



CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.

POSGRADO

EFICIENCIA ENERGÉTICA ENFOCADA A ILUMINACIÓN EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TIJUANA

Tesis que como requisito para obtener el grado de
Maestro en Energías Renovables presenta:

Enrique González Aragón Barrera

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Pedro Sánchez Santiago

Tijuana México, Agosto de 2013

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer sobre todas las cosas al creador, al Rey de reyes y Señor de señores por darme la sabiduría y fortaleza para poder llevar a cabo la realización de esta tesis.

En segundo lugar a mi familia, comenzando con mi madre Irene por impulsarme al estudio, a mi esposa Ely y a mi hijo Alain Enrique por su apoyo incondicional.

A la Universidad Tecnológica de Tijuana por darme la oportunidad de estudiar esta maestría y su labor de gestión para becarnos.

A mi director de tesis, el Dr. Pedro Sánchez Santiago por sus consejos en la realización de esta tesis, igualmente al Dr. José Alberto Duarte Moller por su paciencia en la elaboración de la misma.

CONTENIDO.

INDICE DE FIGURAS	III
INDICE DE TABLAS	V
RESUMEN	7
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Justificación y motivación	8
1.2 Hipótesis	9
1.3 Preguntas de investigación	9
1.4 Objetivo principal	9
1.5 Objetivos particulares	10
1.6 Definiciones y marco teórico	10
1.6.1 Diagnósticos energéticos y equipos de medición.	14
1.6.2 El consumo eléctrico, la demanda y el factor de potencia.	17
1.6.3 Tarifas y costos de la energía eléctrica	21
1.6.4 Indicadores energéticos	25
1.6.5 Posibles áreas de oportunidad para el ahorro de energía eléctrica.	26
1.6.6 Calidad de la energía	27
1.6.7 La iluminación y la luz	28
1.6.8 Definición de parámetros de iluminación.	31
1.6.9 Curvas de distribución de intensidad (patrones de radiación).	34
1.6.10 Comparativo y clasificación de luminarias de tipo bulbo existentes en el mercado.	35
1.6.11 Comparativo de características de las luminarias	42
1.6.12 Luminarias basadas en tecnología de estado sólido. (LED, OLED)	43
1.6.13 Estándares de iluminación	48
II. MATERIALES Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL	51
2.1 Instalación y tarifa eléctrica en la UTT.	52

2.2	Análisis del consumo de energía eléctrica y costos basado en los recibos de CFE.	54
2.3	Diagnóstico energético	55
2.4	Inventario de luminarias en la UTT y propuesta de ahorro	55
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
3.1	Resultados del análisis del patrón de consumo de la UTT	56
3.2	Diagnóstico energético global de la UTT	61
3.2.1	Análisis de perfil de demanda	62
3.2.2	Análisis de perfil de voltajes y corrientes eléctricas.	70
3.3	Diagnóstico energético local de una semana en aulas ligeras de la UTT	77
3.3.1	Análisis de voltaje y corriente	79
3.3.2	Análisis de frecuencia	81
3.3.3	Análisis de consumo de energía y factor de potencia	82
3.3.4.	Análisis de distorsión armónica.	84
3.4	Diagnóstico energético local de 24hrs en aulas ligeras.	86
3.5	Inventario de luminarias y propuesta en iluminación.	92
3.5.1	Luminarias de interiores actuales y propuesta de ahorro	92
3.5.2	Luminarias de exteriores actuales y propuesta de ahorro	102
3.6	Equipos de aire acondicionado en aulas ligeras	109
IV.	CONCLUSIONES	111
4.1	Iluminación.	111
4.2	Otras cargas por atender.	111
4.3	Calidad de la energía	111
V.	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista aérea de la Universidad Tecnológica de Tijuana	8
Figura 2 Producción nacional de energía primaria.....	11
Figura 3 Consumo de energía para generación eléctrica en México.....	12
Figura 4. Precios de algunos combustibles en México.....	13
Figura 5. Tecnologías usadas para generación de electricidad en México.....	14
Figura 6 Triángulo de potencias.....	19
Figura 7 Regiones de tarifas eléctricas en México	22
Figura 8 Diagrama de cromaticidad (CIE-1931)	30
Figura 9. Definición de estero radián.....	31
Figura 10 Luminancia e iluminancia	32
Figura 11. Diagrama de un patrón de radiación.....	35
Figura 12 Patrones comunes de radiación de luminarias.....	36
Figura 13 Partes de la lámpara incandescente.....	37
Figura 14 Partes de una lámpara fluorescente compacta.....	39
Figura 15 Lámpara de descarga de alta intensidad (HID)	40
Figura 16 Lámpara de inducción magnética.....	41
Figura 17 Vida útil de las lámparas vs depreciación del flujo luminoso.....	43
Figura 18 Símbolos de diodo rectificador y diodo emisor de luz LED. (De izquierda a derecha)	45
Figura 19 Diodo emisor de luz LED.....	46
Figura 20 Capas que conforman un OLED.....	48
Figura 21 Diagrama unifilar de la instalación eléctrica en la U.T.T.....	52
Figura 22 Planta de conjunto y ubicación de los 6 transformadores	53
Figura 23 Horarios tarifa H-M para la región de Baja California	54
Figura 24 Facturación mensual energía eléctrica en la UTT.....	56
Figura 25 Precio medio del kWh en la UTT período 2010 a 2013.....	57
Figura 26 Tendencia del consumo eléctrico y demanda facturable en la UTT.....	58
Figura 27 Tendencia del FP en la UTT.....	59
Figura 28 Perfil de demanda transformador principal de 500kVA	62
Figura 29 Perfil de demanda, transformador de Rectoría de 225kVA	63
Figura 30 Perfil de demanda, transformador de 300kVA laboratorios pesados 2 y 3	65
Figura 31 Perfil de Demanda, transformador de Docencia II, 500kVA.....	66
Figura 32 Perfil de demanda, transformador de Docencia III, 500kVA.....	67
Figura 33 Perfil de demanda, transformador de Biblioteca, Vinculación y cafetería, 500kVA.....	68
Figura 34 Voltajes y corrientes, transformador principal 500kVA	71
Figura 35 Voltajes y Corrientes, transformador de Rectoría, 225kVA.....	72

Figura 36 Voltajes y corrientes, transformador de laboratorios pesados #2 y 3, 300kVA.....	73
Figura 37 Voltajes y corrientes, transformador Docencia II, 500kVA.....	74
Figura 38 Voltajes y corrientes, Docencia III, 500kVA.....	75
Figura 39 Voltajes y corrientes, transformador Biblioteca, Vinculación y Cafetería, 500kVA.....	76
Figura 40 Distribución del tablero principal de aulas ligeras	77
Figura 41 Conexiones del analizador de redes Fluke 435A	78
Figura 42 Analizador de redes, Fluke 435A conectado al tablero de aulas ligeras ..	78
Figura 43 Tendencia de voltaje en aulas ligeras del 7 al 14 de junio del 2012.	79
Figura 44 Tendencia de corriente en aulas ligeras del 7 al 14 de junio del 2012. ..	80
Figura 45 Acercamiento "zoom" de los picos de corriente entre las 17 y 21 horas. 81	
Figura 46 Tendencia del valor de la frecuencia en aulas ligeras	82
Figura 47 Consumo de energía en aulas ligeras durante una semana.....	83
Figura 48 Distorsión armónica de corriente y voltaje en aulas ligeras.....	85
Figura 49 Evolución en el tiempo de la distorsión armónica de corriente en aulas ligeras.	86
Figura 50 Tendencia de corriente en 24 horas en aulas ligeras.....	87
Figura 51 Tendencia de corriente con los ejes a la misma escala para comparación.	88
Figura 52. Análisis de arranques de corrientes en aulas ligeras con un acercamiento "zoom"	89
Figura 53. Armónicos de voltaje (Azul) y corriente (Rojo). Aulas ligeras junio 2013	90
Figura 54 Forma de onda de corriente en tablero de aulas ligeras	91
Figura 55 Luminarias de interiores por tipo de lámpara en la UTT.....	93
Figura 56 Capacidad instalada en kW de luminarias de interiores por edificio en la UTT	94
Figura 57 Lámpara LED T8 para sustitución de luminarias fluorescentes T8 y T12	97
Figura 58 Lámpara LED GU10-5W para sustitución de incandescentes y fluorescentes compactas	99
Figura 59 Lámpara LED para sustituir las HID de laboratorios pesados.....	99
Figura 60 Lámpara ONILED para reemplazo de luminarias HID de exteriores	104
Figura 61 Lámparas de inducción magnética para exteriores	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las tarifas eléctricas en México.	24
Tabla 2 Parámetros de las alteraciones típicas de calidad de la energía.	28
Tabla 3 Características de lámparas incandescentes, flujo luminoso y eficiencia ...	37
Tabla 4 Ventajas y desventajas de las luminarias de bulbo.	42
Tabla 5 Características de las luminarias de tipo bulbo.	42
Tabla 6 Diodos emisores de luz. Color vs. Compuesto.	46
Tabla 7 Niveles de iluminación de la norma NOM-025-STPS.	49
Tabla 8 Resumen del análisis de facturas de CFE en la UTT.	60
Tabla 9 Resumen perfil de demanda de los seis transformadores	70
Tabla 10 Resumen del consumo eléctrico en aulas ligeras	83
Tabla 11 Inventario de luminarias de interiores por edificio y tipo.	92
Tabla 12 Cálculo de la capacidad en kW de las luminarias de interiores.	94
Tabla 13 Cálculo de horas de uso anual basado en los horarios de trabajo.	95
Tabla 14 Cálculo kWh anual de luminaria 3xT8 96	96
Tabla 15 Cálculo de kWh anual para luminaria fluorescente compacta de 23W	96
Tabla 16 Costo por consumo eléctrico de iluminación de interiores en la UTT.	97
Tabla 17 Características de luminarias tipo LED T8 lineal de 4 pies.	98
Tabla 18 Características de luminarias tipo LED T8 lineal de 2 pies.	98
Tabla 19 Cálculo consumo lámparas LED propuestas para docencias y Oficinas. .	100
Tabla 20 Costo por iluminación de interiores con luminarias tipo LED.	100
Tabla 21 Ahorro anual de energía usando luminarias de interiores tipo LED.	100
Tabla 22 Cálculo de la Inversión de luminarias de interiores tipo LED para la UTT	101
Tabla 23 Retorno de la inversión en luminarias tipo LED para interiores en la UTT	101
Tabla 24 Cálculo de la vida útil del proyecto en años.	102
Tabla 25. Inventario luminarias de exteriores en la UTT	103
Tabla 26 Cálculo de horas de uso al año de luminarias de exteriores en la UTT ..	103
Tabla 27 Costo actual por consumo eléctrico en iluminación de exteriores.	103
Tabla 28 Costo por consumo eléctrico en iluminación de exteriores usando LED. .	105
Tabla 29 Ahorro estimado con iluminación tipo LED para exteriores.	105
Tabla 30 Costo de la Inversión cambiando a luminarias tipo LED para exteriores. .	105
Tabla 31 Retorno de la Inversión con luminaria LED para exteriores.	106
Tabla 32 Vida útil del Proyecto.	106
Tabla 33 Cálculo con Luminarias de Inducción Magnética para Exteriores.	107
Tabla 34. Ahorro estimado si se usa lámparas de inducción en lugar de HID.	107

Tabla 35. Costo de la Inversión en lámparas de Inducción magnética.	108
Tabla 36 Tiempo de retorno de la inversión usando lámparas de Inducción	108
Tabla 37 Cálculo del tiempo de vida del proyecto.	108
Tabla 38 Capacidad de aires acondicionados en aulas ligeras.	109

RESUMEN

La Universidad Tecnológica de Tijuana (UTT) es una institución de estudios superiores con una matrícula de más de 3000 alumnos y que va en aumento año con año a la par con el consumo de los recursos energéticos. Por lo cual tiene el problema de un alto costo por consumo de energía eléctrica, la cual viene consumiendo más de 880MWh anualmente equivalente a un costo de \$1.7 millones de pesos aproximadamente.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo de investigación es proponer acciones de mejora para tener un uso eficiente de la energía que colabore a tener ahorros en el costo de dicho consumo, mediante la implementación de diagnósticos energéticos y del análisis del perfil de consumo de los últimos tres años, utilizando los recibos de la compañía de energía eléctrica. Lo cual ayudará a obtener información útil y confiable, para finalmente proponer acciones de mejora para un uso eficiente de la energía eléctrica, enfocándose particularmente en las cargas de iluminación.

ABSTRACT

The Universidad Tecnológica de Tijuana (UTT) is an institution with a population of more than 3000 students that grows year after year along with its energetic resources consumption. Therefore, it has the issue of a high electrical energy consumption of more than 880MWh a year, equivalent to \$1.7 million pesos approximately.

Therefore, this investigation work is oriented in proposing improvement actions that make a more efficient use of the electrical energy in order to save costs by means of implementing energetic diagnosis as well as the analysis of the electrical bills of the last three years for revision of the electrical consumption profile. This will help obtaining useful and reliable information that will help proposing improvement actions for the efficient use of the electrical energy at UTT campus, focusing particularly on illumination.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y motivación

En la actualidad, la Universidad Tecnológica de Tijuana (UTT) tiene una matrícula aproximada de 3,000 alumnos con un alto consumo de energía eléctrica, la cual se incrementa sustancialmente durante los meses de verano. Esto se debe en una parte al uso de sistemas de aire acondicionado no solo en oficinas administrativas, sino también en aulas de clases, de los cuales se cuenta con más de ciento cincuenta unidades de aire acondicionado distribuidos en todos los edificios del campus universitario. Por otro lado, se tiene el uso de lámparas no tan eficientes que requieren alta potencia para iluminar y de equipo en laboratorios pesados y cómputo, entre otros factores. El costo mensual por consumo energético eléctrico oscila entre \$50,000 pesos en invierno hasta los \$300,000 en verano. Esto representa un gasto anual de aproximadamente \$1.7 Millones de pesos por este concepto. Se vuelve entonces necesario encontrar alternativas que ayuden a reducir el consumo energético y con ello, el gasto que esto genera. La figura 1 muestra una vista aérea de la Universidad.



Figura 1 Vista aérea de la Universidad Tecnológica de Tijuana
Fuente: Google maps

El propósito del desarrollo de este proyecto es en primer lugar contribuir a minimizar el consumo de energía eléctrica en la UTT, mediante acciones de mejora enfocadas en el aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica a través de un análisis energético que permita identificar los puntos de oportunidad de ahorro. Y en segundo lugar, favorecer el desarrollo sustentable y al medio ambiente reduciendo la huella de carbono.

1.2 Hipótesis

Es posible reducir el consumo de energía eléctrica en la Universidad Tecnológica de Tijuana desarrollando un diagnóstico de iluminación y proponiendo un plan de acción para reducir el gasto económico por dicho consumo.

1.3 Preguntas de investigación

- 1.3.1 ¿Cuánta información útil aportará un diagnóstico energético global y uno local en la Universidad Tecnológica de Tijuana (UTT) y cuál es su contribución que ayude a la implementación de acciones para reducir el alto consumo de energía eléctrica?
- 1.3.2 ¿Son las cargas eléctricas de iluminación (luminarias) un factor que afecta preponderantemente la factura de energía eléctrica, y cuál es su contribución en % del total?
- 1.3.3 ¿Qué otro factor importante del gasto de energía eléctrica hay que atender?

1.4 Objetivo principal

Proponer acciones estratégicas de mejora enfocadas principalmente a iluminación, que ayuden a reducir el alto costo por consumo de energía eléctrica en la UTT a través de la realización de un diagnóstico energético global y otro local delimitado a cierta área de la misma; esto con el fin de tener un uso más eficiente de la energía eléctrica reduciendo así el gasto económico en dicho rubro.

1.5 Objetivos particulares

- 1.5.1 Hacer un monitoreo global en toda la Universidad para cada uno de los seis transformadores que abarcan la instalación con el fin de diagnosticar problemas de ineficiencia en el consumo de la energía eléctrica. El monitoreo debe ocurrir en días laborables.
- 1.5.2 Delimitar el problema a un área específica de la Universidad haciendo un monitoreo local de una semana y otro de 24 horas con el fin de diagnosticar ineficiencias en el uso de la energía eléctrica y que ayuden a proponer acciones de mejora para reducir el consumo eléctrico.
- 1.5.3 Dar una propuesta de iluminación más eficiente y de menor consumo que impacte en un ahorro económico para la universidad.

1.6 Definiciones y marco teórico

En cuanto al uso de energía en México, el petróleo sigue siendo desde los 80' la principal fuente de energía primaria, de la cual se derivan las demás. Como por ejemplo la energía eléctrica. Ya que en la mayoría de las plantas generadoras de energía eléctrica en México, se usa como energía primaria combustibles derivados del petróleo para la generación de la misma. Mientras que las plantas que no dependen del petróleo son muy escasas. Esto se puede apreciar mejor en la gráfica de la figura 2 tomado de la SENER en su Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 (SENER, 2013).

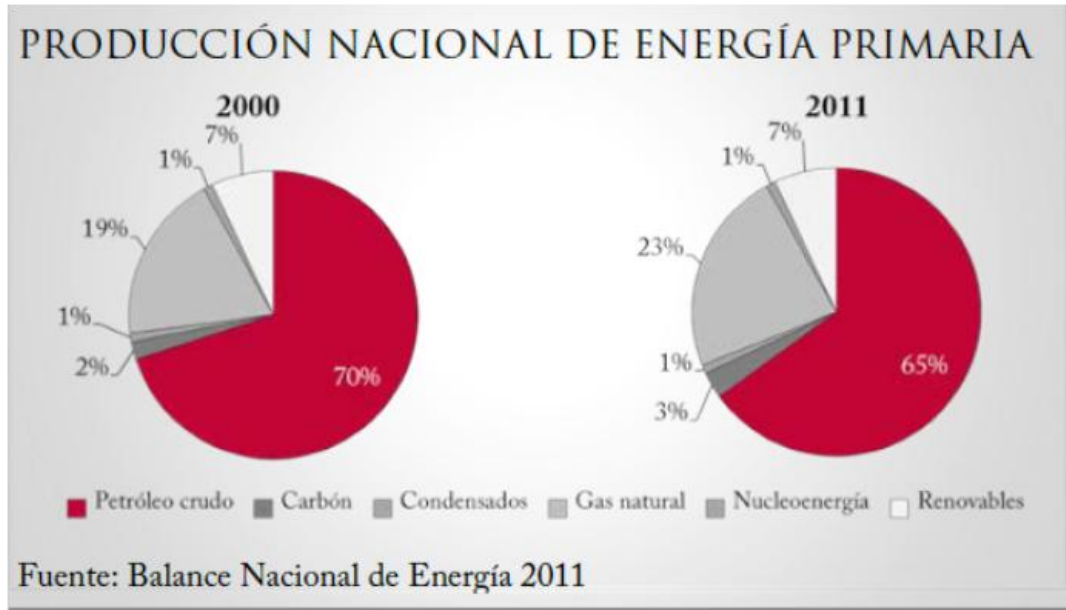


Figura 2 Producción nacional de energía primaria.

Fuente: Estrategia nacional de energía 2013-2027, SENER 2013

Se puede ver que solo el 7% está relacionado con energías renovables. Porcentaje aun muy bajo, y que se espera suba en los próximos años. Sin embargo, también se puede apreciar que del año 2000 al 2011 hubo una reducción en la producción de petróleo crudo de un 70% que se tenía en el 2000 a un 65% en el 2011. Esto muestra como este recurso no renovable va disminuyendo con el tiempo y la importancia de apostarle a las energías que si son renovables.

Por otro lado, una gran parte de las plantas generadoras de energía eléctrica (termoeléctricas) a su vez usan derivados del petróleo como insumo principal para su producción. De ahí que la producción de energía eléctrica en México está íntimamente vinculada con el petróleo como se puede ver en la gráfica de la figura 3, que muestra la situación del año 2011.

Consumo de Energía para generación eléctrica en México. 2011

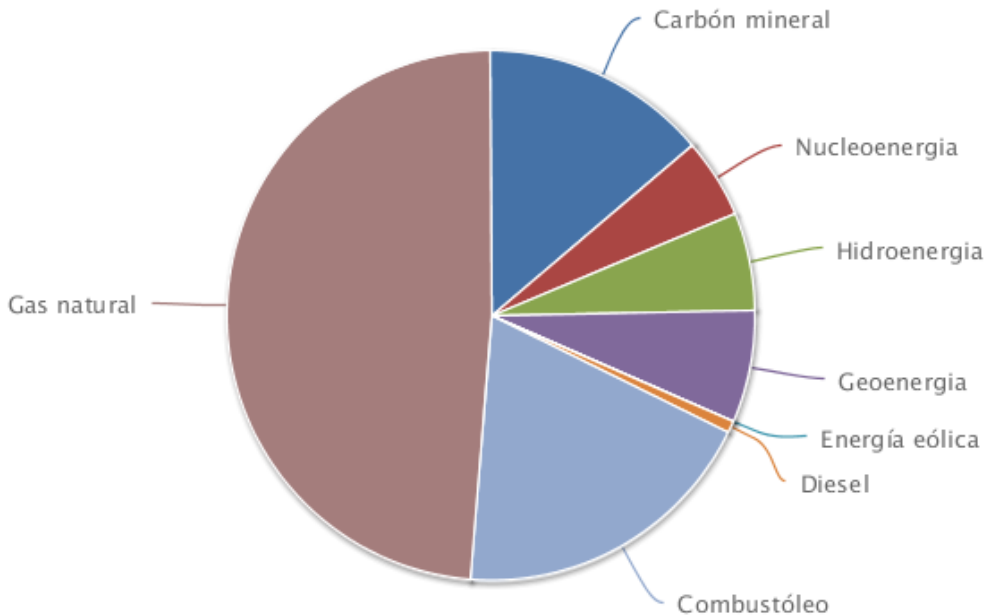


Figura 3 Consumo de energía para generación eléctrica en México.

