo de costos de implementación y precisión de los resultados;
 - 4) Análisis económico, incluyendo incentivos financieros conocidos y cualquier ganancia no energética;
 - 5) Posibles interacciones con otras recomendaciones propuestas;
 - 6) Métodos de medición y verificación recomendados para su uso en la evaluación posterior de la implementación de las oportunidades recomendadas;
- e) Reunión de cierre

Antes de la reunión de cierre, se debe proporcionar a la organización el informe sobre la auditoría energética.

En la reunión de cierre el auditor energético debe:

- a) Presentar los resultados de la auditoría energética de manera que facilite la toma de decisiones por la organización;
- b) Ser capaz de explicar los resultados y responder preguntas;
- c) Identificar elementos que requieren mayor análisis o seguimiento por parte del auditor energético.

Anexo 2

Comprobación de tarifa HM en recibo de plantel SLT.

Aplicando esta metodología de cobro a una factura del plantel san Lorenzo Tezonco se puede dar un ejemplo de cómo verificar el cobro que hace CFE.

		Av. Paseo de la Reforma Núm. 164 Col. Juárez, Ciudad de México C.P. 06600. RFC: CSS160330CP7 CFE SUMINISTRADOR DE SERVICIOS BÁSICOS		Número de Servicio: 147 040 804 073		
Nombre y Domicilio: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE LA CIU CALLE 4 S N SAN LORENZO IZTAPA PROLG SN ISIDRO Y CTO SN Y CTO SN LORENZO TEZONCO LOMAS DE SAN LORENZO IZTAPALAPA, D.F. C.P. 09780				Total a pagar: \$197,042.00 (CIENTO NOVENTA Y SIETE MIL CUARENTA Y DOS PESOS 00/100 M.N.)		
				Fecha límite de pago: 15 OCT 2017		
Ruta	Periodo	No. Medidor	Tarifa	Carga conectada	Demanda contratada	Multiplificado
82DN30H018211800	31 AGO 17 A 30 SEP 17	750KD6	HM	1529	1223	1200

Figura A 2.1 Datos de la UACM- SLT en la facturación eléctrica

Fuente. Elaboración propia, con recibo CFE de la UACM-SLT.

Como se aprecia en la imagen A 2.1 se tiene la tarifa HM en el periodo del 31 de agosto al 30 de septiembre del 2017 por lo tanto aplica el horario del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril, donde aumentan dos horas más al día el horario punta de lunes a viernes. Las tarifas aplicables para este mes son: (Tabla A 2.1).

Región	Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt - hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
Central	\$ 219.90	\$ 2.3165	\$ 1.1647	\$ 0.9736

Tabla A 2.1 Tarifas aplicables en septiembre del 2017 para tarifa HM Región Central.

Fuente. CFE, 2017, https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp.

Donde el consumo de energía es:

- Energía en base = 22 052 kWh
- Energía en intermedio = 63 598 kWh

- Energía en punta = 6 646 kWh
- Costo Energía en base = 22 052 kWh * \$ 0.9736 = \$ 21 469.83

El consumo en horario base no viene en el recibo de Luz por lo que, del total de consumo de este mes en los históricos, se le resto el dato de consumo en intermedio y punta, así es como se obtuvo el consumo base.

- Costo Energía en intermedio = 63 598 kWh * \$ 1.1647 = \$ 74 072.59
- Costo Energía en punta = 6 646 kWh * \$ 2.3165 = \$ 15 395.46
- Costo total por concepto de energía = Costo Energía en base + Costo Energía en intermedio + Costo Energía en punta = 21 469.82 + 74 072.59 + 15 395.46 = 110 937.87

Función y período	Lectura actual	Lectura anterior	Diferencia	Totales
kWh intermedia				63,598
kWh punta				6,646
kW base	DB: Demanda máxima en horario base			189
kW intermedia	DI: Demanda máxima en horario intermedio			261
kW punta	DP: Demanda máxima en horario de punta			222
kVAh				60,698
Factor de potencia %				83.55
Conceptos	Totales		Precios unitarios	
Energía en intermedia kWh	63,598		1.16470	
Energía en punta kWh	6,646		2.31650	
Demanda facturable kW	234		219.90000	

Figura A 2.2 Conceptos de cobro en tarifa HM

Fuente. Elaboración propia, 2017, Facturación UACM plantel SLT.