Fuente: Sistema de información energética. <http://sie.energia.gob.mx>

Se ve de la gráfica anterior que en primer lugar se encuentra el gas natural y en segundo lugar el combustóleo y le sigue el carbón mineral, donde el segundo tiene su origen en el petróleo. Por lo tanto, se puede ver que existe un vínculo entre los hidrocarburos del petróleo y la generación de energía eléctrica en México. Por lo tanto, también el costo de la energía eléctrica está íntimamente vinculado con los costos del petróleo. Por lo que el valor de las tarifas eléctricas va a depender de cómo varíen los precios del crudo en México y en el mundo, ya que estos tienen algo de volatilidad. En la gráfica de la figura 4 se puede observar la tendencia del precio de algunos de los combustibles de origen fósil, incluido el combustóleo, muy usado en las plantas termoeléctricas. (SENER)

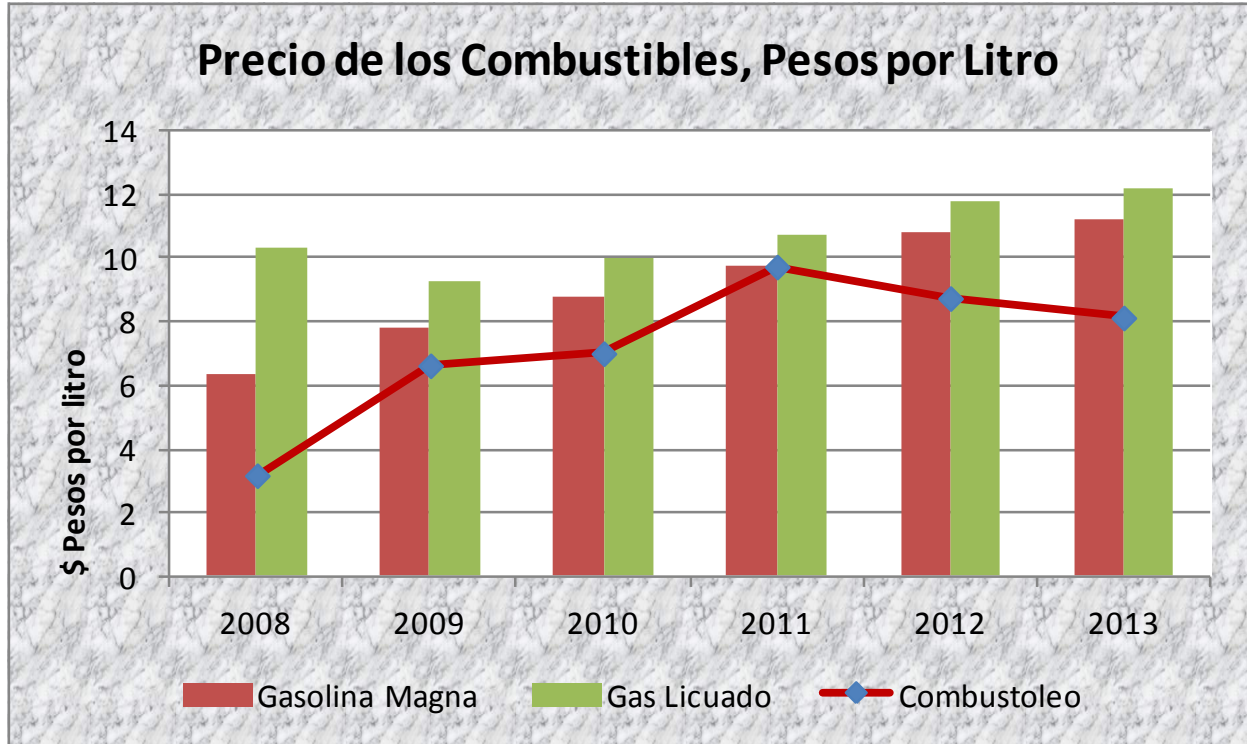


Figura 4. Precios de algunos combustibles en México.

Datos obtenidos de la página de Pemex. <http://www.ri.pemex.com>

Se puede apreciar que el combustóleo muestra una tendencia a la alza entre el 2008 y 2011. Y aunque del 2012 a lo que va del 2013 ha tenido una ligera disminución, la tendencia general es a subir, lo cual también impacta al costo de la generación de energía eléctrica y por ende las tarifas eléctricas suben.

En cuanto a las tecnologías usadas para la generación de la energía eléctrica en México, se puede ver que el número uno lo ocupan las centrales termoeléctricas, precisamente las que usan combustóleo, seguido de las de ciclo combinado, mientras que las relacionadas con energías renovables (de origen no fósil) son aún muy pocas como se puede apreciar en la gráfica de la figura 5 que refleja datos de Enero a Marzo del 2013. (SENER)

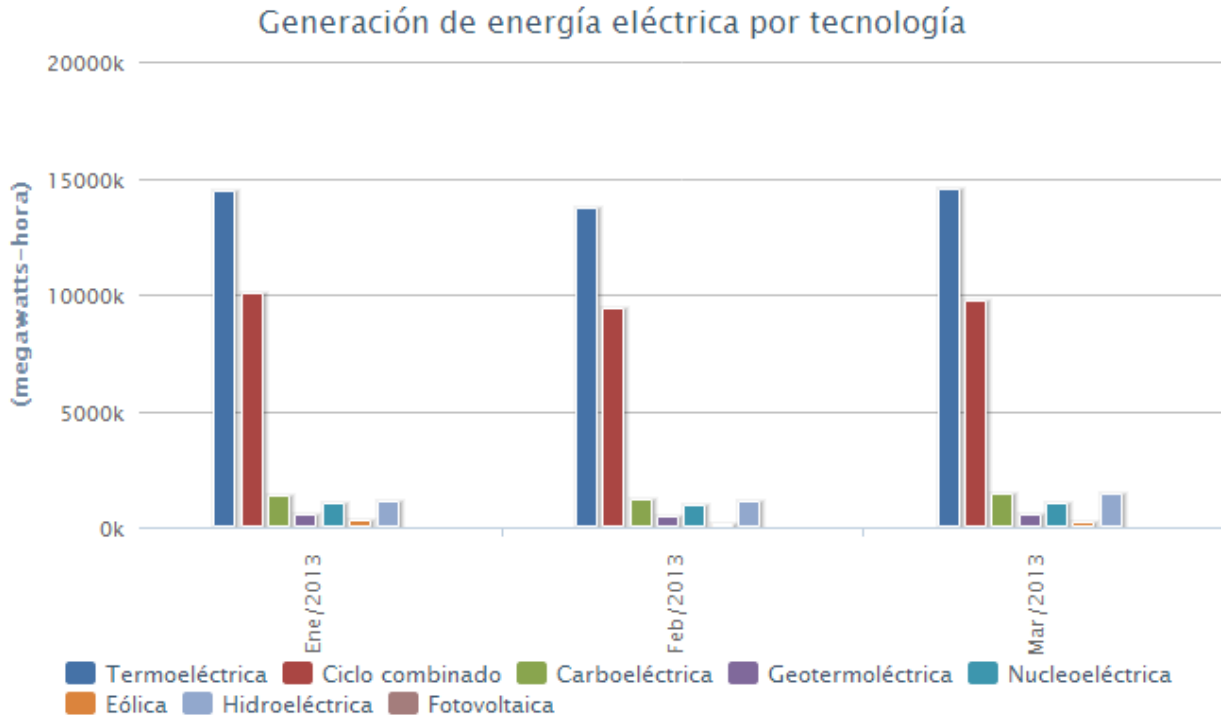


Figura 5. Tecnologías usadas para generación de electricidad en México.

Fuente: Sistema de información energética. <http://sie.energia.gob.mx>

De las tecnologías de origen renovable, se ve en la gráfica anterior que la de tipo eólica su uso es muy bajo y la fotovoltaica no figura al menos gráficamente.

En cuanto a las unidades para medir la energía, las más comunes son los kilojoules (kJ), las kilocalorías (kcal), los kilowatts-hora (kWh) y las toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Para el caso del consumo de la energía eléctrica, las unidades usadas son los kilowatts-hora (kWh).

1.6.1 Diagnósticos energéticos y equipos de medición.

El diagnóstico energético se puede concebir como la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es aprovechada la energía (Velasco, 2003).

También se puede concebir como la implementación de un programa de administración de la energía de manera que se obtiene un beneficio al reducir los costos de operación. Y esto retribuye en un ahorro económico, el cual permite una rápida recuperación de la inversión. Esto conlleva el ser

más eficientes en el uso de la energía, es decir, hacer lo mismo con menos, lo cual es una definición del término "eficiencia energética".

El diagnóstico energético se suele comenzar con la planeación del tiempo y los recursos existentes. Seguido de una recopilación de datos en sitio como son: inventario de equipos consumidores de energía eléctrica, inventario de equipos generadores de energía, detección de fugas y desperdicios, análisis del tipo y frecuencia de mantenimiento de los equipos.

Después sigue la toma de datos con equipo especializado. El más útil es el llamado "Analizador de redes". Un analizador de redes puede medir una gran variedad de parámetros eléctricos. Cabe mencionar que el analizador de redes puede ser usado en sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos. Dicho equipo cuenta con un "DATA LOGGER", es decir, tiene una memoria interna donde va salvando los datos eléctricos de interés. Por lo que uno debe programarlo inicialmente antes de la toma de los datos. La cantidad de parámetros que puede medir un equipo depende del modelo y del fabricante, algunos de dichos parámetros son: formas de onda de voltaje y corriente, valores de voltaje y corriente RMS, valores de voltaje y corriente pico, estos últimos dos tanto de línea como de fase, corriente y voltaje en el neutro, el ángulo de fase entre voltaje y corriente, el consumo eléctrico (kWh), la demanda o potencia eléctrica real (kW), la distorsión Armónica individual y total (THD) tanto de corriente como de voltaje, la potencia reactiva (kVAR), la potencia aparente (kVA), el factor de potencia (FP), el desplazamiento del factor de potencia (PFD del inglés Power Factor Displacement), el factor de cresta, la frecuencia y los altibajos de corriente y voltaje entre otros.

Durante la inicialización (SET UP) del equipo, se le indica (se programa) cuáles de estos parámetros se desean salvar, además también se indica con qué periodicidad (frecuencia) se van a salvar y durante cuánto tiempo. Para realizar las mediciones, los analizadores tienen 4 salidas para puntas de voltaje (3 fases y 1 neutro) y 3 o 4 salidas (3 fases y algunos también para el neutro) para conectar los sensores (TC) de corriente. Algunos analizadores cuentan con pantalla de cristal líquido para desplegar la información, mientras que otros no lo tienen, sino que se deben conectar a una computadora o laptop para visualizarlos. Estos aparatos los hay de varias marcas, el famoso FLUKE, SOLSENER, DATACOM, KYORITSU, AEMC, entre otros.

Otros equipos útiles para el diagnóstico energético son el luxómetro, que sirve para medir la intensidad de luz de las luminarias tanto de interiores como de exteriores, el termómetro, medidores de velocidad de aire, tacómetros para medir las RPM de los motores, entre otros.

En resumen, los pasos a seguir para realizar un buen diagnóstico energético son:

- a) Planear el tiempo y los recursos
- b) Recopilar datos en sitio (inventarios de equipos)
- c) Tomar mediciones
- d) Analizar los datos
- e) Estimación del potencial de ahorro energético
- f) Plan de acción basado en el diagnóstico

Dependiendo del alcance y extensión del diagnóstico energético, este puede ser de tres tipos o niveles:

Pre-diagnóstico: Este se basa en la inspección visual para dar una idea cualitativa de los ahorros potenciales que pueden verse fácilmente y se pueden lograr mediante procedimientos apropiados de mantenimiento y operación. Este nivel de diagnóstico se puede dar incluso en un día de visita.

Diagnóstico Energético de primer nivel o DEN-1: Este tipo de diagnóstico, no requiere de inversión. Y tiene como fin la obtención de un balance global de energía y sus potenciales de ahorro. No es necesario tomar datos con un analizador de redes, y es más enfocado a una campaña de concientización del uso eficiente de la energía. Por ejemplo, encender las luminarias cuando solo sea necesario, apagar motores que estén trabajando en vacío, etcétera. Este nivel de diagnóstico es para realizarse entre 4 a 10 días.

Diagnóstico energético de segundo nivel DEN-2: Su objetivo es la obtención de balances específicos de energía, así como potenciales de ahorro de la misma, con o sin inversión, aplicados al proceso. En este nivel, ya es necesario tomar datos con un analizador de redes, al menos los datos de una semana completa laborable. El tiempo de realización varía entre 15 y 60 días.

Diagnóstico Energético de tercer nivel: Aquí ya se hace un análisis exhaustivo de la operación del proceso y se puede considerar el diseño de

cierta instalación. Se usa equipo especializado de medición y control. Debe realizarse con la participación de personal especializado de cada área y de ingeniería. Se suelen usar técnicas de simulación de procesos con la finalidad de estudiar la interrelación entre equipos y procesos. Se pueden cambiar las condiciones de operación de un proceso para modificar el consumo específico de energía por lo que se requiere información de los flujos de materiales, combustibles utilizados, así como de las variables de presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes. Este tipo de diagnóstico es a mediano plazo y puede implicar la modificación a equipos, procesos o incluso de tecnologías utilizadas. La evaluación económica no puede faltar en este tipo de diagnóstico debido a que es el nivel de mayor inversión.

1.6.2 El consumo eléctrico, la demanda y el factor de potencia.

1.6.1.1 El consumo eléctrico

El consumo eléctrico es la cantidad de energía eléctrica consumida por una entidad en cierto periodo de tiempo. Por lo que sus unidades suelen ser en watts-hora o bien kilowatts-hora. Este valor es acumulativo en el tiempo. Dicho de otra manera, si se graficara la demanda de energía eléctrica instantánea contra el tiempo, el consumo de energía vendría siendo la integral de dicha gráfica (el área bajo la curva) entre ciertos límites (periodo de tiempo). El consumo es uno de los rubros que cobra la compañía suministradora de energía, cuyo precio puede variar en el tiempo dependiendo de la época del año, verano o invierno y de la hora del día en que se consume. Esto se va a ver en más detalle en la sección de tarifas.

1.6.2.2 La Demanda eléctrica

Por otro lado, la demanda es la cantidad de energía eléctrica en kilowatts (kW) que es consumida en un instante dado. Esta es monitoreada por la compañía suministradora en intervalos de 15 minutos. Se define entonces la demanda máxima como la demanda promedio en kilowatts (kW) durante un periodo de 15 minutos el cual es mayor que en cualquier otro periodo de 15 minutos. Dichos periodos van rotados en intervalos de 5 minutos. Como se verá más adelante, en cierto tipo de tarifas se cobra la demanda máxima, pero en el caso de las tarifas horarias, se cobra lo que se denomina

“Demanda Facturable”, ya que la tarifa va a variar según el horario del día, quedando 3 periodos principales denominados “base”, “intermedio” y “punta”. La demanda facturable se determina entonces mediante la siguiente fórmula:

$$DF = DP + [FRI * \text{máx. } (DI-DP, 0)] + [FRB * \text{máx. } (DB - DPI, 0)] \quad (1)$$

En donde:

DF: Demanda Facturable

DP: Demanda máxima medida en el periodo de punta

DB: Demanda máxima medida en el periodo base

DI: Demanda máxima medida en el periodo intermedio

DPI: Demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

FRI y FRB: Son factores de reducción que varían dependiendo de la región en el país. Para el caso de la región Baja California, toman los siguientes valores:

$$FRI = 0.141, FRB = 0.070$$

La demanda se usa también para el contrato con la compañía suministradora de energía, pues el tipo de tarifa va a variar según la demanda contratada y esta a su vez se basa en la demanda conectada (suma total de todas las cargas).

1.6.2.3 El factor de potencia.

Hablar de Factor de potencia es hablar de aprovechamiento de la energía y de las potencias que generan los tres tipos de cargas que existen, las cuales son de tipo resistivas, capacitivas e inductivas. Una carga resistiva genera potencia activa en watts mientras que las cargas capacitivas e inductivas generan una potencia llamada “reactiva”. Las cargas inductivas están formadas por componentes y aparatos con embobinados como los motores y los transformadores. Estas son las cargas más comunes en la industria. Por otro lado las cargas capacitivas son debidas a capacitores, los cuales no son

muy comunes. Estos dos elementos forman la potencia reactiva que junto con la potencia real forman los catetos de un triángulo (triángulo de potencias), en donde la hipotenusa del mismo viene a formar la suma vectorial de los dos anteriores recibiendo el nombre de potencia aparente.

Es importante mencionar que la potencia real es la única que produce un trabajo físico en los equipos, mientras que la potencia reactiva no produce trabajo alguno. Esta última solo sirve para crear los campos magnéticos necesarios en los motores y transformadores. De ahí que una forma de aprovechar mejor la energía, es reduciendo en lo más posible la potencia reactiva.

En cuanto a unidades de medición, la potencia reactiva esta en volt-ampere reactivos mientras que la potencia aparente en volt-amperes y como ya se dijo antes, la potencia real, que es la que sí produce un trabajo físico está en watts. Al conjunto de estas tres potencias se le llama el triángulo de potencias quedando como se ve en la figura 6.



Figura 6 Triángulo de potencias.

Fuente: Propia

El ángulo formado entre las potencias real y aparente se llama " Φ ". Es entonces el factor de potencia el coseno de este ángulo. Este ángulo es al mismo tiempo el formado por el desfase entre el voltaje y la corriente, pues los elementos inductivos (bobinas) retrasan la corriente mientras que los capacitivos (capacitores) la adelantan, creando así un ángulo de desfase entre ambas variables.

Desde el punto de vista de las matemáticas, estas potencias vienen representando un número complejo denominado también "potencia compleja". En donde la parte real es representada por la potencia real en watts (W), mientras que la parte compleja o imaginaria viene dada por la

potencia reactiva en volt-ampere reactivos VARS. Todo en conjunto es la potencia compleja que viene siendo la potencia aparente. Se suelen representar la potencia real mediante la letra "P", la potencia reactiva mediante la letra "Q" y la aparente mediante la letra "S". Por tanto se tiene:

$$S = P + jQ \quad (2)$$

Donde j es el número imaginario $\sqrt{-1}$

Este ángulo de desfase entre voltaje y corriente tiene un inconveniente para la compañía suministradora, ya que ella es la encargada de generar las 3 potencias mencionadas en el triángulo de potencias, lo cual le representa un costo de producción. Mientras que los usuarios, solamente pagan por la potencia real que está en watts. Por lo tanto, resulta obvio que se vuelve más grave esta situación cuanto mayor es el desfase entre voltaje y corriente (una mayor potencia reactiva equivale a un mayor valor de ángulo Φ que a su vez equivale a un menor valor del coseno de dicho ángulo y por ende un menor factor de potencia).

Es por ello, que en política de precios y tarifas, la compañía generadora ha creado un límite mínimo para el factor de potencia, el cual los usuarios deben respetar. Dicho límite es de 0.9 o de 90% expresado en porcentaje. Por lo tanto, en la facturación de energía eléctrica, la compañía hace un cargo extra en caso de tener un factor de potencia por debajo del límite establecido, o bien una bonificación en caso de estar por arriba de este límite. De manera que lo ideal, es tener un factor de potencia entre 0.9 y 1. En la sección siguiente de tarifas y costos de la energía se dan las formulas usadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el cálculo de dicho cargo o bonificación.

En la mayoría de las empresas, el factor de potencia suele estar bajo debido a las cargas inductivas. Pues todo lo que son transformadores y motores son cargas muy comunes y estas tienen embobinados (cargas inductivas) en su interior, lo que representa un mayor valor de potencia reactiva KVARs como ya se explicó antes. Es por eso, que el cargo o bonificación por factor de potencia solo aplica para las tarifas industriales y comerciales, donde existen dichas cargas. Y normalmente es mínimo en las residenciales, por lo que no aplica para las tarifas domésticas.

Para el caso de la potencia reactiva Q debido a cargas inductivas, es de signo contrario al de la misma potencia pero debido a cargas capacitivas. Es

por eso, que la contramedida más común para corregir el bajo Factor de Potencia, es aplicar un banco de capacitores, los cuales van a restarle valor a la potencia Q causada por las cargas inductivas de la empresa (motores, transformadores, etcétera). Y como consecuencia, viendo el triángulo de potencias, reduciendo Q se reduce también el ángulo de desfase entre voltaje y corriente y el coseno de dicho ángulo es mejorado. Entre más cercano a cero el ángulo, el coseno será más cercano a uno ($\cos 0 = 1$).

En el mercado, los bancos de capacitores para corregir el factor de potencia se suelen medir en kVAR, que es la cantidad de potencia reactiva que van a reducir. Concluyendo, se puede decir que mejorar el factor de potencia es una de las acciones de mejora para el ahorro y aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica.