Con los datos de la figura A 2.2, se puede obtener la Demanda Facturable, la ecuación es la siguiente:

$$DF = DP + FRI \times \max(DI - DP, 0) + FRB \times \max(DB - DPI, 0) \quad (\text{ec. A 2.1})$$

Donde:

DPI: Es la demanda máxima en horario de punta e intermedio = 261

FRI y FRB: son factores de reducción que varían sus valores según la región del país. Para la zona central los valores eran 0.3 y 0.15.

- $DF = 222 + .3 (\max (261 - 222, 0)) + 0.15 (\max (189 - 261, 0))$
- $DF = 222 + .3 (\max (39, 0)) + .15 (\max (-72, 0))$
- $DF = 222 + .3 (39) + .15 (0)$
- $DF = 233.7$

Nota: como se había mencionado en la ecuación de demanda facturable, cualquier fracción que dé en el resultado se toma como kilowatt completo por lo tanto el resultado es 234.

- Cargo por concepto de Demanda facturable = $234 \text{ kW} * \$ 219.90 = \$ 51\,456.6$
- El subtotal del cobro en la factura es = Total de energía + Cargo de demanda facturable + Cargo de factor de potencia = $110\,937.87 + 51\,456.6 = 162\,394.47 + \text{Cargo de factor de potencia}$

Estado de cuenta	
Energía	110,937.88
Demanda Facturable	51,456.60
Cargo Factor de Potencia	7,470.14
Subtotal	169,864.62
IVA 16%	27,178.33
Facturación del Periodo	197,042.95
Adeudo Anterior	89,744.01
Su Pago	89,744.00-
Total	\$197,042.96

Figura A 2.3 Estado de cuenta en recibo de luz de UACM-SLT
Fuente. Elaboración propia, 2017, de recibo de luz UACM-SLT.

Para el cargo de factor de potencia se aplicó una penalización al usuario UACM-SLT por tener el fp debajo del porcentaje requerido por CFE del 90 % (Figura A 2.3). Para obtener el porcentaje de penalización se aplica la siguiente ecuación.

$$\text{Penalización}(\%) = \frac{3}{5} * \left(\frac{90}{Fp} - 1 \right) * 100 \quad (\text{ec. A 2.2})$$

Aplicando los datos de la factura a la ecuación.

$$\text{Penalización}(\%) = \frac{3}{5} * \left(\frac{90}{83.55} - 1 \right) * 100 = 4.6 \%$$

Este porcentaje se aplica al “cargo por energía” el resultado se le suma al cargo por “demanda facturable”, dando como resultado el subtotal.

- Cargo de facturación = (Total de energía + Cargo de demanda facturable) * .046 = 162 394.47 * .046
- Cargo Factor de Potencia = \$ 7 470.14

Y se tiene que:

Subtotal = 162 394.47 + 7 470.14 = 169 864.61 como se puede ver en la imagen 2.3.

Se realizó el análisis en Excel de los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2017 con la tarifa HM donde se corrobora que el cobro en la facturación es el correcto. De diciembre del 2017 hasta diciembre del 2020 se hizo el análisis con el nuevo esquema tarifario.

Anexo 3. Comprobación de tarifa GDMTH en recibo de plantel SLT.

La metodología de cobro con tarifa GDMTH, se describe conforme a la información de la facturación eléctrica del plantel SLT del mes de enero del 2018 (Figura A 3.1).