1.6.3 Tarifas y costos de la energía eléctrica

Una tarifa es en definición una tabla de precios, "derechos" o impuestos. Que en derecho el significado es más restrictivo y se refiere a los precios unitarios fijados por el estado para los servicios públicos realizados a su cargo. Es importante esta investigación debido a la gran variedad de tarifas que existen en nuestro país, que son arriba de 37 diferentes.

Las tarifas eléctricas se dividen según:

- a) El tipo de tensión (media, baja y alta tensión).
- b) El uso que se le va a dar (doméstico, comercial o industrial, riego agrícola, alumbrado público, bombeo de agua, entre otros).
- c) La zona geográfica en el territorio mexicano.
- d) La estación del año.
- e) El horario de consumo (solo tarifas horarias).

En cuanto al tipo de tensión, existe la baja tensión que es menos de 1000 volts, media tensión considerada entre los 1000 y los 36kV y alta tensión para valores entre los 36kV y los 220kV. Algunos lugares suelen diferir en los rangos definidos para media y alta tensión. En cuanto al uso que se les va a dar, es importante mencionar que solamente la tarifa doméstica (Tarifa 1) es la que tiene subsidio del gobierno. Y existen varias tarifas para distintos usos, entre ellos el doméstico, el de uso comercial o industrial del cual hay varias tarifas dependiendo de la demanda contratada en KW, el de

riego agrícola, alumbrado público, bombeo de agua, entre otros. Respecto a la zona geográfica, existen ocho zonas en nuestro país que son: Baja California, Baja California sur, Noroeste, Norte, Noreste, Central, Sur y Peninsular como se ve en la figura 7.

REGIONARIZACION TARIFARIA

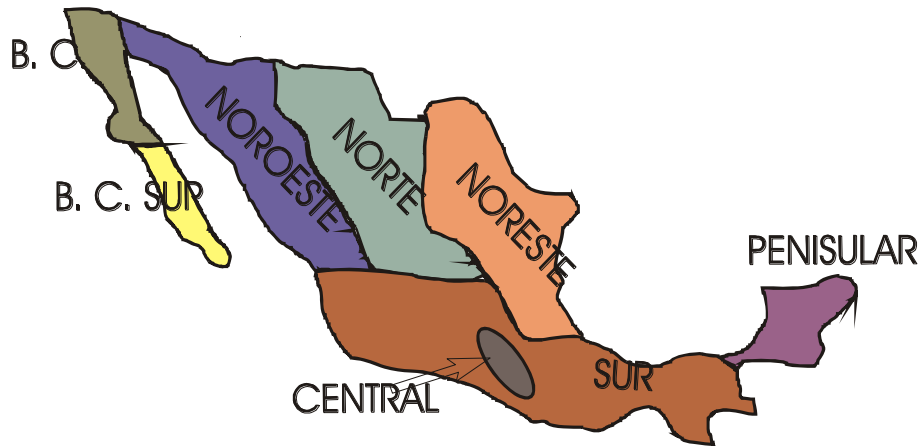


Figura 7 Regiones de tarifas eléctricas en México

Fuente: Presentación de tarifas eléctricas, Ramón Rosas Moya, 2009

En cuanto a la estación del año solo hay dos, que son para el horario de verano y el de invierno, cuyo cambio ocurre en los meses de Abril y Octubre. En este último punto, es importante hacer mención que el cambio de horario difiere en fecha en Baja California que en el resto del país, aunque dicha diferencia no es mayor a tres semanas. En cuanto al horario de consumo, este solo aplica a ciertas clasificaciones de tarifas (tipo horarias), no a todas y tiene tres horarios denominados "base", "intermedio" y "punta" según el horario de uso durante el día. El más barato es el de base y el más caro el de punta. De allí el interés de minimizar su uso en este último horario cambiando las horas de uso de equipos de alto consumo en este periodo. Finalmente los precios de dichas tarifas pueden cambiar mensualmente debido a factores como el índice de precios al consumidor, el tipo de tarifa, el cambio en los precios de los combustibles y el cambio de subsidio del gobierno.

Los cargos hechos en el recibo, son principalmente en tres rubros:

- Cargo por demanda [kW] (en base a la demanda máxima medida o demanda facturable)
- Cargo por consumo [kWh]
- Bonificación o cargo por Factor de Potencia [FP>90%]

En el caso del cargo por demanda, este puede representar entre el 5% y el 30% de la facturación eléctrica dependiendo de la época del año. Y como ya se mencionó en la sección anterior, CFE monitorea cada 15 minutos la demanda máxima promedio y a la vez lleva un record de cuál fue la más alta, es decir, en qué periodo de 15 minutos ocurrió la más alta. Por lo tanto, el cargo por demanda está compuesto por la demanda máxima medida. Y esta tiene un precio. En el caso de las tarifas horarias, se monitorea una demanda máxima por cada periodo horario (base, intermedio, punta) y el cargo lo hace en base a la "demanda facturable" (DF), la cual se calcula con la formula (1) mencionada en la sección anterior.

La demanda máxima y la demanda facturable están en kilowatts, mientras que el consumo está en kilowatt-hora. De allí que el cargo por demanda sea en pesos por kW y el consumo en Pesos por kWh.

Como ya se mencionó, una de las clasificaciones de las tarifas depende del tipo de servicio que se da y esta es usada por CFE como una clasificación general para asignar a cada usuario su tipo de tarifa lo cual define como se le va a facturar a dicho cliente. Dicha clasificación es como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de las tarifas eléctricas en México.

CLASIFICACION	TIPO DE SERVICIO
TARIFAS DE BAJA TENSION	
1, 1 A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F	Servicio doméstico
DAC	Doméstico alto consumo
2	Servicio general hasta 25kW de demanda
3	Servicio general con más de 25kW de demanda
9	Servicio para bombeo de agua para riego agrícola
TARIFAS EN BAJA O MEDIA TENSION	
5	Servicio para alumbrado público sin límite de carga en zonas conurbadas en DF, Monterrey y Guadalajara
5 A	Servicio para alumbrado público sin límite de carga
6	Servicio para bombeo de aguas potables o negras de servicio publico
7	Servicio temporal sin límite de carga
9-CU, 9-N	Servicio para bombeo de agua para riego agrícola
TARIFAS EN MEDIA TENSION	
9-M	Servicio para bombeo de agua para riego agrícola
O-M, O-MF	Tarifa ordinaria para servicio general con demanda menor de 100kW
H-M, H-MF	Tarifa ordinaria para servicio general con demanda de 100kW o más.
H-MC	Tarifa ordinaria para servicio general con demanda de 100kW o más para corta utilización.
TARIFAS EN ALTA TENSION	
H-S, H-SF	Tarifa horaria para servicio general en alta tensión nivel sub transmisión.
H-SL, H-SLF	Tarifa horaria para servicio general en alta tensión nivel sub transmisión, para larga utilización
H-T, H-TF	Tarifa horaria para servicio general en alta tensión nivel transmisión
H-TL, H-TLF	Tarifa horaria para servicio general en alta tensión nivel transmisión, para larga utilización.

En el caso de las tarifa doméstica #1 (tarifa 1), esta a su vez tiene varias sub-clasificaciones (1 A, 1B,...1F), la cual va a depender de la temperatura ambiente promedio de la región. Ya que entre más caliente sea la temperatura ambiente, el uso de equipos de aire acondicionado es más probable y esto genera un mayor consumo, por lo que el costo de la tarifa

cambia. Y ya solamente para clientes con un alto consumo, se les aplica la tarifa DAC (Doméstico alto consumo).

Finalmente el tercer rubro es el cargo por factor de potencia, el cual aplica para tarifas 3, OM y las horarias. Para esto, CFE ha fijado un mínimo de 90% o 0.9 para no tener un cargo \$ por factor de potencia (FP). Mas sin embargo, si se tiene un FP > 90%, CFE hace una bonificación. El cálculo para determinar el cargo o la bonificación por FP es de acuerdo a las siguientes formulas:

CARGO POR F.P. < 0.9

$$CARGO = \frac{3}{5} \left(\frac{0.90}{FP} - 1 \right) \times 100\%$$

Siendo el valor máximo aplicable de 120% (equivale a un FP = 0.3)

BONIFICACION POR F.P. > 0.9

$$BONIFICACION = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{0.90}{FP} \right) \times 100\%$$

Siendo el valor máximo aplicable de 2.5% (equivale a un FP = 1)

El porcentaje calculado en ambos casos, sea cargo o bonificación, se aplica al sub-total de la suma de los cargos por consumo más demanda.

1.6.4 Indicadores energéticos

Se dice que lo que se puede medir se puede mejorar, por lo que es necesario tener algunos indicativos del aprovechamiento de la energía. Y el área del sector energético no es la excepción. Por lo que se tienen indicadores a nivel macroeconómico, es decir, a nivel nacional o de producción, pero también los hay a nivel micro, es decir, a nivel del usuario final.

Entre los indicadores a nivel macroeconómico, existe la llamada "Intensidad energética" la cual está dada en kilo-joule por peso producido del PIB nacional. Este indicador relaciona energía con la economía del país, pues ambos están relacionados, la economía se basa en la energía. También se

tiene el consumo per cápita de energía dado en Giga-Joules por habitante. Este indicador revela qué tan evolucionado está un país, pues relaciona la energía con la población, quien la utiliza. Se ve así que países pobres como China, India consumen menos energía que países industrializados como Estados Unidos con una población menor. Se ve entonces esta relación, que los países que más consumen energía, son países más prósperos económicamente hablando. Por otro lado, está el consumo de electricidad per cápita dado en kilowatts hora por habitante. Este indicador es similar al anterior y pudiendo comparar consumos entre países. Por ejemplo, la familia promedio en Estados Unidos gasta más kWh al día que en México.

En cuanto a los indicadores a nivel microeconómico para una industria, comercio o institución por ejemplo, se tiene el índice energético que es la energía consumida por unidad de producción (producto fabricado o servicio), la energía consumida por área (m^2) y el costo de la energía consumida por área (m^2). También se considera la cantidad de energía por persona. Para una institución educativa por ejemplo, se puede considerar la cantidad de energía por matrícula de alumnado más empleados.

Todos estos indicadores señalan qué tanto se está aprovechando la producción y el consumo de la energía eléctrica tanto a nivel micro como macroeconómico.

1.6.5 Posibles áreas de oportunidad para el ahorro de energía eléctrica.

Prácticamente se puede decir que todas las áreas donde se consume energía, son lugares donde se puede trabajar para hacer más eficiente el uso de dicha energía y como consecuencia, tener un ahorro tanto de energía como económico. Sin embargo, hoy en día ya se tienen bien identificadas las áreas de oportunidad más comunes donde se pueden aplicar acciones de mejora. Estas áreas son:

- a) Iluminación
- b) Motores
- c) Aires acondicionados
- d) Refrigeración
- e) Factor de potencia
- f) Bombeo
- g) Aire comprimido

h) Administración de la demanda eléctrica

1.6.6 Calidad de la energía

La energía tiene cantidad, pero también calidad. Ya que no toda la energía se puede convertir en trabajo. Y es allí donde entra el concepto de eficiencia. Pues de acuerdo con la primera ley de la termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Y es realmente eso lo que hacen todas las plantas generadoras de energía eléctrica. Transformar un tipo de energía a energía eléctrica. Por ejemplo, una central termoeléctrica transforma la energía química del combustible de origen del petróleo y lo convierte primeramente en energía calorífica, luego esta energía se transforma en energía cinética al calentar un fluido, generalmente un gas, para a su vez mover una turbina, convirtiéndola ahora en energía mecánica. Esta energía mecánica ahora va a mover un generador eléctrico a través del eje de la turbina, con el cual, va ahora a convertir dicha energía mecánica en energía eléctrica. Finalmente, hay que transportar la energía eléctrica a los diferentes usuarios, los cuales normalmente no viven cerca de la planta generadora. Por lo tanto, se usa más energía para su transportación, la cual se pierde por calentamiento en los conductores.

En cada uno de los procesos de conversión de energía mencionados anteriormente, se pierde cierta cantidad en transferencia de calor al medio ambiente, fricción, entre otros. Por lo que solo una fracción de la energía química original es la que se transforma en energía eléctrica. A esto se le llama eficiencia. Un equipo es más eficiente entre menos pérdidas de energía tenga. Técnicamente, eficiencia es el cociente de la energía real obtenida a la salida del proceso, entre la energía de entrada. En el ejemplo anterior, sería la energía obtenida en forma de electricidad entre la energía química del combustible utilizado en un inicio del proceso.

Eficiencia = energía de salida/energía de entrada

Por otro lado, hablando exclusivamente de la energía eléctrica, esta puede padecer de otros factores de calidad, como son la distorsión de la forma de onda conocido como distorsión armónica, altibajos o transitorios en el nivel de voltaje, interrupción del suministro, variaciones de la frecuencia, huecos de voltaje, entre otros. Por lo tanto, se puede ahora hablar de calidad del suministro eléctrico, calidad del voltaje y calidad de la corriente eléctrica. Técnicamente hablando, cualquier alteración en la alimentación de energía

eléctrica que se manifiesta como desviaciones de voltaje, de corriente y de frecuencia que pueden resultar en una falla o mala operación en los equipos de los usuarios se puede considerar un fallo en la calidad de la energía eléctrica. (Roger C. Dugan, 2004)

Estas alteraciones son reguladas por estándares nacionales e internacionales mediante los diferentes actores como son la misma CFE en México, la norma Europea EN50160, la IEEE 519-1992, la ANSI C84, entre otros. Algunas de las alteraciones típicas en la calidad de la energía son las mostradas en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros de las alteraciones típicas de calidad de la energía.

Parámetro	Definición
Sobre-voltajes (swells)	Aumento de 110 a 180% del valor RMS del voltaje con duración de medio ciclo a un minuto.
Huecos de voltaje (sags)	Decremento de un 10 a 90% del valor RMS del voltaje con duración de medio ciclo a un minuto.
Interrupciones de energía	Reducción del voltaje o corriente de línea a menos del 10% del valor nominal sin exceder de 60 segundos.
Transcientes oscilatorios	Variación oscilatoria momentánea en voltaje, corriente o ambos.
Armónicos de voltaje o corriente	Múltiplos de la frecuencia fundamental son sumados al voltaje, corriente o ambos.
Fluctuaciones de voltaje	Pequeñas variaciones (<5%) en el voltaje RMS de línea.

Cada una de estas, tiene sus límites máximos permisibles de acuerdo a las normas ya mencionadas anteriormente.

1.6.7 La iluminación y la luz

La iluminación es una de las áreas de oportunidad para mejorar el aprovechamiento y uso eficiente de la energía eléctrica. Pero para hablar de iluminación, hay que hablar de la luz. Entonces se debe responder a la pregunta ¿qué es la luz?, la luz es una sección del espectro electromagnético, la cual es visible al ojo humano. El rango del espectro electromagnético se puede medir en frecuencia o en longitud de onda. Ya que estos dos términos están íntimamente ligados mediante la formula

$$\lambda = c/f$$

Donde:

λ : longitud de onda

c: velocidad de la luz = 299,792,458 m/s aprox. 3×10^8 m/s
f: frecuencia en ciclos por segundo (Hz)

Es entonces el espectro visible, la luz como se conoce, el rango en términos de longitud de onda desde los 380nm¹ (nanómetros) hasta los 770nm aproximadamente. En la parte baja, debajo de los 380nm se encuentra el ultravioleta (UV), el cual ya no es visible al ojo humano y justo por arriba de los 770nm se encuentra el infrarrojo (IR), el cual tampoco es visible al ojo humano. Dentro del rango que sí es visible, va a estar todo el arcoíris de colores, donde cada color va a estar dado por una longitud de onda distinta. Sin embargo, el ojo humano tiene distintas sensibilidades a los distintos colores (longitudes de onda), siendo el color verde el más sensible. La suma de todos los colores da el color blanco. De hecho, es el principio del funcionamiento de una televisión a color o de una impresora a color. Ambos usan tres colores básicos, que combinados pueden dar una gran gama de colores. Y combinando balanceadamente dichos colores, se obtiene precisamente el color blanco.

Sin embargo, el color blanco no es una zona puntual dentro del espectro, sino más bien un rango ya que existen distintos niveles de blanco. Y con esto surge un nuevo término llamado "temperatura de color" o "balanceo de blanco" (WHITE BALANCE en inglés). La temperatura de color está en grados Kelvin, los cuales se basan en el principio del calentamiento de un cuerpo negro, el cual llegando a cierta temperatura emite radiación electromagnética que incluye ultravioleta (UV), longitudes de onda visible e infrarrojo (IR) y las radiaciones visibles cambian su color de rojizo-amarillo a blanco. Por lo tanto, los niveles de blanco varían desde 2700 hasta unos 9500 grados Kelvin. Y aquí entra la cromaticidad, muy usada para medir el color en televisores y cámaras a color por ejemplo. En estos casos se usan coordenadas de color "X" y "Y" como se muestra en el diagrama de cromaticidad de la CIE en la figura 8. (BIYEE SCITECH INC., 2013)

La temperatura de color o cromaticidad, es lo que en iluminación da la tonalidad de la lámpara, y comúnmente se conoce como luz "cálida" o bien luz "fría". La luz cálida esta cerca de la longitud del color rojo y anda en unos 2700 a 4500 K mientras que la luz fría es más cerca a la tonalidad del azul y anda arriba de los 6500 K.

¹ nm: nanómetros

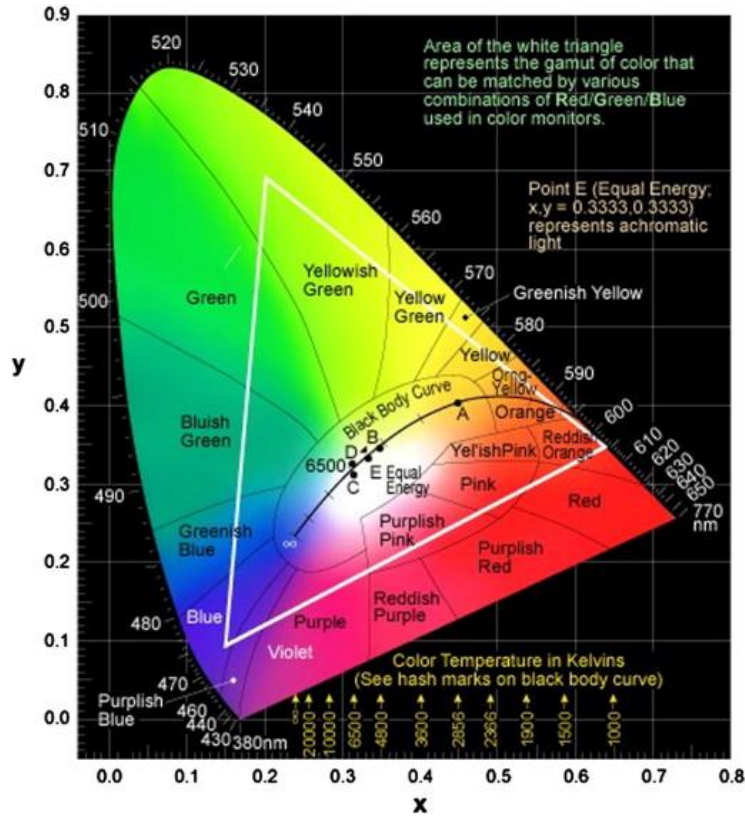


Figura 8 Diagrama de cromaticidad (CIE-1931)

Fuente: <https://www.sciencedirect.com>

www.biyee.net/color-science/cie-chromaticity-diagram/

Ahora, no todas las luminarias dan luz en todas las longitudes de onda de manera continua, algunas solo iluminan en ciertas frecuencias específicas. Por lo que la temperatura de color es también importante en iluminación y en las diferentes lámparas que existen en el mercado.

Por otro lado, también existe lo que se conoce como el principio de dualidad de la luz, la cual puede ser tratada como una onda, o bien como una partícula. Ambos puntos de vista son validos, solamente que cada uno tiene un trasfondo teórico diferente, con sus respectivas ecuaciones. Entonces ¿cuál se va a usar?, la respuesta depende del uso que se le va a dar, o más bien qué es lo que se está buscando. En algunos casos va a convenir tratar la luz como partícula y en otros como onda. Sin embargo este tema se deja de lado ya que está fuera del alcance de esta investigación.

1.6.8 Definición de parámetros de iluminación.

Para poder saber que tan bien se está iluminando un área determinada, es necesario tomar mediciones, para lo cual, se deben definir primero los parámetros relacionados con las mediciones de iluminación. Entre ellos se tiene:

LUMEN: Es la unidad de la cantidad de luz o flujo luminoso (Φ) emitida por una fuente de luz puntual de una candela de intensidad dentro de un ángulo solido de un estero radian por unidad de tiempo (un segundo).

CANDELA: Es la unidad de la intensidad luminosa (I) de una fuente de luz en una dirección dada producida en un $1/600,000$ de metro cuadrado de un cuerpo negro radiante a la temperatura de solidificación del platino.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = \frac{\text{lumen}}{\text{esteroradian}} = \text{Candela}$$

Ecuación 1. La candela

ESTERO RADIAN: (Sr) Casquete esférico cuya área es igual al cuadrado del radio de la esfera expresando el radio en múltiplos de un ángulo de un radián.