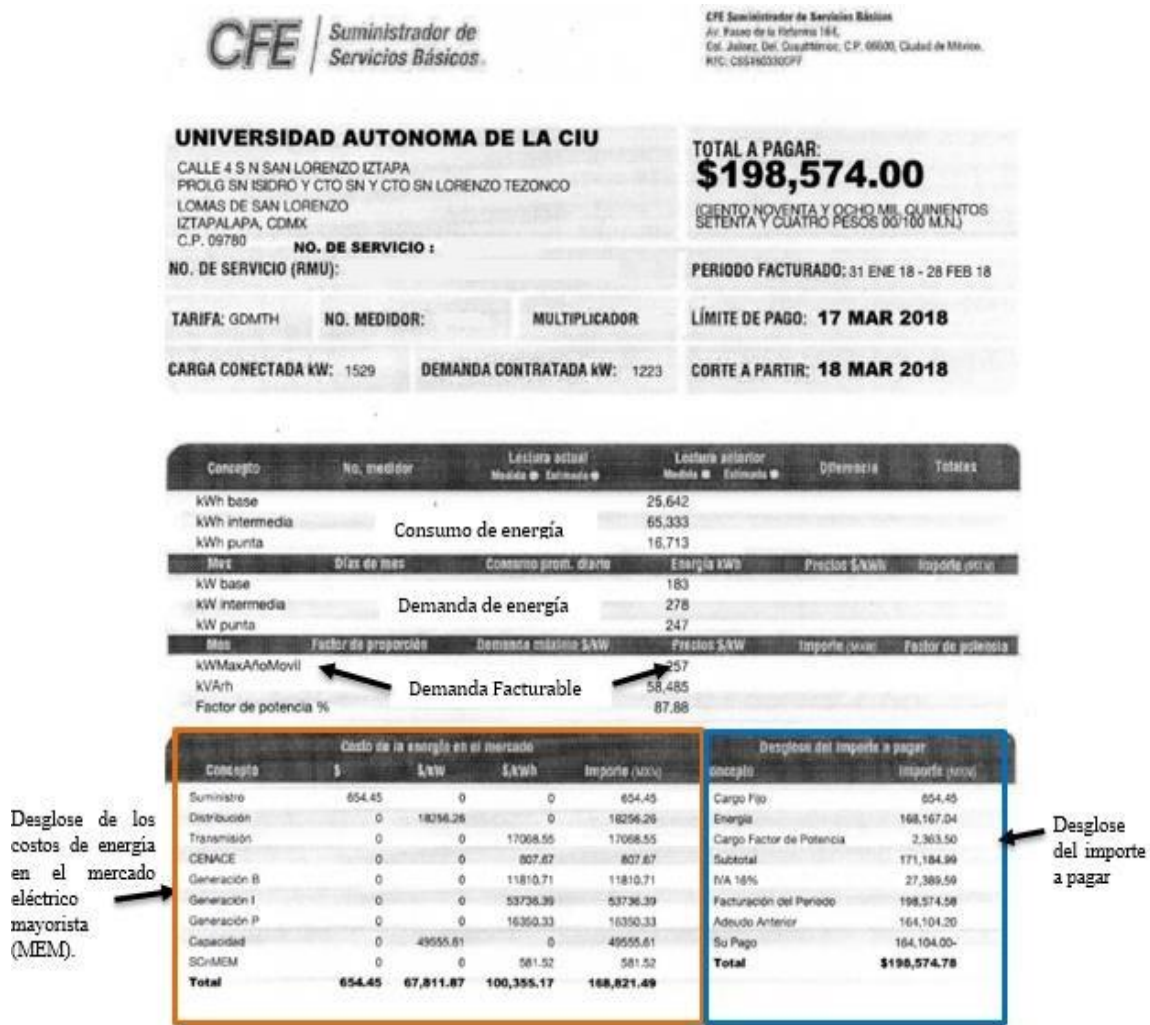


Figura A 3.1. Ejemplificación del recibo de luz con el Nuevo Esquema Tarifario de CFE.