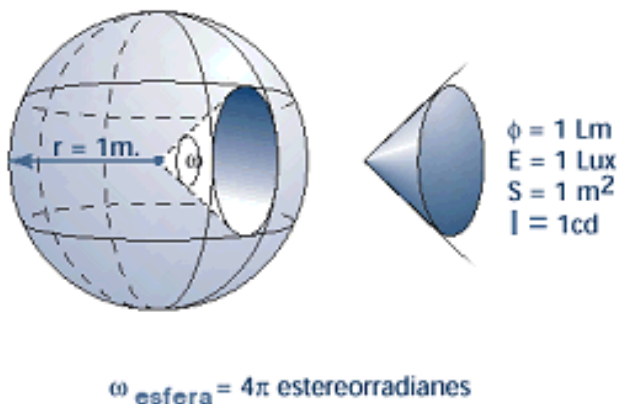


Figura 9. Definición de estero radian.

Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnica/magnitudes.htm>

ILUMINANCIA: (E) Es una medida de que tanto es iluminada una superficie por una fuente de luz. También llamado iluminación y se define como el flujo luminoso incidente por unidad de área. Sus unidades en el sistema métrico

decimal son los luxes y en el sistema norteamericano es la bujía-pie. Es entonces un lux el equivalente a un lumen por metro cuadrado.

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{\text{lumen}}{m^2} = \text{lux}$$

Ecuación 2. Iluminancia

LUMINANCIA: (L) Aplica para una superficie que emite, atraviesa o refleja un flujo luminoso a diferencia de la iluminancia que es para una superficie que es iluminada por una fuente externa. Entonces se define luminancia como la intensidad luminosa que emite dicha superficie de manera perpendicular a la misma por unidad de área.

$$L = \frac{I}{S} = \frac{\text{Candela}}{m^2}$$

Ecuación 3. Luminancia

En caso que la superficie considerada no sea perpendicular a la dirección de la luz emitida, habrá que considerar el ángulo y la formula cambia como se muestra a continuación:

$$L = \frac{I}{(S_0) \cos \alpha} = \frac{\text{Candela}}{m^2}$$

Ecuación 4. Luminancia para superficies no perpendiculares al rayo de luz.

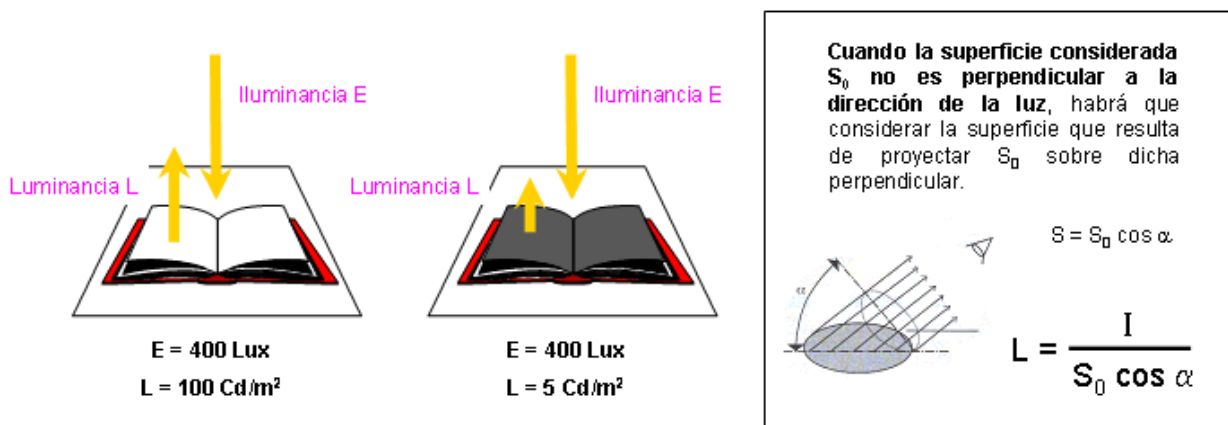


Figura 10 Luminancia e iluminancia

Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/magnitudes.htm>

EFICIENCIA LUMINOSA: (η) Se define como el total del flujo luminoso emitido por una lámpara en relación a la energía eléctrica consumida por la misma. Y sus unidades son lumen por watt.

$$\eta = \frac{\Phi}{W} = \frac{\text{lumen}}{\text{Watt}}$$

Ecuación 5. Eficiencia luminosa.

FUENTES DE LUZ PUNTUALES: En teoría una fuente de luz puntual debe tener una área de cero. Sin embargo, se sabe que una lámpara va a tener ciertas dimensiones, pero para efectos prácticos, es considerada como saliendo de un punto, siempre y cuando sus dimensiones sean despreciables comparadas con la distancia desde la cual es observada la iluminación.

LEY DEL CUADRADO INVERSO: Relaciona la intensidad luminosa con la iluminancia o iluminación. Y establece que la iluminación en un punto de una superficie es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la luz incidente en ese punto, e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia de la fuente luminosa. Cuando el punto está sobre una superficie perpendicular con respecto a la luz incidente, se aplica la fórmula:

$$E = \frac{I}{D^2} = \frac{Cd}{m^2}$$

Ecuación 6. Ley del cuadrado inverso.

Donde I es la intensidad luminosa y D es la distancia del punto de interés sobre la superficie a la fuente de luz. Esta fórmula indica que los lúmenes por metro cuadrado disminuyen al cuadrado inverso de la distancia.

Si la superficie ahora no es perpendicular a la luz incidente, es decir, si la superficie se gira un ángulo de θ grados con respecto a la normal, entonces se debe considerar el coseno de dicho ángulo, y la fórmula queda ahora así:

$$E = \frac{I \cos \Theta}{D^2} = \frac{Cd}{m^2}$$

Ecuación 7. Ley del cuadrado inverso para superficies no perpendiculares al haz de luz.

Las unidades quedan igual.

INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR: (IRC) Es una medida de la calidad de reproducción de los colores. También llamado índice de reproducción cromática ya que da la capacidad de la lámpara para reproducir los colores de los objetos iluminados con su fuente de luz en comparación con una luz de referencia. Su unidad es el "Ra" y va del 0 al 100, en donde el 100 es el equivalente a aquel que proporciona la iluminación de la luz del sol como referencia. Las lámparas entonces también se clasifican de acuerdo a su IRC (CRI por sus siglas en ingles "Color rendering index").

1.6.9 Curvas de distribución de intensidad (patrones de radiación).

Todas las lámparas van a tener un patrón de radiación de luminosidad diferente una de otra. Esto es, van a proyectar la luz producida con distinta intensidad en las diferentes direcciones y esto forma el patrón de dicha lámpara. Luego entonces, cada lámpara va a tener su propio patrón de radiación, el cual debe ser graficado por el fabricante de la lámpara en su hoja de datos técnicos sobre una gráfica circular con graduación en grados angulares. En la siguiente sección se verá que un tipo de clasificación de las luminarias es por su tipo de patrón de radiación.

El patrón de radiación de una lámpara puede ser modificado agregándole un reflector o un difusor. Se puede entonces tener un patrón de radiación concentrado o bien un patrón amplio. Dichos patrones son similares a los emitidos por una antena de radiocomunicaciones, pues como ya se ha visto, la luz también es un conjunto de ondas electromagnéticas al igual que las ondas de radio y televisión. En la figura 11 se puede ver un diagrama de un patrón de radiación con dos dipolos:

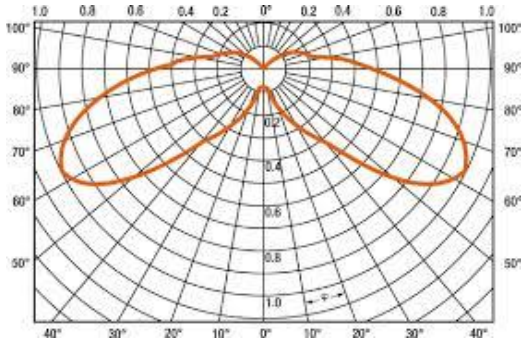


Figura 11. Diagrama de un patrón de radiación

Fuente: http://www.osram.es/osram_es/productos/luminarias/luminarias-para-extteriores/luminarias-para-la-ciudad-y-parques/vialux/vialux-i/index.jsp?productId=ZMP_1022471 (OSRAM, 2013)

1.6.10 Comparativo y clasificación de luminarias de tipo bulbo existentes en el mercado.

Existen una gran variedad de lámparas de tipo bulbo de diversos diseños, potencias y tamaños, sin embargo, en términos generales se puede clasificarlas por el principio que usan para producir la luz y que son de "Incandescencia" y "Luminiscencia". Las primeras dan lugar a las lámparas incandescentes, mientras que las segundas dan lugar a tres tipos de lámparas: fluorescentes, de inducción y de alta intensidad de descarga. Entonces en términos generales se tienen 4 tipos de lámparas que son:

- a) Incandescentes (sencilla y halógena)
- b) Fluorescentes (tubulares y compactas)
- c) De descarga de alta intensidad (DAI)
- d) De Inducción

Dichas lámparas de bulbo o están al vacío o bien tienen algún tipo de gas ya sea a baja o alta presión. En esta clasificación no se incluyen las luminarias de estado sólido como las de LED y OLED que se verán más adelante.

Por otro lado, las luminarias también se pueden clasificar por el tipo de patrón de radiación que emiten por encima y por debajo del plano horizontal. Las cuales se clasifican en: Directa, Semi-directa, General-difusa, Directa-indirecta, Semi-indirecta e Indirecta. Dichos patrones se pueden apreciar en la figura 12.

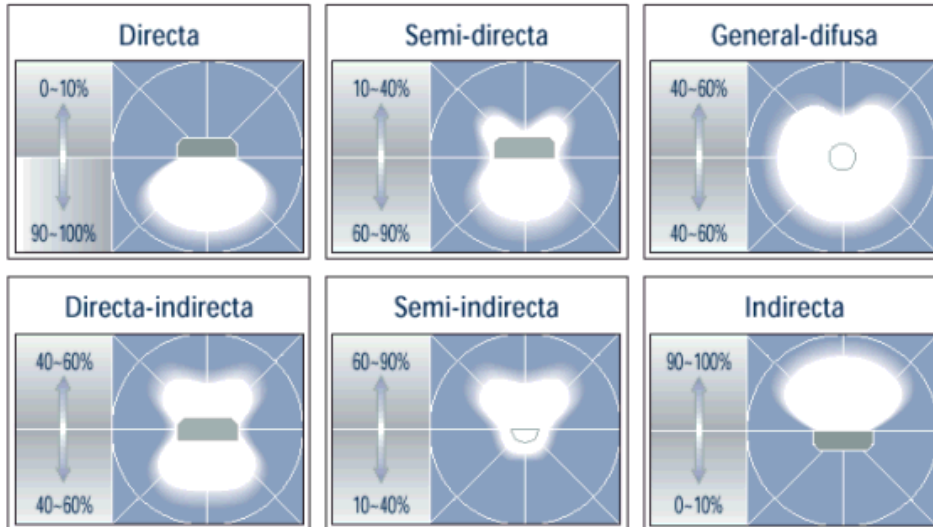


Figura 12 Patrones comunes de radiación de luminarias.

Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>

Las lámparas basadas en luminiscencia tienen un tipo de gas inerte adentro y se basan en la descarga por arco eléctrico sobre este gas para ionizarlo generando un plasma, el cual emite fotones UV, los cuales van a golpear el interior de la bombilla la cual viene impregnada de compuestos químicos llamados fósforos, los cuales, al ser golpeados por los fotones UV, absorben la energía de dicho fotón y a su vez emiten otro fotón pero de una longitud de onda mayor dando lugar a la luz visible.

Por otro lado las lámparas basadas en incandescencia se basan en el principio del calentamiento de un cuerpo negro, el cual llegando a cierta temperatura medida en grados Kelvin emite radiaciones electromagnéticas de tipo UV, IR y visibles. Estas se describen con más detalle a continuación:

1.6.10.1 Lámparas incandescentes

El principio de funcionamiento consiste en el calentamiento de un filamento de tungsteno de espiral simple o doble, el cual es llevado hasta la incandescencia con el paso de una corriente eléctrica a través de él. El filamento se calienta a tal grado de que tiende a fundirse como lo hace un fusible. Para que esto no suceda, se le mete en una ampollita de vidrio la cual se encuentra al vacío o bien llena de algún gas inerte como argón y criptón. Normalmente se suele hacer el vacío en las lámparas de baja potencia y se usa gas inerte en las de mayor potencia.

Este tipo de lámpara tiene una vida promedio de 1000 horas. Menor al de los otros tipos. Son fabricadas en rangos de 25 a 1000 watts de potencia. Tienen la ventaja de que son de fácil instalación y además son más baratas. Y como no requiere de ningún aparato auxiliar para su operación, las hace más económicas y de bajo costo. Además son de encendido inmediato, ocupan poco espacio y no tienen limitación para la posición de funcionamiento. (Harper, 2005)

Sin embargo, tienen el inconveniente de tener una muy baja eficiencia, la cual solo aumenta cuando aumenta la potencia de la lámpara y por lo tanto tiene un costo de operación relativamente alto. Normalmente como solo un 10% de la energía empleada es transformada en luz, el otro 90% se pierde en elevado calor disipado al medio ambiente y en radiación infrarroja. Además su alta brillantez ocasiona un deslumbramiento relativo. Tiene una vida media limitada. La menor en comparación con los demás tipos.

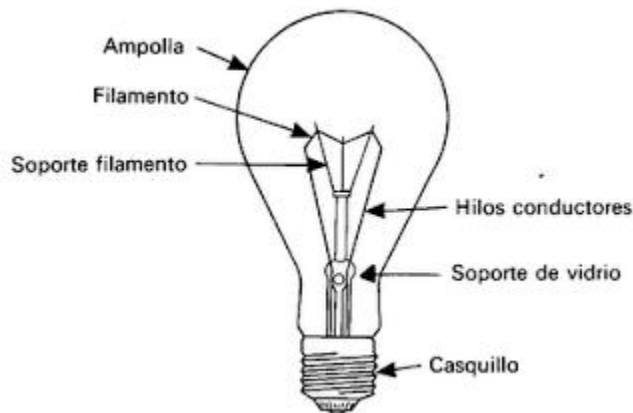


Figura 13 Partes de la lámpara incandescente.

Fuente: <http://aferfer1.blogspot.mx/2013/01/partes-de-la-bombilla.html>

Tabla 3 Características de lámparas incandescentes, flujo luminoso y eficiencia

POTENCIA Nominal (Watts)	FLUJO LUMINOSO (LUMEN)		Eficiencia Luminosa (lumen/watt)	
	127 V	220 V	127 V	220 V
25	220	220	8.8	8.8
40	430	350	10.8	8.8
60	750	630	12.5	10.5
100	1380	1250	13.8	12.5
150	2300	2090	15.4	14.0
200	3200	2920	16.0	14.6
300	4950	4610	16.5	15.3

Fuente: Datos tomados de (Harper, 2005)

Los filamentos de estas lámparas se calientan a altas temperaturas que van desde 2475°C para las de 40W hasta los 2765°C para las de 1500W. A

mayor potencia de la lámpara, mayor temperatura de filamento. Y Se ve de la tabla anterior que la eficiencia aumenta también, entonces la eficiencia está relacionada con la temperatura del filamento. Es decir, se emiten más lumen por watt recibido. Esto sin embargo, acorta la vida de la lámpara.

1.6.10.2 Lámparas fluorescentes.

Este tipo de lámparas, como ya se mencionó antes, se basan en el principio de luminiscencia. Requieren de un dispositivo auxiliar para "arrancar" y luego para mantenerla encendida dándole la corriente necesaria para su operación. Este dispositivo auxiliar suele denominarse "balastro" o bien "reactor". Estas lámparas pueden ser tubulares o compactas y consisten de un tubo de vidrio con una capa de fósforo en su interior, el cual va a ser el elemento luminiscente que al final emita la luz visible. En su interior tiene una combinación de mercurio y gases inertes a baja presión (menor que la atmosférica), regularmente argón o criptón. Y tienen además un par de electrodos a través de los cuales se hace la descarga eléctrica y son manejados por el balastro ya mencionado. El balastro tiene un circuito ya sea electromagnético o bien electrónico para encender la lámpara y mantenerla prendida. Ya que al encendido, la resistencia eléctrica es mayor y requiere de mayor voltaje que cuando ya esta prendida.

Su principio de operación se basa en provocar un arco de corriente entre sus electrodos para ionizar el gas inerte. Al ionizar los gases, el mercurio se convierte en gas y algunos electrones generados colisionan con los átomos del mercurio, los cuales son excitados provocando que los electrones de mercurio se eleven a una banda de energía mayor, lo cual solo dura una fracción de segundo. Y cuando dicho electrón regresa a su órbita original, genera un fotón de luz ultravioleta, ya que el mercurio genera fotones de la longitud de onda del UV. Dicho fotón de luz UV pega en la película de fósforo que se encuentra recubriendo la capa interior del vidrio tubular. Al pegar estos fotones de luz UV en el fósforo, éste repite el ciclo que ya se vio en el mercurio. Es decir, eleva ahora un electrón de fósforo a una órbita de energía mayor, que al regresar a su órbita original, este emite ahora fotones pero en el rango de luz visible. Este nuevo fotón, ahora de luz visible, tiene menos energía que el fotón original de luz ultravioleta debido a que parte de la energía se perdió en calor dentro del tubo. Estos fotones de luz visible, son los que salen del tubo produciendo la iluminación requerida.

En cuanto al principio de funcionamiento antes explicado, es el mismo para las lámparas fluorescentes tubulares y las compactas. Lo único diferente es que las compactas ya traen integrado el balastro y además las compactas irradian un pequeño porcentaje de luz UV, mientras que las tubulares no irradian UV.

Por otro lado, las lámparas fluorescentes tubulares a su vez se pueden clasificar en lámparas de cátodo frío (CCFL del inglés Cold Cathode Fluorescent Lamp) o de cátodo caliente (HCFL del inglés Hot Cathode Fluorescent Lamp). Estos últimos precalientan los electrodos para tener un encendido más rápido.

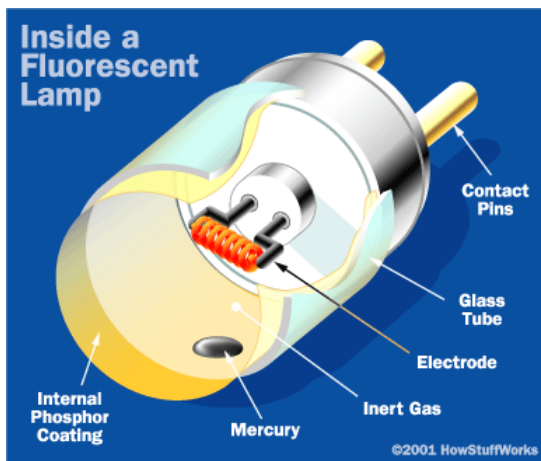


Figura 14 Partes de una lámpara fluorescente compacta.

Fuente: <http://home.howstuffworks.com/fluorescent-lamp2.htm>

En cuanto a su uso, se suelen emplear para iluminar interiores como oficinas y comercios. Tienen un tiempo de vida útil de hasta 12,000 horas y una eficiencia de hasta 75 lúmenes por watt. Tienen también una temperatura de color de 3400 a 4100K.

1.6.10.3 Lámparas de alta intensidad de descarga.

Las fuentes de luz de descarga de alta intensidad se caracterizan por tener larga vida y alta eficiencia. Son compactas y sumamente adaptables en el diseño de luminarias. (John P. Frier, 1993)

Este tipo de lámparas se divide en las lámparas de mercurio de alta presión, las de halógeno metálico y las de sodio de alta presión. Pero todas tienen en común el desarrollo de una descarga eléctrica para ionizar un gas inerte a

alta presión localizado dentro de un tubo de arco sellado que se encuentra en el interior de la bombilla principal. Dicho gas puede ser alguno de los componentes ya mencionados, esto es, mercurio, sodio o halógeno metálico. Al ionizarlo, la lámpara "arranca" lo que a su vez calienta un compuesto metálico hasta ionizarlo, convirtiéndolo en la principal fuente de luz. Cada uno de los tres tipos tiene un metal o una combinación de metales y gases diferentes dentro del tubo, lo que le da la tonalidad cromática.

En cuanto a su aplicación, estas lámparas (HID) son preferentemente usadas en exteriores. Estacionamientos, parte externa de los edificios, parques, vialidades públicas, etcétera. Tienen un tiempo de vida mayor que las incandescentes y tienen como desventaja que emiten entre 5 y 20% de radiación UV. Su cromaticidad (temperatura de color) va a variar dependiendo de si usa mercurio, sodio o halógenos metálicos a alta presión. Cada una va a tener su propia temperatura de color, siendo las de mercurio las mas "frías" y las de sodio las mas "cálidas". En cuanto a la eficiencia, son las de sodio a alta presión las más eficientes de las tres.

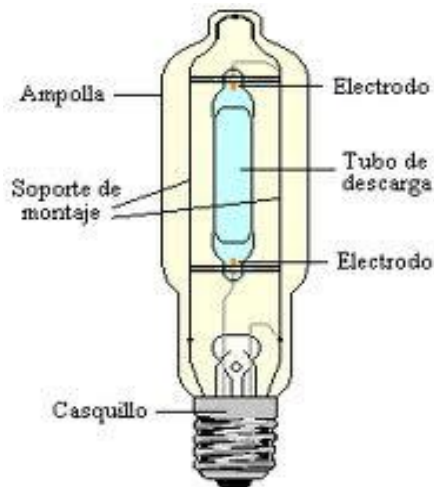


Figura 15 Lámpara de descarga de alta intensidad (HID)

Fuente: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

1.6.10.4 Lámparas de inducción magnética

Estas lámparas se caracterizan porque no tienen electrodos. En su lugar, tienen una bobina enrollada sobre un núcleo ferro magnético que crea un campo magnético de alta frecuencia (2.65MHz), el cual excita un gas en su interior, normalmente vapor de mercurio a baja presión, sobre el cual se induce el campo magnético a manera como lo hace un transformador. Este a su vez genera fotones de luz ultravioleta, los cuales van a excitar una capa

de fósforos que se encuentra en las paredes internas del bulbo de vidrio de la lámpara, los que a su vez van a dar la luz visible en forma similar como lo hacen las lámparas fluorescentes.

Estas lámparas requieren un equipo auxiliar que genere la alta frecuencia (normalmente 2.65MHz) para alimentar la bobina (también llamada antena), la cual va a generar el campo magnético necesario como ya se explicó en el párrafo anterior. Como es alta frecuencia, esta es regulada por las dependencias de cada país para evitar las interferencias electromagnéticas "EMI" (del inglés: Electromagnetic Interference) en otros equipos de uso del gobierno. Por lo mismo, en cada país dicha frecuencia puede cambiar de valor.

El mayor beneficio que tiene este tipo de lámpara, es su larga vida útil que puede llegar hasta 100,000 horas, gracias a que no tiene desgaste por electrodos. Por lo que suele usarse en lugares de difícil acceso, en donde el costo de remplazo es muy alto, como por ejemplo en estadios, túneles o puentes de difícil acceso. Tienen una temperatura de color de entre 2700 y 4000K el cual viene siendo un blanco cálido y una eficiencia entre 48 y 70 lúmenes por watt. Otro beneficio es que tiene una baja radiación de luz UV, del orden de 0.4% y de radiación IR del orden de 0.2%. También tiene un índice de rendimiento de color IRC de 80. La figura 16 ilustra un diagrama de este tipo de lámpara.

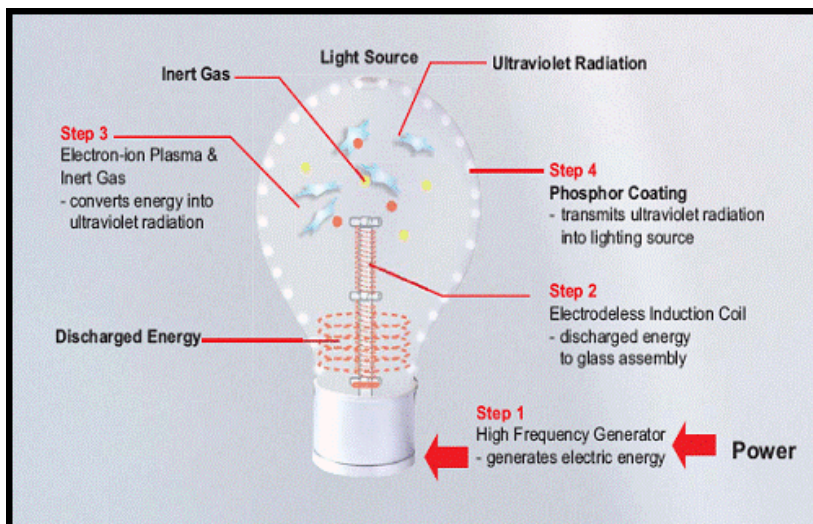


Figura 16 Lámpara de inducción magnética.

Fuente: <http://www.rlldesign.com/induction-lighting-a-231.html>

1.6.11 Comparativo de características de las luminarias

Cada tipo de lámpara mencionado va a tener sus propias ventajas y desventajas. Algunas tienen la bondad de ser baratas pero muy ineficientes, otras muy caras pero de larga vida útil, otras contendrán sustancias peligrosas, etcétera. Estas características se resumen en las tablas 4 y 5.

Tabla 4 Ventajas y desventajas de las luminarias de bulbo.

TIPO DE LUMINARIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Incandescentes	Menor costo \$\$ No necesita balastro Máximo IRC	Menor eficiencia Frágil Menor vida útil (1000hrs)
Fluorescentes	Mayor eficiencia Mayor vida útil	Frágil Ocupa direccionar la luz Desgaste al encender/apagar
Descarga de alta intensidad HID	Mayor eficiencia Mayor vida útil	Frágil Contiene sustancias peligrosas Desgaste al encender/apagar
De Inducción	Vida útil >100khrs Mayor eficiencia Alto FP>0.98	Mayor costo \$\$ Limitadas en potencia Variedad limitada

Tabla 5 Características de las luminarias de tipo bulbo.

Tipo de Luminaria	Eficiencia (lumen/W)	Cromaticidad (K)	Tiempo de vida útil (Hrs.)	Aplicaciones
Incandescente de 100 Watts	15	2700	1,000	Hogar, interiores
Fluorescentes T8 de 32W	75	3400 ~ 4100	12,000	Oficinas, interiores
HID	Sodio Alta Pres. 70W	90	2100	Alumbrado Publico, Parques, Bodegas, Estadios, Exteriores de Edificios
	Mercurio 125W	50	6500	
	Halógenos Metal.100W	80	3200	
De Inducción	48 ~ 70	2700 ~ 4000	~100,000	Lugares de difícil acceso

Estas tablas pueden ayudar a la hora de escoger una lámpara. Sin embargo todo depende de lo que se está buscando, si es costo, eficiencia, vida útil o criterios cromáticos, lo que definirá el tipo de lámpara a utilizar.

En cuanto al tiempo de vida, las de inducción son las de mayor vida útil. Por eso son usadas en lugares de difícil acceso donde el costo de reemplazo es alto. La figura 17 ilustra una gráfica de tiempo de vida versus depreciación del flujo luminoso. (Econolux Industries Limited, 2011)

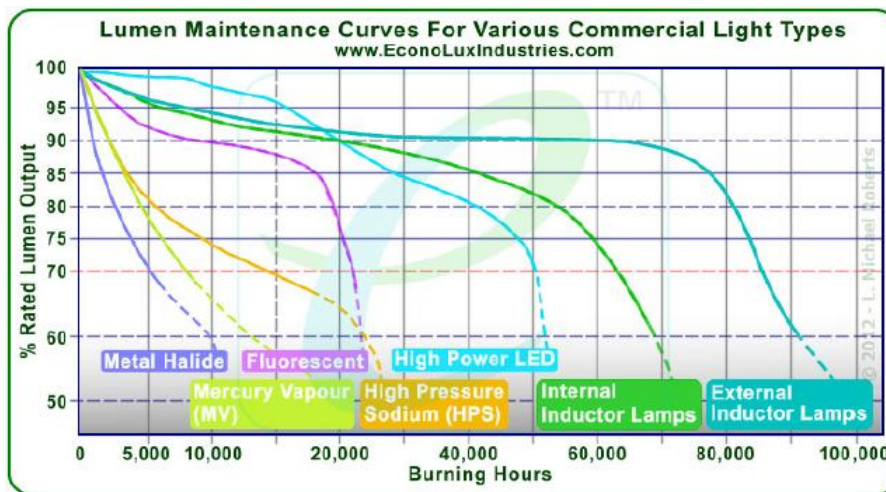


Figura 17 Vida útil de las lámparas vs depreciación del flujo luminoso.
Fuente: www.econoluxindustries.com

Técnicamente y por definición, el tiempo de vida es el número de horas en que la lámpara dura prendida hasta que alcanza una depreciación del flujo luminoso del 50%. Es por eso que en esta gráfica el porcentaje % de depreciación va del 50 al 100%.

1.6.12 Luminarias basadas en tecnología de estado sólido. (LED, OLED)

Existen otro tipo de luminarias de reciente tecnología. Estas se basan en semiconductores de estado sólido bajo el principio de electroluminiscencia. El cual no necesita descargas de arco eléctrico ni tampoco el uso de gases inertes. Sino que en este caso se convierte directamente la energía eléctrica en luz a través de un par de elementos semiconductores, los cuales forman una unión de semiconductor tipo "p" con semiconductor tipo "n", la cual tiene ciertas características de dejar pasar la energía eléctrica fácilmente en una dirección, pero la resisten en la dirección contraria. Y es el principio de

funcionamiento de un diodo semiconductor de Silicio o Germanio, ya que de hecho, los LED y OLED son diodos pero hechos de otro material y que tienen la característica de emitir luz cuando se polarizan de forma apropiada. De allí sus siglas LED del inglés "Light emitting diode". El OLED tiene la singularidad de que sus elementos son orgánicos, de ahí la "O" al principio.

1.6.12.1 Diodos emisores de luz (LED)

Como se mencionó antes, un diodo está formado por la unión de dos tipos de semiconductores, uno llamado semiconductor tipo "p" y otro tipo "n".

Un semiconductor tipo "p", donde dicha letra representa "positivo", está formado por material semiconductor del grupo IV de la tabla periódica (normalmente Silicio), pero que está contaminado con material del grupo III de la tabla. El semiconductor del grupo IV, forma cristales con los 4 electrones que tiene en su banda de valencia formando una red de enlaces covalentes. Al contaminarlo con elementos del grupo III, estos tienen solo 3 electrones en su banda de valencia, por lo que al combinarse y querer formar enlaces covalentes, va a quedar un espacio libre, comúnmente llamado "hueco". Al haber varios huecos, el material se dice que tiene mayor número de cargas positivas que negativas. En este caso las cargas positivas son los "huecos" y las negativas son los electrones. De ahí su nombre de tipo "p", porque los portadores mayoritarios son los huecos (los cuales son positivos) mientras que los minoritarios son los electrones.

Por otro lado, un semiconductor tipo "n" ("negativo"), está formado igualmente por semiconductor del grupo IV, pero ahora su dopaje es con elementos del grupo V de la tabla periódica. Dichos elementos tienen 5 electrones en su banda de valencia, por lo que al formar los enlaces con el semiconductor del grupo IV, viene sobrando un electrón. Por lo que este tipo de semiconductor va a tener electrones de más (portadores mayoritarios) y por lo tanto queda cargado negativamente. De ahí su nombre de semiconductor tipo "n". En este tipo de semiconductor, los huecos vienen siendo los portadores minoritarios.

Un semiconductor tipo "p" o uno tipo "n" por sí solo no es de mucha utilidad. Sin embargo la unión de ambos viene a formar un diodo. En donde el lado "p" se le denomina "ánodo" y al lado negativo "n" se le denomina cátodo. Dicho dispositivo va a permitir el flujo de corriente en la dirección de ánodo a cátodo (baja resistencia), siempre y cuando esté polarizado en forma directa. Es decir, el lado positivo del voltaje conectado al ánodo y el negativo

al cátodo. Mientras que si se polariza en forma inversa (el positivo del voltaje al cátodo y el negativo al ánodo), el dispositivo va a tener una alta resistencia al paso de la corriente y no la va a dejar pasar.

Hasta aquí se ha hablado del principio del diodo rectificador de Silicio o Germanio. Sin embargo, si se cambian los materiales semiconductores y en lugar de Silicio se usa Fosforo de Galio y Arsénico (GaAsP) y además se le hace una pequeña ventana en la unión, se puede formar lo que se conoce como un diodo emisor de luz o LED, (del inglés: Light Emitting Diode). El cual va a emitir luz cuando se polariza en forma directa permitiendo el paso de la electricidad. Cuando se polariza en forma inversa, no va a emitir la luz. Esta emisión de luz se debe al hecho de la recombinación electrón-hueco en la unión p-n, los cuales van a liberar energía en forma de fotones de luz y otra pequeña parte se libera en forma de calor.

En diodos de Si y Ge el mayor porcentaje de la energía convertida durante la recombinación en la unión se disipa en forma de calor dentro de la estructura y la luz emitida es insignificante. Por esta razón, el silicio y el germanio no se utilizan en la construcción de dispositivos LED. Los diodos contruidos de Arseniuro de Galio (GaAs) emiten luz en la zona infrarroja (invisible) durante el proceso de recombinación en la unión p-n. (Robert L. Boylestad, 2009)

El símbolo del diodo rectificador es como se mira en la figura 18 del lado izquierdo. Y del lado derecho de la misma figura se ve el símbolo para el diodo emisor de luz LED. El ánodo es la base del triángulo y el cátodo la punta. (EDUCARCHILE, 2012)



Figura 18 Símbolos de diodo rectificador y diodo emisor de luz LED. (De izquierda a derecha)

Fuente: <http://beta.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=95200>

Los diodos LED se fabricaron por primera vez en la década de los 60 (1960) siendo los primeros de color rojo al usar GaAsP. Más adelante se empezaron a utilizar otras combinaciones de elementos químicos de materiales semiconductores para obtener diodos LED que emitieran en otras longitudes de onda como el verde, amarillo, naranja y azul. Aun hay una combinación

de estos para formar el LED de color blanco. La tabla 6 muestra una lista de los elementos usados para obtener LEDS que emitan luz en otros colores.

Tabla 6 Diodos emisores de luz. Color vs. Compuesto

COLOR	CONSTRUCCION
Ámbar	AlInGaP
Azul	GaN
Verde	GaP
Naranja	GaAsP
Rojo	GaAsP
Blanco	GaN
Amarillo	AlInGaP

Durante muchos años los diodos LED se usaron solo como indicadores en los aparatos electrónicos, pues su flujo luminoso era muy bajo además de que los únicos colores disponibles fueron el verde, el amarillo, el naranja y el rojo. Pero debido al descubrimiento del LED azul por Nichia Chemical de Japón en 1994, y al LED de luz blanca a finales de la década de los 90, han hallado otro tipo de aplicaciones como lo es en pantallas de televisión, monitores de computadora, pantallas para celulares y cámaras digitales. Aun más, con el surgimiento de los LEDS de luz blanca surge otras posibilidades de aplicación para iluminación y han resultado ser más eficientes que las luminarias de bulbo gracias a que los diodos LED de luz blanca son de alta intensidad en cuanto a flujo luminoso a diferencia de los diodos LED convencionales y además tienen una mayor eficacia en lumen por watt. Lo que los hace útiles para usarse en iluminación, semáforos, señalamientos, etcétera. La figura 19 muestra un diodo LED y sus partes. (MAXIM INTEGRATED, 2013)

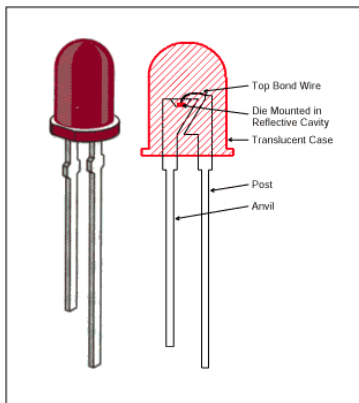


Figura 19 Diodo emisor de luz LED.

Fuente: <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/1883>

Entre las ventajas que da el uso de diodos LED para iluminación se tiene:

- Menor consumo de energía (focos hasta de 3W) (~60% menos)
- Mayor duración (~ 50,000 hrs)
- Mínimo mantenimiento
- Intensidad regulable
- Encendido instantáneo
- Resistente a golpes (no frágil)
- IRC alto (~95)
- Amigable con el medio ambiente (no contiene mercurio)
- No emisiones de ultravioleta (UV)

1.6.12.2 Diodos emisores de luz Orgánicos OLED.

Estos diodos tienen el mismo principio de funcionamiento que los diodos LED, solo que usan compuestos químicos orgánicos que también son semiconductores. De allí el nombre de LED orgánico. Sin embargo, esta característica de ser orgánicos, los hace más delgados y flexibles, de manera que existen ya en el mercado pantallas para desplegar imagen (TV o monitor) que son muy delgadas y ligeras. La pantalla hecha de OLED incluso puede doblarse como una cartulina, ya que aparte de ser delgada, es flexible.

Hasta ahora, los diodos OLED solo han sido utilizados para pantallas de imagen (TV, monitor de computadora, pantallas pequeñas para celular o cámaras digitales) de tamaño pequeño a mediano. Pantallas grandes de más de 42" aun no se han podido realizar. Y para el caso de iluminación, el uso de diodos OLED aún sigue bajo investigación. Pero se espera que en un futuro no muy lejano, se estén viendo en el mercado.

Las partes que conforman un LED orgánico, incluyen ánodo y cátodo igual que un LED convencional, pero además incluye una capa de polímero Emisor y otra capa de polímero conductor que van en medio de las capas de ánodo y cátodo. Todas estas capas forman un "Sandwich" que a su vez vienen protegidas en su exterior por unas cubiertas de vidrio. La figura 20 da una idea de cómo están puestas estas partes. (Gestión de Color, 2012)

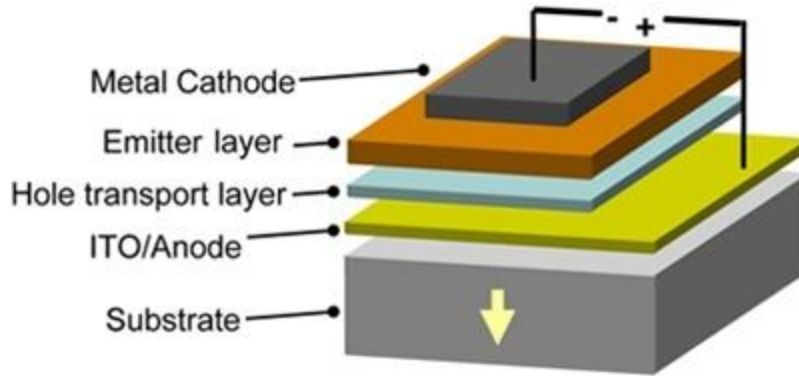


Figura 20 Capas que conforman un OLED.

Fuente: <http://www.gestiondecOLOR.com/blog/i/33781/128/impresion-de-oled>

Entre las ventajas que ofrece un OLED versus un LED están las siguientes:

- Son más delgados (1/3 del LCD) y por lo tanto flexibles
- Irradian su iluminación en varias direcciones, a diferencia del LED
- El tiempo de reacción es de 1/1000 comparado con LED. Lo cual lo hace útil para pantallas de TV con imágenes en movimiento rápido.
- Funciona bien a bajas temperaturas (-40°C) y los LED no.
- Tecnología de producción más sencilla, por tanto son de bajo costo.
- Menor consumo de energía que LED, por tanto son más eficientes.
- Además de las ventajas ya mencionadas para el LED que también aplican para OLED. (Yuan, 2009)

Todas estas ventajas hacen de los OLED una tecnología muy prometedora para el ahorro de energía eléctrica en iluminación. Sin embargo, aún se sigue haciendo investigación y desarrollo en esta área por lo que se espera que en un futuro no muy lejano se esté viendo la aplicación de dicha tecnología en el mercado.

1.6.13 Estándares de iluminación

Como lo es en muchos otros aspectos, la iluminación también es regulada tanto por las dependencias de gobierno de los distintos países como por las diferentes instituciones de normalización y estandarización como la IES "Illuminating Engineering Society") y la ANSI "American National Standards Institute". Los cuales tienen sus tablas de niveles mínimos de iluminación recomendados tanto para interiores como para exteriores. Y además para cada diferente tipo de tareas y espacios, si es en oficinas, talleres, áreas de diseño, manufactura, pasillos, comedor, cada cual tiene su propio nivel mínimo recomendado, regularmente medido en luxes y sobre el plano de trabajo. Y si es medido en lugares de exteriores horizontales como son los

estacionamientos, se debe tomar en cuenta además del nivel mínimo de iluminación, la uniformidad. Es decir, que el nivel de iluminación sea lo más homogéneo posible en todo el espacio.

En México, la regulación para iluminación viene dada por parte de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social a través de su norma mexicana NOM-025-STPS que establece los niveles mínimos de iluminación para las distintas áreas de trabajo. En la tabla 7 se muestra una parte de dichos valores. Se puede notar que va en orden ascendente de nivel de iluminación. (STPS, 2008)

Tabla 7 Niveles de iluminación de la norma NOM-025-STPS

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

De acuerdo con esta tabla, para el caso de la UTT, aplica un nivel de iluminación de 200 luxes para pasillos y áreas de uso común. De 300 luxes

para oficinas, laboratorios de equipo pesado y aulas. Y de 500 luxes para laboratorios y salas de cómputo.

Por otro lado, en los países europeos se tiene las normas UNE-EN-15193 y la UNE-EN-12464-1:2003 para iluminación. Mientras que en los Estados Unidos de América están la "*Occupational Safety and Health Administration*" (OSHA) del "*Department of Labor*" que equivale a la Secretaría del Trabajo, la "*Mining Enforcement and Safety Administration*" (MESA) del "*Department of the interior*" (Secretaría de Gobernación) y el "*Department of energy*" (DOE) que viene siendo la Secretaría de Energía. (John P. Frier, 1993)

Existen además otras instituciones de regulación para otros dispositivos de consumo eléctrico como son los equipos de calefacción, refrigeración y de aire acondicionado. Para estos se tienen la "*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc.*" (ASHRAE), cuyos lineamientos aparecen en el documento denominado "*Energy conservation in new building design*" como la normas 90-75 de la ASHRAE. (John P. Frier, 1993)

Todas estas normas son útiles para la regulación de la conservación y uso eficiente de la energía incluidas entre ellas las de Iluminación.