Fuente. Elaboración propia, con recibo de luz de la UACM-SLT.

El primer paso es consultar los costos de la energía en la página de CFE <https://www.cfe.mx/Pages/default.aspx>, en la opción de servicios, luego industria, tarifas, esquema tarifario vigente y por último se elige la tarifa GDMTH, en ese portal hay unas ventanillas, en donde hay que elegir los datos correspondientes de las siguientes opciones:

- Año de recibo que deseas verificar: 2018
- Mes: febrero
- Estado a donde está registrado el usuario en CFE: Ciudad de México
- Municipio o delegación: Iztapalapa
- División: Valle de México centro y sur

Tabla A 3.1 Costos de la energía en el MEM.

Valle de México Sur

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	FEB-18
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	654.45
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	0.6320
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	0.9906
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	1.1497
		-	Distribución	\$/kW	65.67
		-	Capacidad	\$/kW	195.84
		-			

Fuente. CFE, 2018,

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>.

Para verificar los precios del recibo de luz, hay dos formas, una es calculando los costos de energía en el MEM (Tabla A 3.1) y la otra es calculando los costos del importe a pagar. Los costos del MEM no son extra, sino el desglose de lo que corresponde al costo del importe a pagar.

Para calcular los costos de energía en el MEM, se necesita consultar en la página de la CRE <https://www.gob.mx/cre> y elegir la opción de tarifas eléctricas vigentes en donde se pueden encontrar varias memorias de cálculo almacenadas en archivos Excel, para este caso se requieren las memorias de cálculo de las tarifas finales del suministro básico del año 2018.

Ya abierto el archivo de Excel, en el índice se elige la opción de “cuadro por división” del mes consultado, en este caso el mes de febrero.

Suministro. Para este costo no se requiere formula, es un cargo fijo que se mantiene con el mismo valor durante todo un año, para el 2018 es de \$ 654.45

Distribución: Para calcular este costo se requiere de la ecuación A 3.1, se escoge el mínimo de los dos valores obtenidos.

$$\min \left\{ D_{\max_{\text{mensual}}}, \left[\frac{Q_{\text{mensual}}}{24 * d * F.C.} \right] \right\} \quad (\text{ec. A 3.1})$$

Donde:

$D_{\max_{\text{mensual}}}$: Es la demanda máxima registrada en el mes al que corresponde la facturación,

Q_{mensual} : Es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh,

d: días del periodo de facturación.

F.C.: Es el factor de carga correspondiente del apartado 3.3.1 del Anexo Único del Acuerdo A/064/2018.

Sustituyendo valores se obtiene que:

$D_{\max_{\text{mensual}}}$: Se presenta en el horario intermedio y es de 278 kW.

Q_{mensual} : Es la suma del consumo de energía en horario base, intermedio y punta = 25 642 kWh + 65 333 kWh + 16 713 kWh = 107 688 kWh

d: del 31 de enero al 28 de febrero, son 28 días.

F.C.: para la tarifa GDMTH es 0.57.

Aplicando la ec. A 3.1 se tiene que:

$$\text{Min} \{ 278 \text{ kW}, (107 688 \text{ kWh} / (24 * 28 * 0.57)) \}$$

$$\text{Min} \{ 278 \text{ kW}, 281 \text{ kWh} \}$$

$$\text{Min} \{ 278, \text{kWh} \}$$

Tabla A 3.2 Costos del MEM Tarifa GDMTH.

Valle de México Sur

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	Transmisión	Distribución	CENACE	Suministro	SCnMEM	Generación	Capacidad	Pérdidas	TOTAL
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria		Fijo	\$/mes.				654,45					654,45
		B	Variable (Energía)	\$/kWh	0,1585		0,0075		0,0054	0,4606		0,0000	0,6320
		I	Variable (Energía)	\$/kWh	0,1585		0,0075		0,0054	0,8225		0,0000	0,9939
		P	Variable (Energía)	\$/kWh	0,1585		0,0075		0,0054	0,9783		0,0000	1,1497
			Capacidad	\$/kW		65,67					200,63		266,30

Fuente. CRE, Memorias de cálculo de tarifas de suministro básico diciembre 2017-2018.

De la tabla A 3.2 se obtiene el Cargo por distribución = $278 * 65.67 = \$ 18 256.26$

Para los usuarios suministrados en baja y media tensión cuya demanda no se mide, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Demanda = \left[\frac{Q_{mensual}}{24 * d * F.C.} \right]$$

(ec. A 3.2)

Donde:

$Q_{mensual}$ = es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh,

d = días del periodo de facturación

F. C. = es el factor de carga correspondiente del apartado 3.3.1 del Anexo Único del Acuerdo A/064/2018.

Para los centros de carga que reciban energía por un contrato de interconexión legado, la $Q_{mensual}$ será el consumo mensual suministrado en el mes de facturación por CFE Suministrador de Servicios Básicos.

Cargo por transmisión: Este cargo está establecido en el acuerdo A/045/2015 por la CRE, se aplica por kWh y se determina por el nivel de tensión. Para la tarifa GDMTH en sus tres horarios aplica en febrero la cuota de \$ 0.1585 por kWh, el cargo de transmisión es:

Consumo total de energía * cuota por transmisión = 107 688 kWh * 0.1585 = \$ 17 068.55

Cargo por operación de CENACE: El cargo está establecido en el acuerdo A/001/2017, se aplica a todas las tarifas con un cargo por nivel de consumo. El cargo es:

- Consumo total de energía * cuota por operación de CENACE = 107 688 kWh * 0.0075 = \$ 807.66

Cargo por generación: Se compone de un cargo por energía y otro por capacidad. En el cargo por energía existen dos opciones un pago de energía único y otro por energía horaria, en el caso de la tarifa GDMTH aplica por energía horaria:

De la tabla 2.7 se tiene que las cuotas por cargo de energía horaria en generación son:

- Cuota de generación en base: \$ 0.4606
- Cuota de generación en intermedio: \$ 0.8225
- Cuota de generación en punta: \$ 0.9783

Los cargos son los siguientes:

Cargo por generación en base: consumo en base * cuota de generación en base.

$$25\,642 \text{ kWh} * 0.4606 = \$ 11\,810.71$$

Cargo por generación en intermedio: consumo en intermedio * cuota de generación en intermedio.

$$65\,333 \text{ kWh} * 0.8225 = \$ 53\,736.39$$

Cargo por generación en punta: consumo en punta * cuota de generación en punta.

$$16\,713 \text{ kWh} * 0.9783 = \$ 16\,350.33$$

Cargo por Capacidad: Para la tarifa GDMTH el cargo se asigna a la demanda máxima coincidente con el periodo en horario punta. Para este cálculo se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{mín} \left\{ D_{\text{max}_{\text{punta}}}, \left[\frac{Q_{\text{mensual}}}{24 * d * F.C.} \right] \right\} \quad (\text{ec. A 3.3})$$

Donde:

$D_{\text{max}_{\text{punta}}}$ = Demanda máxima coincidente con el periodo horario de punta medida en kilowatts.

Q_{mensual} = Consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh.

d = días del periodo de facturación.

F.C. = Factor de carga.

Reemplazando los datos en la (ec. A 3.3) se tiene que:

$$\text{Min} \{247 \text{ kW}, (107\,688 \text{ kWh} / (24 \cdot 28 \cdot 0.57))\}$$

$$\text{Min} \{247 \text{ kW}, 281\}$$

$$\text{Min} \{247 \text{ kW}\}$$

$$\text{Cargo por capacidad} = 247 * 200.63 = \$ 49\,555.61$$

Cargo por Servicios conexos no incluidos en el MEM: Es un cargo con una cuota de 0.0054 pesos/kWh multiplicada por el consumo total 107 688 kWh, da la cantidad de \$ 581.52

El total de la energía en el MEM es la suma de los anteriores cargos, dando como resultado:

Tabla A 3.3 Comprobación de costos en recibo de luz UACM-SLT.