II. MATERIALES Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL

En esta sección se establece la metodología utilizada para integrar un diagnóstico energético para saber qué acciones son necesarias para mitigar el problema del alto costo en el consumo de energía eléctrica en la UTT. Todo esto enfocado al sistema de iluminación y verificando que cumpla con la normatividad conforme a lo establecido en la norma mexicana NOM-025-STPS-1999.

Primero se realizó un análisis del consumo energético mediante la revisión de los recibos de energía eléctrica de la CFE de los últimos tres años, los cuales se graficaron para analizar el perfil anual de dicho consumo tanto en costo como en kilowatts.

Posteriormente se procedió a hacer un diagnóstico global por cada transformador utilizando un equipo analizador de redes eléctricas como herramienta útil para hacer un monitoreo en cierto período de tiempo, ya que la UTT cuenta con una instalación eléctrica de varios transformadores, todos ellos conectados en una configuración en anillo. La duración del monitoreo por cada transformador tuvo una extensión de entre 5 a 7 días, esto con el fin de incluir al menos los cinco días laborables de lunes a viernes. Posteriormente se usaron los resultados de este monitoreo para analizar cada transformador y ver si se está aprovechando bien la energía. Y luego en base a los resultados obtenidos y enfocándose en el transformador con mayor problema, se delimitó el problema a una área local de trabajo definida para seccionar el problema y luego poder repetir uno o más diagnósticos locales en dicha área con duración de una semana y también de 24 horas. Este último con el fin de tener más detalle en las mediciones.

Finalmente, con los datos obtenidos, se hizo una propuesta de mejora para la iluminación con la finalidad de reducir el consumo energético en esa área teniendo un impacto benéfico en el recibo de energía eléctrica de CFE. Para lo cual se sacó el inventario de las luminarias tanto de interiores como de exteriores de toda la universidad. Ya con esos datos, en una hoja de cálculo se realizó el gasto por consumo de iluminación, y el ahorro estimado anual así como el tiempo de recuperación de la inversión con las luminarias propuestas.

2.1 Instalación y tarifa eléctrica en la UTT.

La UTT tiene una tarifa H-M (horaria media tensión) ya que tiene más de 100kW de demanda. Esto conlleva a que la energía eléctrica va a tener un precio diferente dependiendo de la hora del día y la época del año (verano-invierno). Además de que por ser tarifa en media tensión, la Universidad tiene que tener su propia sub-estación eléctrica, en donde se encuentra el transformador principal contando con un total de seis transformadores conectados todos en una configuración en anillo. Del transformador principal se va a una tablilla derivador de donde se distribuye a los demás transformadores como se muestra en el diagrama unifilar de la figura 21.

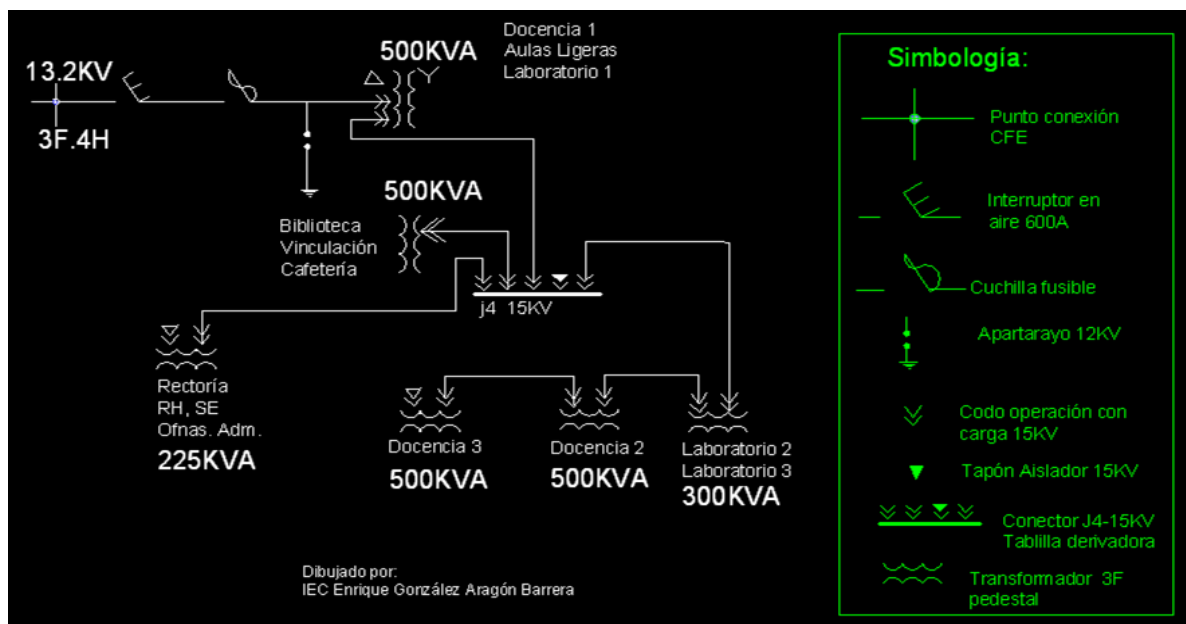


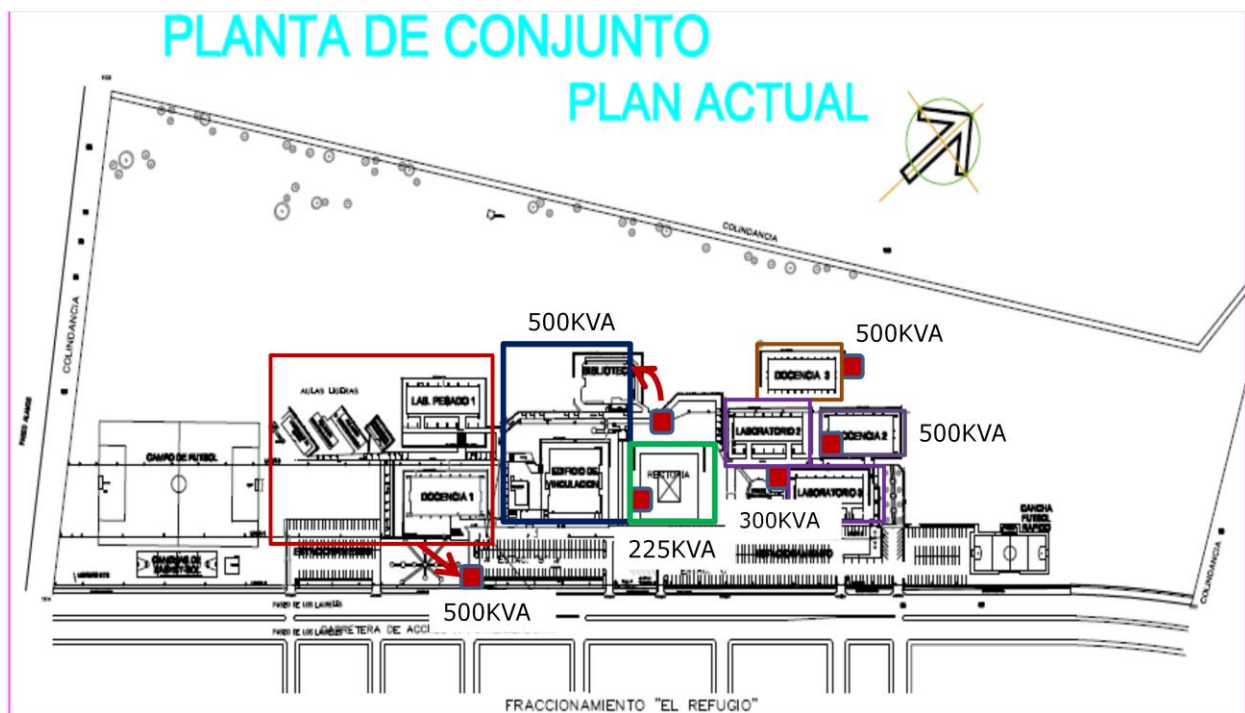
Figura 21 Diagrama unifilar de la instalación eléctrica en la U.T.T.

Fuente: Propia

Los seis transformadores están distribuidos en toda la universidad, en promedio uno por cada edificio ya que algunos transformadores alimentan hasta 3 edificios, mientras que otros solamente uno. Todos son de distintas capacidades, cuatro de ellos son de 500kVA, uno de 225kVA y uno más de 300kVA. La capacidad total de los 6 transformadores es de 2,525kVA. Del transformador principal de 500kVA se alimenta la sección de Docencia 1, aulas ligeras y laboratorio pesado 1 (Mantenimiento) de la universidad. De ese transformador se conecta a una tablilla derivador J4 de 15kV de la cual se distribuye a los demás transformadores. El segundo también de 500kVA alimenta los edificios de biblioteca, vinculación y cafetería. El tercero de

225kVA alimenta solamente el edificio de Rectoría donde se localizan las oficinas administrativas como son Recursos humanos, servicios escolares, compras, secretaria académica, prensa y difusión además de rectoría. El cuarto de 300kVA alimenta los laboratorios pesados 2 y 3 (Procesos y Mecatrónica). El quinto de 500kVA alimenta el edificio de Docencia 2 y finalmente el sexto de 500kVA alimenta el edificio de Docencia 3.

La distribución de los mencionados transformadores es como se muestra en el plano (LAYOUT) de la universidad en la figura 22.



■ Transformador

Figura 22 Planta de conjunto y ubicación de los 6 transformadores

Fuente: Esquemático proporcionado por el área de Mantenimiento de la U.T.T.

2.2 Análisis del consumo de energía eléctrica y costos basado en los recibos de CFE.

Como ya se mencionó anteriormente, la UTT viene pagando mensualmente entre \$50,000 pesos en invierno y hasta los \$300,000 en verano, sumando un total aproximado de \$1.7 millones de pesos al año. Es por esta razón que es importante considerar un análisis de los recibos de energía eléctrica de CFE como el primer paso dentro de la metodología a realizar. Dicho análisis debe cubrir, no solo los costos de la energía, sino también cuanta energía es consumida, la demanda máxima (demanda facturable) y el factor de potencia. Ya que son los rubros que la compañía de luz (CFE) considera para el cobro en su facturación.

La facturación es mensual, por lo tanto el análisis de los datos debe de hacerse viendo la tendencia mensual y sobre todo, analizando los periodos de invierno y verano, ya que la tarifa de verano es más cara debido a la tarifa (H-M) que es de tipo horaria en media tensión para más de 100kW de demanda. Pues se tiene la franja horaria llamada "horario de punta" que es más cara y no aplica en invierno. Dichos horarios para la región de Baja California son como se marca en la figura 23. (Comisión Federal de Electricidad, 2013)

Región Baja California

Del 1º de mayo al sábado anterior al último domingo de octubre

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes		0:00 - 14:00 18:00 - 24:00	14:00 - 18:00
sábado		0:00 - 24:00	
domingo y festivo		0:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre al 30 de abril

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 17:00 22:00 - 24:00	17:00 - 22:00	
sábado	0:00 - 18:00 21:00 - 24:00	18:00 - 21:00	
domingo y festivo	0:00 - 24:00		

Figura 23 Horarios tarifa H-M para la región de Baja California

Fuente: Página de CFE www.cfe.gob.mx

Viendo la complejidad de la facturación por parte de CFE para la energía eléctrica es que se decide hacer un análisis de dicha facturación.

2.3 Diagnóstico energético

El siguiente paso en la metodología es hacer un diagnóstico energético por cada uno de los 6 transformadores que hay en la Universidad con el fin de saber a detalle el perfil de consumo de las distintas áreas alimentadas por cada transformador y saber si existen ineficiencias en el uso de la energía eléctrica. Luego se analizarán los datos y basándose en el transformador que presente mayor problema, se delimitará el problema a dicha área haciendo diagnósticos energéticos locales. El número de diagnósticos puede variar dependiendo de los datos obtenidos.

El plan es monitorear los niveles de voltaje, corriente, potencia activa, reactiva y real. Así como el factor de potencia, el consumo de energía y el nivel de contenido armónico que hay en la red. Para ello se usará un equipo analizador de redes Fluke 435.

Los datos serán analizados para determinar el problema y hacer propuestas de mejora en base a ello.

2.4 Inventario de luminarias en la UTT y propuesta de ahorro

El siguiente paso es hacer un inventario de luminarias en toda la universidad, ya que el propósito de esta tesis es enfocada a iluminación. Solamente se hace la división por separado de luminarias de interiores y de exteriores. Posteriormente con los datos obtenidos se dará una propuesta de iluminación tanto para interiores como para exteriores que sea más eficiente y ayude a tener un ahorro económico en el gasto por energía eléctrica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron varios los resultados obtenidos, unos en cuanto al análisis del patrón de consumo energético de la Universidad tomando como base los recibos de facturación de la misma; otros con el diagnóstico energético con el analizador de redes, tanto a nivel global como local, y finalmente con la propuesta de reemplazo de luminarias de interiores y exteriores para el ahorro tanto de energía eléctrica como económico.

3.1 Resultados del análisis del patrón de consumo de la UTT

En cuanto al patrón de consumo de energía eléctrica en la UTT, se analizaron los recibos de CFE de tres años y medio (Enero 2010 a Junio del 2013). Luego se graficaron dichos datos para ver la tendencia del gasto mensual así como su perfil de demanda y ver en qué meses se tiene el mayor consumo. Dicha grafica se muestra en la figura 24.

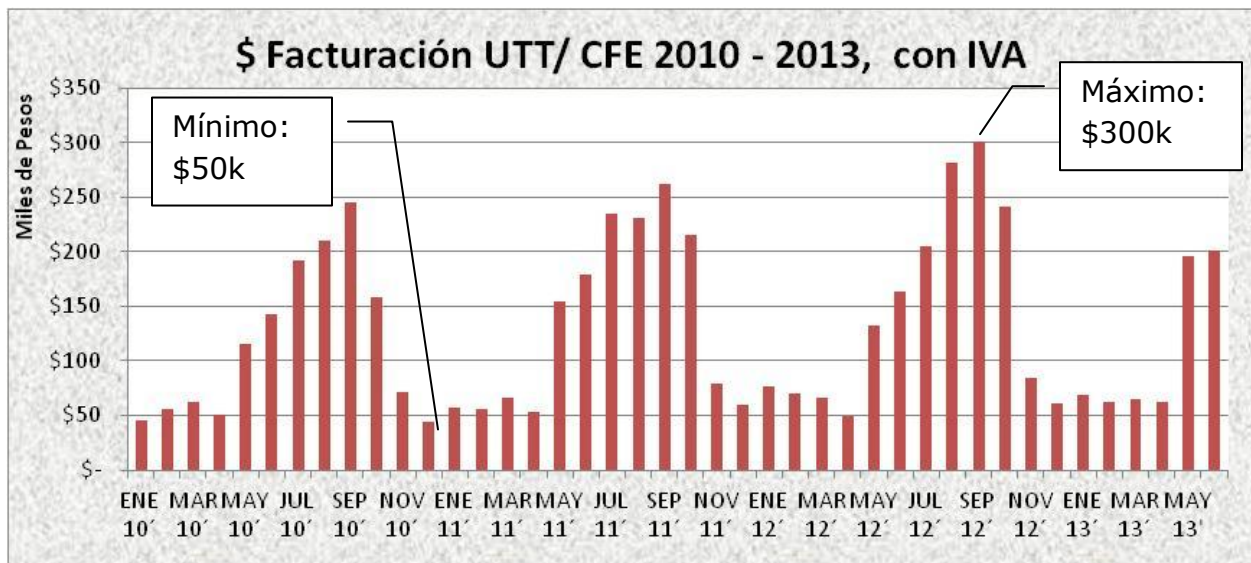


Figura 24 Facturación mensual energía eléctrica en la UTT.
Fuente: propia

Se pudo ver que en verano sube substancialmente la facturación, mientras que en invierno baja. Dicho incremento inicia en Mayo, cuando cambia la tarifa de invierno a verano y termina en septiembre, ya que la temporada de invierno inicia en octubre. La factura más cara fue de \$300 mil pesos en septiembre del 2012, mientras que la más baja fue de \$50 mil pesos en Diciembre del 2010. Se ve que esto es causado por dos razones, la primera

es la tarifa misma, ya que al ser horaria, se tiene el horario de punta que es el más caro y solo aplica en el período de verano. Y la otra razón, es el alto uso de los equipos de aire acondicionado ya que se tienen más de 150 equipos en todo el campus de la universidad y la temperatura ambiente llega a subir hasta los 40°C. Por otro lado, es importante notar que cada año el mes de mayor consumo es siempre el de septiembre. Esto está relacionado con los siguientes factores:

- 1.- En este mes se tiene mayor matrícula por inicio de cuatrimestre con alumnos de nuevo ingreso. Lo cual significa mayor número de aulas ocupadas, las cuales tienen iluminación y aire acondicionado en uso.
- 2.- En Septiembre aún está la temperatura ambiente alta, llegando a los 40°C. Lo que implica uso de Aires Acondicionados.
- 3.- Todavía está operando la tarifa de verano, que tiene el horario de "punta", el cual es más caro. El cambio de temporada de verano a invierno ocurre hasta Octubre.

Para tener una idea del cambio del costo de tarifa entre los horarios de verano e invierno, se graficó también el precio medio por kilowatt hora, el cual se obtiene dividiendo el cargo de los tres rubros mencionados entre los kWh totales consumidos en el mes y además viene indicado en los recibos de CFE. Dicha gráfica se muestra en la figura 25.

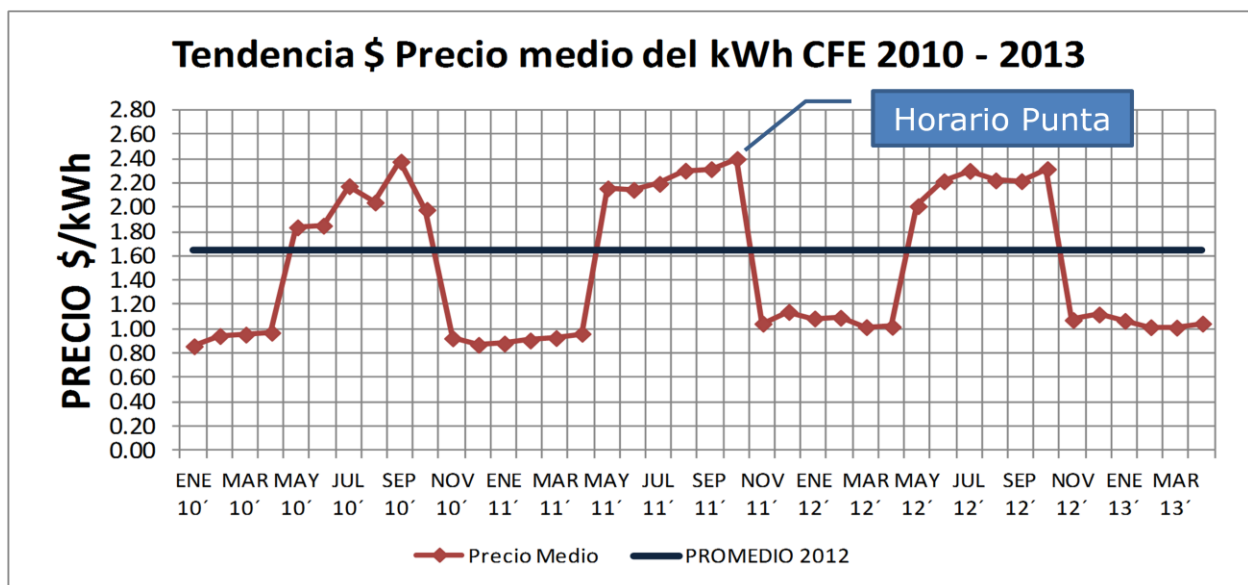


Figura 25 Precio medio del kWh en la UTT período 2010 a 2013

Fuente: propia

Se vio que el precio medio del kWh anda alrededor de un peso en invierno y sube en verano a \$2.30 pesos. La línea azul muestra el promedio de todo el año del 2012 que es el año más reciente del que se tienen datos completos de enero a diciembre. Dicho promedio fue de \$1.64 pesos por kWh, dato que se va a utilizar más adelante en la memoria de cálculo para estimar los ahorros y tiempo de retorno de la inversión con la propuesta para iluminación.

Puesto que el perfil de consumo está influenciado por el precio de la tarifa y la temporada (verano e invierno), se procedió a analizar el perfil de consumo en base a la demanda máxima en kW y el consumo en kWh. Los cuales mostraron tener el mismo perfil que el analizado en los costos, con aumentos en verano y bajas en invierno. El mayor consumo ocurrió en Septiembre del 2012 con 122.57MWh y la mayor demanda máxima ocurrió en Septiembre del 2010 con 491kW, mientras que la demanda máxima más baja fue de 21kW. Todo esto se puede apreciar en la figura 26.