Cargo por Suministro	\$ 654.45
Cargo por Distribución.	\$ 18 256.26
Cargo por Transmisión	\$ 17 068.55
Cargo por operación de CENACE	\$ 807.66
Cargo por generación B	\$ 11 810.71
Cargo por generación I	\$ 53 736.39
Cargo por generación P	\$ 16 350.33
Cargo por capacidad	\$ 49 555.61
Cargo por Servicios conexos no incluidos en el MEM	\$ 581.52
Total	\$ 168 821.48

Fuente. Elaboración propia, con datos de recibo de Luz UACM- SLT.

Aplicando la segunda opción para calcular el desglose del importe a pagar, se tiene el siguiente procedimiento:

El cargo fijo es igual al cargo por suministro: \$ 654.45

Energía: para calcular el costo de este concepto se tienen que obtener las cuotas de la energía en periodo base, intermedio y punta más el costo por distribución y capacidad. Estas cuotas se obtienen consultando la tarifa GDMTH en el año 2018 del mes de febrero.

- Cargo en horario base: Consumo en base * cuota en horario base.

$$25\,642 \text{ kWh} * \$ 0.6320 = \$ 16\,205.74$$

- Cargo en horario intermedio: Consumo en intermedio * cuota en horario intermedio.

$$65\,333 \text{ kWh} * \$ 0.9939 = \$ 64\,934.47$$

- Cargo en horario punta: Consumo en punta * cuota en horario punta.

$$16\,713 \text{ kWh} * \$ 1.1497 = \$ 19\,214.94$$

- Cargo por energía = Cargo en horario base + Cargo en horario intermedio + Cargo en horario punta + Cargo por distribución + Cargo por Capacidad. = 16 205.74 + 64 934.47 + 19 214.94 + 18 256.26 + 49 555.61 = \$ 168 167.02

Cargo o bonificación por factor de potencia: En esta facturación presenta bajo factor de potencia y la compañía tiene que aplicar un cargo. Para calcularlo se utiliza la ec.3 y se sustituyen los datos:

- $Penalización(\%) = \frac{3}{5} * \left(\frac{90}{87.88} - 1 \right) * 100 = 1.4 \% \text{ (solo se toman dos dígitos)}$

Ahora se aplica el porcentaje a la suma del cargo fijo más la energía.

- Cargo Fijo + Energía = 168 167.02 + 654.45 = \$ 168 821.47

Esta cantidad se multiplica por el porcentaje de penalización.

- Cargo por factor de potencia = 168 821.47 * 0.014 = 2 363.5

Se tiene que:

- Subtotal = Cargo Fijo + Energía + Cargo por factor de potencia = 168 821.47 + 2 363.5

$$\text{Subtotal} = 171\,184.97$$

Se realizó el análisis de los meses de diciembre del 2017 hasta mayo del 2020 con la tarifa GDMTH donde se comprobó que el cobro en la facturación es el correcto en todos los recibos analizados.

Anexo 4. Comprobación de penalizaciones

Como se había mencionado anteriormente, la penalización en el plantel SLT empezó en agosto del 2017 con un fp de 89.83 y una multa de \$ 77.28 como se demuestra a continuación:

$$Penalización(\%) = \frac{3}{5} * \left(\frac{.90}{.898} - 1 \right) * 100 = .001$$

El porcentaje se multiplica por la suma del cargo de energía que es de \$ 20 490.80 con la demanda facturable que es de \$ 56 797

$$\text{Cargo Factor de potencia} = 0.001 * (20\,490.80 + 56\,797) = 0.001 * 77287.8 = \$ 77.28$$

El fp más bajo fue el del periodo facturado en el mes de julio del 2018 con un fp de 74.8 alcanzando el porcentaje de penalización más alto hasta el momento del análisis de:

$$Penalización(\%) = \frac{3}{5} * \left(\frac{.90}{.748} - 1 \right) = 0.12$$

El porcentaje se multiplica por la suma del cargo de energía que es de \$ 183 409.49 con el cargo fijo de \$ 654.45

$$\text{Cargo Factor de potencia} = 0.122 * (183\,409.49 + 654.45) = 0.122 * 184\,063.94 = \$ 22\,455.8$$

En la siguiente tabla se puede apreciar el factor de potencia y el cargo que la Comisión de CFE ha aplicado al plantel SLT al estar por debajo de lo establecido.

Tabla A 4.1 Penalización FP 2017-2020 UACM-SLT.

Fecha	Fp (%)	Penalización (\$)
Agos 2017	89.8	77.28
Sept 2017	83.55	7 470.14
Oct 2017	86,79	4 306.04
Nov 2017	86,76	4 592.38
Dic2017	85,82	4 808.98
Ener 2018	85,82	4 293.76
Feb 2018	87,88	2 363.50
Mar 2018	85,39	5 832.42

Abr 2018	88,51	2 016.41
May 2018	88,22	2 614.54
Jun 2018	85,83	6 217.93
Jul 2018	74,80	22 455.80
Agost 2018	84,71	10 879.33
Sept 2018	85,28	10 440.52
Oct 2018	88,65	3 100.15
Nov 2018	89,71	682.60
Dic 2018	84,21	9 274.32
Ener 2019	85,09	8 511.88
Feb 2019	88,05	3 366.36
Mar 2019	85,44	9 082.92
Abr 2019	86,65	6 332.62
May 2019	88,89	1 917.00
Oct 2020	79.83	1 389.34
Nov 2020	75,32	17 010.14
Dic 2020	75,07	19 002.08
Total		168 038.44

Fuente. Elaboración propia con datos de recibo de luz UACM-SLT.

Anexo 5. Cálculo de compensación de factor de potencia

El fp de junio se toma como $FP_{inicial} = 0.748$ y el fp deseado es $FP_{final} = 0.99$ se requiere encontrar los ángulos θ_i y θ_f .

$$\begin{array}{ll} FP_{inicial} = 0.748 & FP_{final} = 0.99 \\ \cos \theta_{inicial} = 0.748 & \cos \theta_{final} = 0.99 \\ \theta_{inicial} = \cos^{-1}(0.748) & \theta_{final} = \cos^{-1}(0.99) \\ \theta_i = 41.58^\circ & \theta_f = 8.10^\circ \end{array}$$

Posteriormente hay que obtener la potencia aparente inicial $S_{inicial}$ y final S_{final}

$$\begin{array}{ll} S_{inicial} = \frac{P}{\cos \theta_{inicial}} & S_{final} = \frac{P}{\cos \theta_{final}} \\ S_{inicial} = \frac{177 \text{ kW}}{\cos (41.58)} & S_{final} = \frac{177 \text{ kW}}{\cos (8.10)} \\ S_i = 236.62 \text{ kVA} & S_f = 178.78 \text{ kVA} \end{array}$$

Con estos datos se puede obtener la potencia reactiva $Q_{inicial}$ y Q_{final} .

$$\begin{array}{ll} Q_{inicial} = S_{inicial} * \text{sen} \theta_{inicial} & Q_{final} = S_{final} * \text{sen} \theta_{final} \\ Q_{inicial} = 236.62 * \text{sen} (41.58) & Q_{final} = 178.78 * \text{sen} (8.10) \\ Q_{inicial} = 157.04 \text{ kVAR} & Q_{final} = 25.19 \text{ kVAR} \end{array}$$

Para finalmente obtener la potencia reactiva del capacitor.

$$Q_c = Q_{inicial} - Q_{final}$$

$$Q_c = 157.04 - 25.19$$

$$Q_c = 131.85 \text{ kVAR}$$