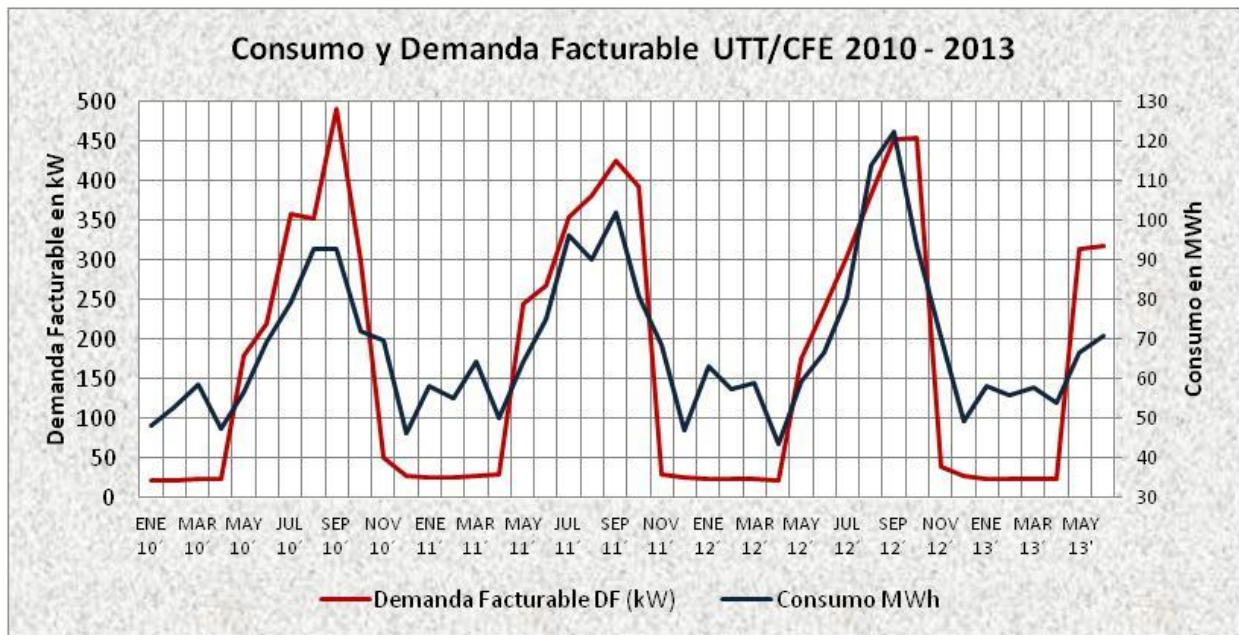


Figura 26 Tendencia del consumo eléctrico y demanda facturable en la UTT.
Fuente: propia

En cuanto al factor de potencia, los recibos muestran cargos por bajo FP principalmente en los meses de diciembre, enero, abril y mayo, es decir, los meses en donde coinciden las vacaciones decembrinas o de semana santa.

Esto es debido a que el uso de cargas es mínimo y solo quedan los mismos transformadores, los cuales también son grandes cargas reactivas inductivas por sus grandes embobinados, que aumentan el desfase entre voltaje y corriente y por lo tanto bajan el factor de potencia. Mientras que en los meses de mayor uso de cargas, en donde no existen vacaciones, los recibos muestran una bonificación por buen FP.

Lo anterior deja ver que se tiene un sobredimensionamiento de los transformadores, que cuando no se usan, la principal carga es el transformador mismo. Esto se va a validar más adelante con los resultados del diagnóstico energético realizado por cada transformador, que se hizo con la ayuda de un analizador de redes. Ya que también muestra un bajo FP durante las noches y fines de semana como se verá más adelante.

Se ha graficado el comportamiento mensual del FP facturado por CFE como se muestra en la figura 27.

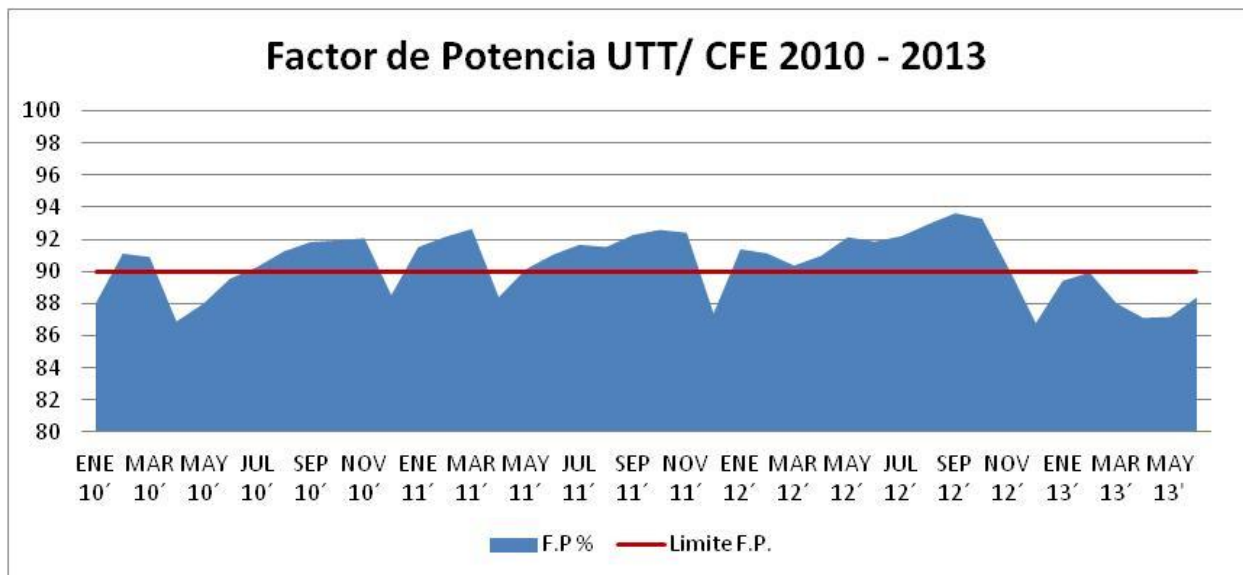


Figura 27 Tendencia del FP en la UTT.

Fuente: propia

Un resumen global sobre el análisis de las facturas de energía eléctrica de CFE en la UTT se muestra en la tabla 8.

Tabla 8 Resumen del análisis de facturas de CFE en la UTT.

Mes	Demanda Facturable (Kw)	Consumo (Kwh)	F.P %	Precio Medio	Costo \$ antes de IVA	Costo \$ con IVA
ENE 10'	21	48,300	88.08	0.8590	\$ 41,489.70	\$ 46,053.57
FEB 10'	22	52,920	91.16	0.9431	\$ 49,908.85	\$ 55,398.83
MAR 10'	23	58,520	90.95	0.9547	\$ 55,869.04	\$ 62,014.64
ABR 10'	23	47,250	86.92	0.9704	\$ 45,851.40	\$ 50,895.05
MAY 10'	179	56,490	88.03	1.8364	\$ 103,738.24	\$ 115,149.44
JUN 10'	220	69,370	89.6	1.8501	\$ 128,341.44	\$ 142,459.00
JUL 10'	358	79,380	90.32	2.1749	\$ 172,643.56	\$ 191,634.35
AGO 10'	352	93,030	91.3	2.0410	\$ 189,874.23	\$ 210,760.40
SEP 10'	491	93,030	91.88	2.3762	\$ 221,057.89	\$ 245,374.25
OCT 10'	298	71,890	91.98	1.9804	\$ 142,370.96	\$ 158,031.76
NOV 10'	51	69,930	92.12	0.9242	\$ 64,629.31	\$ 71,738.53
DIC 10'	28	46,200	88.57	0.8709	\$ 40,235.58	\$ 44,661.49
ENE 11'	25	58,170	91.56	0.8813	\$ 51,265.22	\$ 56,904.40
FEB 11'	25	55,020	92.2	0.9065	\$ 49,875.63	\$ 55,361.95
MAR 11'	28	64,190	92.7	0.9266	\$ 59,478.45	\$ 66,021.08
ABR 11'	30	50,260	88.44	0.9619	\$ 48,345.09	\$ 53,663.05
MAY 11'	244	64,540	90.17	2.1567	\$ 139,193.42	\$ 154,504.69
JUN 11'	269	75,320	91.07	2.1449	\$ 161,553.87	\$ 179,324.79
JUL 11'	354	96,460	91.71	2.1943	\$ 211,662.18	\$ 234,945.02
AGO 11'	381	90,300	91.57	2.3022	\$ 207,888.66	\$ 230,756.41
SEP 11'	425	101,920	92.32	2.3149	\$ 235,934.61	\$ 261,887.41
OCT 11'	394	80,780	92.64	2.3981	\$ 193,718.52	\$ 215,027.55
NOV 11'	30	68,460	92.46	1.0447	\$ 71,520.16	\$ 79,387.38
DIC 11'	26	46,900	87.43	1.1414	\$ 53,531.66	\$ 59,420.14
ENE 12'	24	63,350	91.43	1.0873	\$ 68,880.46	\$ 76,457.31
FEB 12'	23	57,470	91.17	1.0933	\$ 62,831.95	\$ 69,743.47
MAR 12'	23	59,080	90.41	1.0163	\$ 60,043.00	\$ 66,647.73
ABR 12'	22	43,540	91.02	1.0186	\$ 44,349.84	\$ 49,228.33
MAY 12'	176	59,511	92.18	2.0106	\$ 119,652.82	\$ 132,814.63
JUN 12'	240	66,643	91.91	2.2153	\$ 147,634.24	\$ 163,874.00
JUL 12'	304	80,390	92.25	2.3005	\$ 184,937.20	\$ 205,280.29
AGO 12'	384	113,990	93	2.2221	\$ 253,297.18	\$ 281,159.87
SEP 12'	452	122,570	93.68	2.2159	\$ 271,602.86	\$ 301,479.18
OCT 12'	454	93,800	93.34	2.3154	\$ 217,184.52	\$ 241,074.82
NOV 12'	39	70,630	90.2	1.0744	\$ 75,884.87	\$ 84,232.21
DIC 12'	28	49,350	86.82	1.1200	\$ 55,272.00	\$ 61,351.92
ENE 13'	24	58,030	89.46	1.0676	\$ 61,952.83	\$ 68,767.64
FEB 13'	23	55,720	89.98	1.0158	\$ 56,600.38	\$ 62,826.42
MAR 13'	24	57,890	88.06	1.0123	\$ 58,602.05	\$ 65,048.27
ABR 13'	23	53,830	87.14	1.0453	\$ 56,268.50	\$ 62,458.03

	Demanda Facturable (kW)	Consumo (kWh)	F.P %	Precio Medio	Costo \$ antes de IVA	Costo \$ con IVA
MAXIMO	491	122,570	93.68	2.3981	\$ 271,602.86	\$ 301,479.18
MINIMO	21	43,540	86.82	0.859	\$ 40,235.58	\$ 44,661.49
Promedio	164	68,611	90.68	1.5246375	\$ 113,374.31	\$ 125,845.48

3.2 Diagnóstico energético global de la UTT

Se desarrolló un diagnóstico energético general en la UTT en el primer cuarto del 2011. Uno de los componentes del diagnóstico es el monitoreo mediante un analizador de redes. En este caso se utilizó un analizador marca PMI-400 con capacidad de medición de hasta 1000 amperes y 600 volts. Se realizó un monitoreo de una semana de duración con mediciones en intervalos de 15 minutos. El monitoreo se realizó en cada uno de los seis transformadores que hay en la universidad donde se monitorearon varias variables.

El diagnóstico energético permite ver el perfil de consumo eléctrico y se encontró que los transformadores están trabajando casi en vacío, desde un 5% hasta un 12% de la capacidad del transformador. A nivel global, solo se usa el 7.5% de la capacidad total de todos los transformadores. Trabajar los transformadores en vacío resulta en ineficiencia de funcionamiento de los mismos afectando el factor de potencia, el cual se vio bajo en el mismo monitoreo y casualmente durante las noches y fines de semana. Esto concuerda con el análisis de los recibos de CFE, ya que estos mostraron bajo FP en los meses en que hay vacaciones.

Por otro lado, el transformador principal que alimenta Docencia 1, Aulas ligeras y laboratorio pesado 1 mostró estar en desbalance de fases, siendo la fase dos la que menos consume energía. Esto ocasiona que el neutro se cargue de corriente con su respectiva distorsión armónica.

En cuanto a la distorsión armónica, solamente la forma de onda de voltaje se mostró dentro de los límites que marca la norma IEEE-519-1992, mientras que la forma de onda de corriente se muestra fuera de la especificación del mismo estándar en todas sus fases.

3.2.1 Análisis de perfil de demanda

3.2.1.1 Transformador principal

El primer transformador en ser medido, fue el transformador principal con capacidad de 500kVA tipo pedestal a donde llega primeramente la acometida de CFE (subestación eléctrica), el cual distribuye la energía a Docencia I, Laboratorio pesado #1 de mantenimiento y aulas ligeras. El monitoreo se hizo durante casi una semana. Dicho transformador mostró el perfil de demanda mostrado en la figura 28.

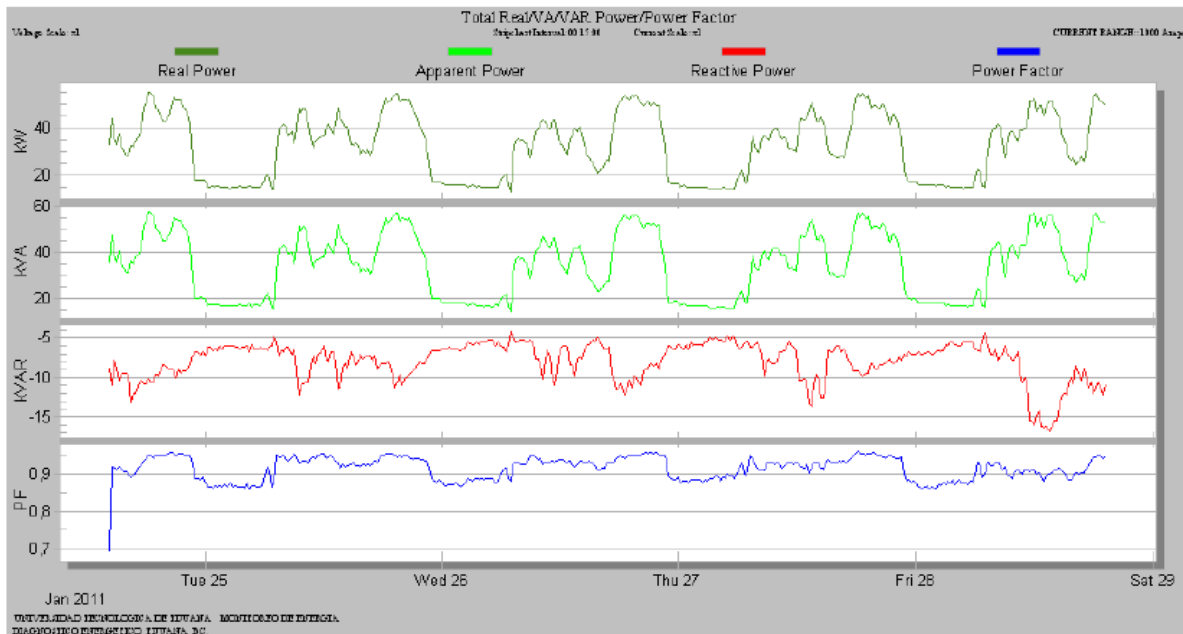


Figura 28 Perfil de demanda transformador principal de 500kVA

Fuente: Propia

Como se puede apreciar, la potencia real durante el día tiene entre 40 y 50 kW y baja a menos de 20 durante la noche. Mientras que la potencia reactiva anda entre -5kVAR durante la noche y -10kVAR en el día. Esto da como resultado una potencia aparente de entre 40 y 50 kVA, la cual sigue el mismo perfil que la potencia real. Se puede ver que la demanda máxima anda alrededor de 55kVA y el transformador es de 500kVA, por lo que está operando a un 11% de su capacidad, por lo que tiene una capacidad excedente del 89%. Se recomienda que opere al menos al 60% de su capacidad para un mejor desempeño.

Por otro lado, el factor de potencia se ve alrededor del límite mínimo permisible por CFE (0.9). Curiosamente durante la noche es cuando el FP anda por debajo del límite, mientras que durante el día sube. Es importante

hacer notar que de noche las únicas cargas que están trabajando son las de iluminación. Por lo que es de sospecharse del transformador ya que está funcionando casi en vacío.

3.2.1.2 Transformador de Rectoría

Se monitoreó el segundo transformador serie 2939 de 225kVA tipo pedestal localizado en el edificio de Rectoría durante una semana. Las variables monitoreadas fueron las mismas. Rectoría está conformada por oficinas administrativas con un horario de 9:00 a 18:00 horas. Dicho transformador tuvo el perfil mostrado en la figura 29.

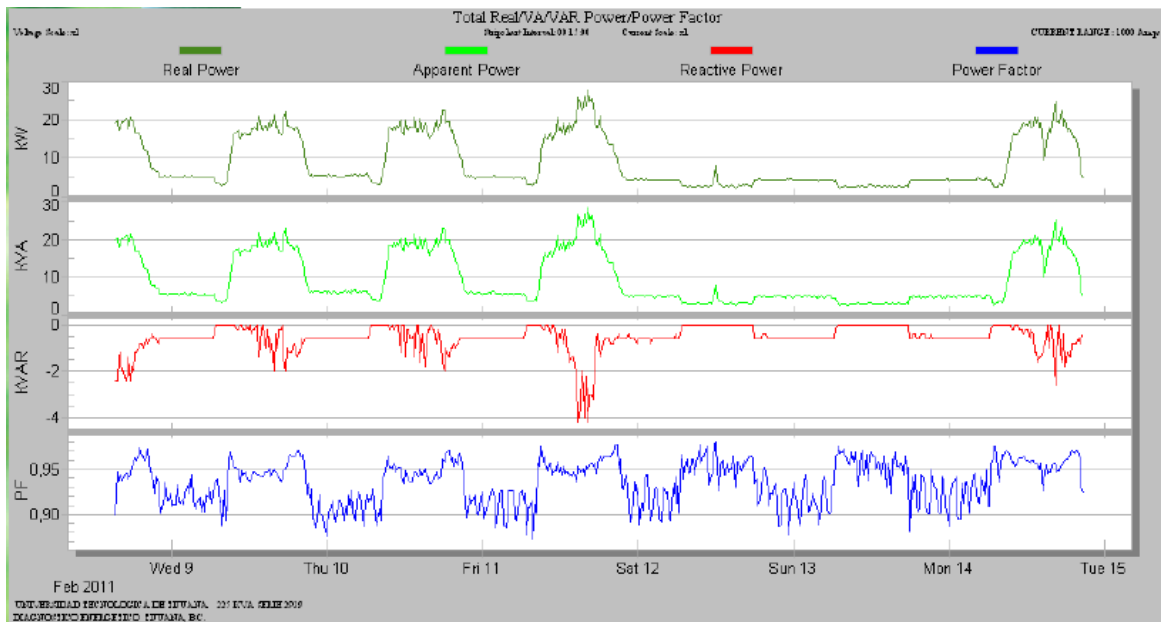


Figura 29 Perfil de demanda, transformador de Rectoría de 225kVA

Fuente: Propia

Se puede apreciar los altibajos en los días laborables de lunes a viernes y luego un perfil plano sin mayor variación en sábado y domingo (fin de semana). En cuanto a la potencia real, se ve un promedio de 20kW de demanda durante el día en horas laborables y baja a 5kW durante la noche y fines de semana.

Por otro lado la potencia reactiva es baja, entre 0 y -2kVAR excepto el viernes que tuvo hasta -4kVAR, pero sigue siendo un nivel bajo. Por tanto, la

potencia aparente, que es la suma vectorial de las otras dos, sigue el mismo perfil de la potencia real, con 20kVA durante horas laborables y 5kVA en las noches y fin de semana. La demanda máxima ocurrió en viernes por la tarde a eso de las 5:00pm con aproximadamente 27kVA. Por lo que se puede ver que el tamaño del transformador (225 KVA) rebasa la demanda en un 88%, esto es, trabaja a un 12% de su capacidad, casi en vacío.

El factor de potencia se ve bien, con un promedio de 0.95 en horas laborables. Los periodos donde baja el FP ocurren durante las noches, con un promedio de 0.9, el cual está dentro del límite. En este transformador el FP tuvo un mejor desempeño, pero ha de notarse que el tamaño del transformador es menor también. Es apenas la mitad de la capacidad (225kVA) del transformador principal (500kVA). Y además trabaja a un 12% de su capacidad. Lo recomendable es que trabaje por lo menos a un 60% de su capacidad para un mejor desempeño.

3.2.1.3 Transformador de laboratorios pesados 2 y 3

El tercer transformador en ser monitoreado fue el que alimenta los laboratorios pesados de Procesos y Mecatrónica con una capacidad de 300kVA tipo pedestal, con número de serie T04-200-62. Es de apreciarse que este es uno de los dos transformadores más pequeños y alimenta los dos edificios de laboratorios pesados 2 y 3. El monitoreo fue realizado nuevamente durante una semana, quedando el perfil de demanda como se muestra en la figura 30 siguiente:

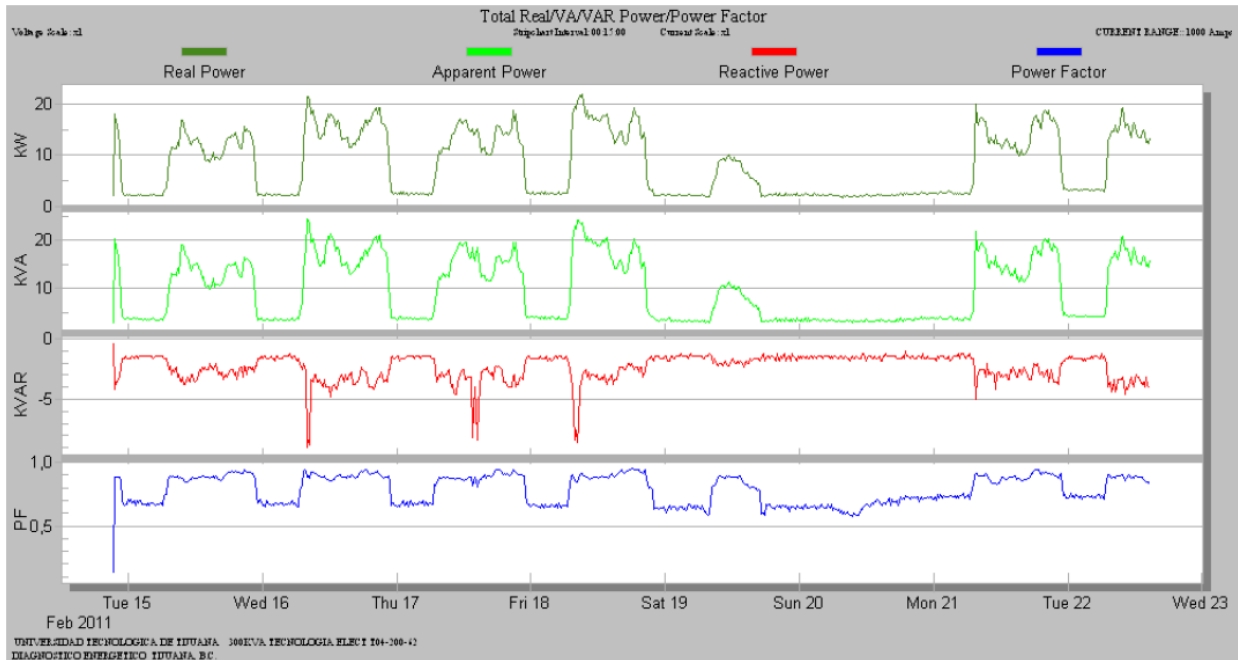


Figura 30 Perfil de demanda, transformador de 300kVA laboratorios pesados 2 y 3
Fuente: Propia

El perfil mostrado es similar al de los otros transformadores, donde se puede ver la diferencia de los días laborables versus el fin de semana. Se puede ver nuevamente que la demanda máxima anda alrededor de 24kVA y el tamaño del transformador es de 300kVA. Por lo que igualmente está trabajando a un 8%, casi en vacío, es decir, tiene un excedente de capacidad del 92%. La potencia reactiva anda en un promedio de -3kVAR, por lo que la potencia aparente sigue el mismo perfil que la potencia real. De ahí que la potencia máxima real tiene alrededor de 22kW, número parecido a la demanda máxima en kVA. Durante el perfil en horas laborables se puede apreciar unos picos que son los cambios de turno matutino a vespertino e inicio de turno por la mañana cuando encienden las luminarias.

El FP anda alrededor del límite (0.9) los días laborables y durante el día, es decir, en veces por abajo y a veces por arriba del límite. Pero en la noche y fines de semana anda muy bajo, entre 0.7 y 0.8, muy probable esté relacionado con el exceso de capacidad del transformador como en los casos anteriores. Además esto coincide con el análisis de los recibos de CFE, en donde los meses de menor FP fueron los que coinciden con períodos vacacionales.

3.2.1.4 Transformador de Docencia II.

El cuarto transformador monitoreado es de 500kVA, marca ABB (sin placa) tipo pedestal, que alimenta al edificio de Docencia II. El monitoreo fue por una semana quedando el perfil como se muestra en la figura 31.

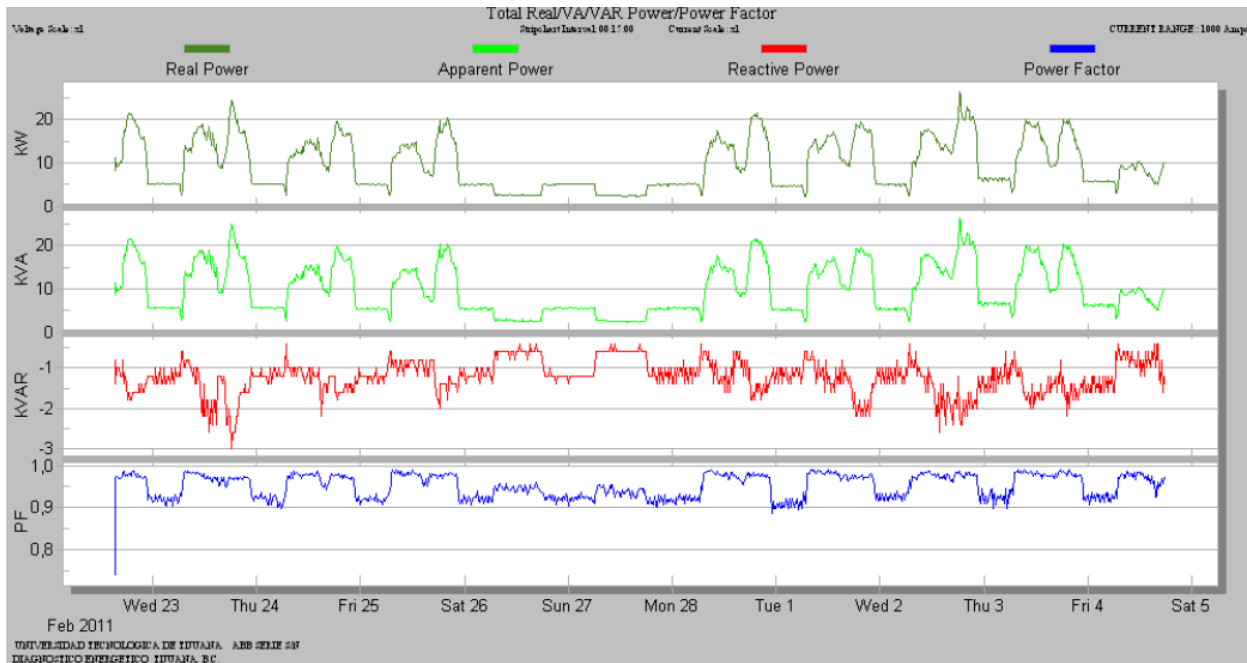


Figura 31 Perfil de Demanda, transformador de Docencia II, 500kVA

Fuente: Propia

La demanda en kW anda entre 15 y 20 durante el día y alrededor de 5kW durante la noche y fines de semana, mientras que la demanda máxima en kVA llega a los 26. Nuevamente el transformador está trabajando casi en vacío al 5.2% de su capacidad. Es decir, tiene un 94.8% de exceso de capacidad. Los kVAR (potencia reactiva) están bajos, entre -1 y -2kVAR, por lo que la potencia real y la aparente sigue el mismo perfil. El factor de potencia (FP) se encuentra mayormente arriba del límite mínimo permitido (0.9). Este transformador se ve que tiene un mejor desempeño en cuanto a FP se refiere. Sin embargo, se sigue viendo que el FP baja de valor durante la noche y fin de semana, y aumenta durante los días y horas laborables. Además como este edificio es de Docencia (aulas de clase), se alcanza a apreciar unos picos que son el cambio de turno que es entre las 3:00 y las 5:00pm. Que es en donde ya se terminó el turno matutino, pero el vespertino aun no entra. Es por eso que se ve un perfil durante el día laborable de dos picos.

3.2.1.5 Transformador de Docencia III.

El quinto transformador es de 500kVA, con número de serie 2071-EMC, que alimenta el edificio de Docencia III, fue monitoreado durante un poco más de una semana y presentó el perfil de demanda mostrado en la figura 32.

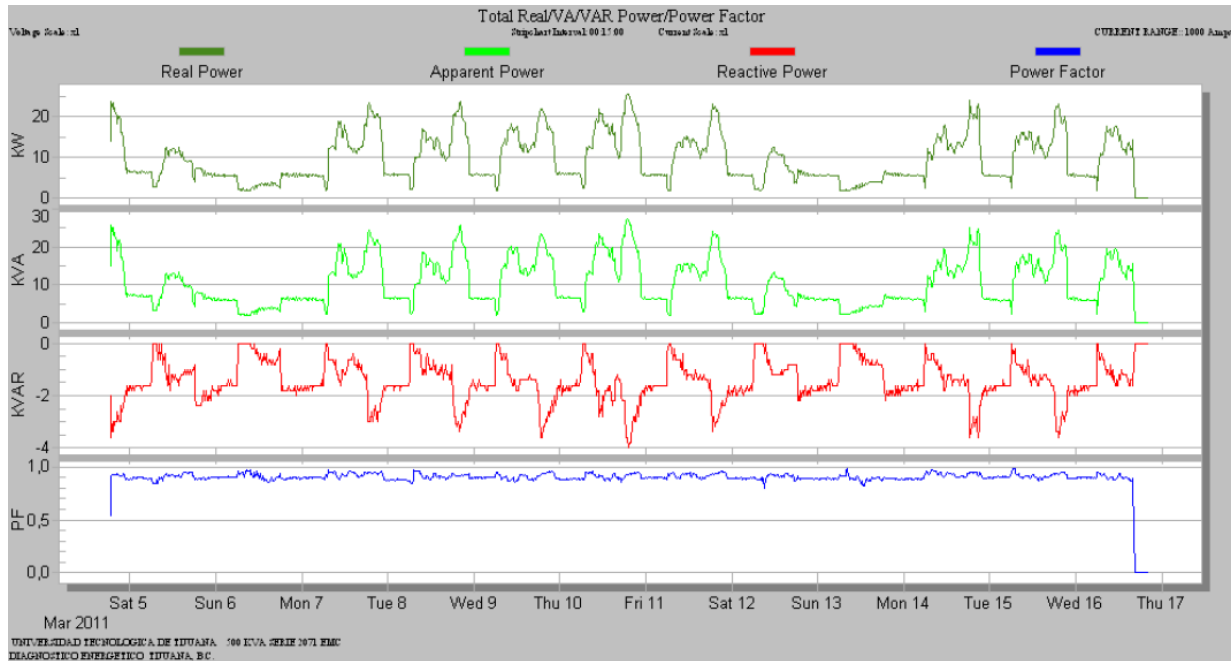


Figura 32 Perfil de demanda, transformador de Docencia III, 500kVA

Fuente: Propia

La demanda durante un día laborable oscila entre 16 y 24kW, mientras que durante la noche y fines de semana está alrededor de 5kW. Por otro lado la demanda máxima fue de 27kVA, por lo que el transformador está trabajando a un 5.4% de su capacidad, teniendo una capacidad excedente de 94.6%, es decir, se encuentra operando casi en vacío, caso similar a los demás transformadores analizados.

Este edificio consta principalmente de aulas de clase, por lo que se aprecia el cambio de turno de 3:00 a 5:00pm que son los picos que se observan en el horario laborable. Aunque también están las oficinas de dirección de carrera y cubículos de maestros que siguen trabajando de 3 a 5pm, pero es menor el consumo y las aulas ya están vacías. La demanda baja a 5kW durante las noches y fines de semana.

La potencia reactiva es baja con un promedio de -2kVAR, por lo que la potencia real sigue el mismo perfil que la potencia aparente con una

demanda máxima (en kW) de 25 llegando a bajar durante la noche y fin de semana alrededor de 5kW.

El factor de potencia FP está normalmente arriba del límite mínimo permisible por CFE (0.9). Sin embargo tiene la tendencia de disminuir durante la noche al igual que la mayoría de los otros transformadores.

Este transformador es de gran tamaño y alimenta solamente un edificio. Lo que explica por qué trabaja casi en vacío.

3.2.1.6 Transformador de Biblioteca, Vinculación y cafetería.

Y por último, el sexto transformador monitoreado también de 500kVA de capacidad, tipo pedestal, con número de serie KJ-8223, se encuentra frente al edificio de biblioteca pero alimenta los edificios de Vinculación, Biblioteca y la cafetería. En este caso, el edificio de biblioteca tiene un horario de operación desde las 7am hasta las 10:30pm que es cuando termina el turno vespertino de clases, es decir, opera todo el día. Mientras que vinculación tiene un horario de oficinas de 9am a 6pm. Este transformador también fue monitoreado durante una semana teniendo el perfil de demanda que se muestra en la figura 33.

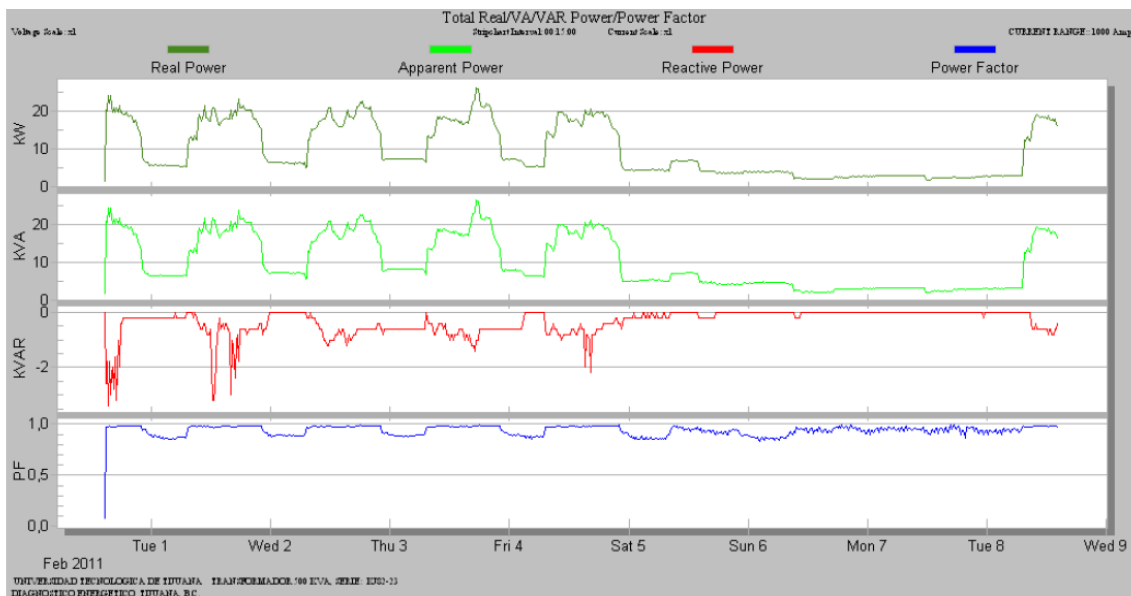


Figura 33 Perfil de demanda, transformador de Biblioteca, Vinculación y cafetería, 500kVA

Fuente: Propia

Se puede observar que la demanda máxima en este caso es de 25kVA, lo cual representa que se está trabajando a un 5% de la capacidad del transformador, es decir, tiene un excedente de capacidad del 95%. La potencia reactiva anda baja, alrededor de -1kVAR, muy bajo por lo que la potencia aparente y la potencia real siguen el mismo perfil teniendo la potencia real una demanda máxima de 25kW, mismo valor que la demanda máxima aparente en kVA.

El FP esta mayormente arriba del límite mínimo permisible por CFE (0.9) por lo que no hay realmente un problema de FP en este transformador. Sin embargo se sigue viendo el mismo perfil, de que el FP baja durante la noche rosando el límite de 0.9 bajando incluso a 0.87 después de la media noche y durante la madrugada volviendo a subir a 0.9 después de las siete de la mañana teniendo ya valores durante el día de arriba de 0.95.

3.2.1.7 Resumen del perfil de demanda de los seis transformadores.

En resumen, todos los transformadores están trabajando casi en vacío, entre un 5 a un 12% de su capacidad máxima. Los transformadores que trabajan con menor factor de carga son los de Biblioteca, docencia II y III con alrededor del 5%. El mejor transformador es el de rectoría, el cual funciona al 12% de su capacidad, sin embargo este es el transformador más chico de toda la universidad, con 225kVA de capacidad, es decir, la mitad de la capacidad que los transformadores de Biblioteca, docencia II y III. La capacidad total de los seis transformadores es de 2,525kVA, pero se utilizan solo 190kVA, por lo que en global, la UTT está trabajando al 7.5% de la capacidad total de todos los transformadores. El trabajar casi en vacío no es bueno debido al tamaño del transformador que genera potencia reactiva tipo inductiva afectando el factor de potencia. Además al trabajar en vacío, la eficiencia del transformador baja. Por lo tanto, se recomienda eliminar algunos transformadores para disminuir este problema.

Por otro lado, el Factor de Potencia disminuye cuando la demanda es menor, es decir, durante las noches, fines de semana y en vacaciones. Y sube en horarios laborables. Por lo que el bajo factor de potencia debe estar relacionado con el exceso de capacidad del transformador, el cual, cuando hay baja demanda, las únicas cargas que quedan son los devanados del

transformador mismo, los cuales crean altas cargas inductivas que disminuyen el factor de potencia.

Se presenta un breve resumen en la tabla 9.

Tabla 9 Resumen perfil de demanda de los seis transformadores

# Transf.	# serie	Capacidad en KVA	Factor de Carga	KVA Max usados	KVA Disponibles	Ubicación
1	Principal	500	11.0%	55	445	D1, L1, AL
2	2939	225	12.0%	27	198	RECTORIA
3	T04-200-62	300	8.0%	24	276	L2, L3
4	ABB sin placa	500	5.2%	26	474	D2
5	2071-EMC	500	5.4%	27	473	D3
6	KJ-8223	500	5.0%	25	475	BIB, VIN, CAF
TOTAL		2,525	7.5%	190	2,335	

3.2.2 Análisis de perfil de voltajes y corrientes eléctricas.

El análisis es uno por cada transformador, como ya se dijo al inicio de esta sección. En esta ocasión se va a analizar la corriente y el voltaje en cada uno de dichos transformadores. El periodo de monitoreo fue durante una semana por transformador como ya se mencionó en la sección anterior. Las graficas muestran la variación máxima, media y mínima tanto de voltaje como de corriente. El voltaje tiene su eje vertical del lado izquierdo de la gráfica mientras que la corriente lo tiene del lado derecho.

3.2.2.1 Transformador principal

Empezando con el monitoreo del transformador principal de 500kVA tipo pedestal que alimenta el edificio de Docencia I, laboratorio pesado #1 de Mantenimiento y Aulas Ligeras. Dicho transformador tuvo el comportamiento que se muestra en la figura 34.

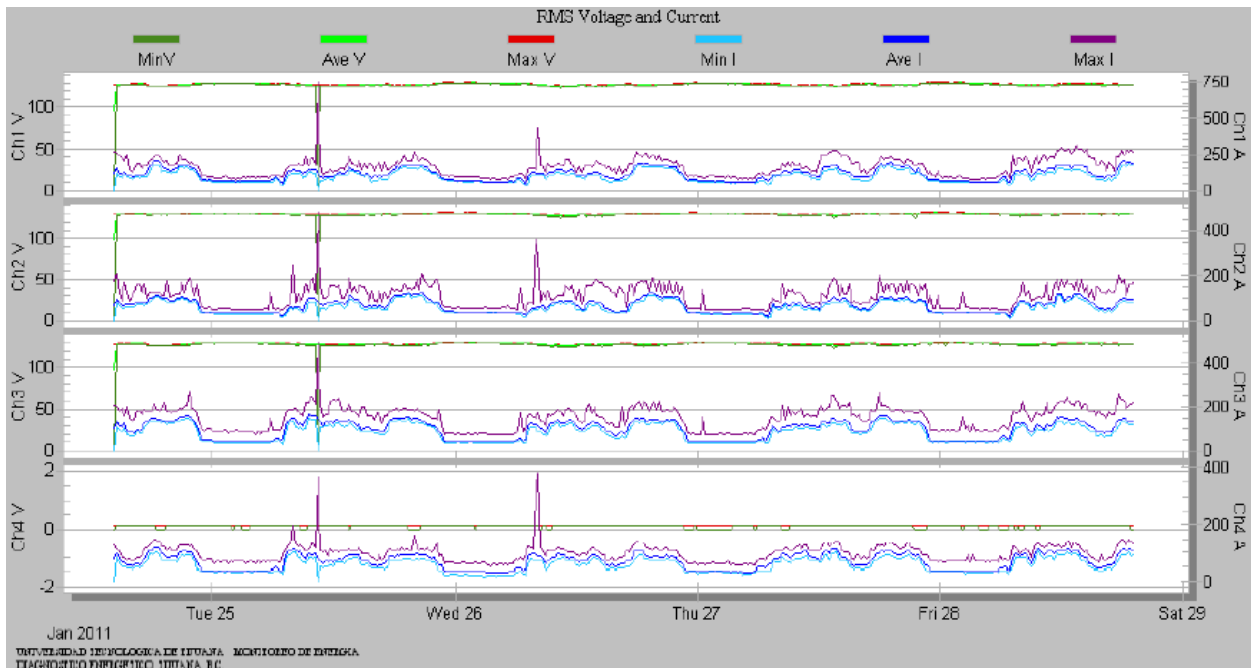


Figura 34 Voltajes y corrientes, transformador principal 500kVA

Fuente: Propia

Como se puede observar, el voltaje tiene un promedio de 130 volts en las tres fases, lo cual está dentro de límites de CFE (+/- 10%). Por el lado de la corriente, se ve que la fase uno es la que más consume corriente, con un promedio de 150Amperes, y tiene arranques (picos) de hasta 700 Amperes. Por otro lado, las fases 2 y 3 tienen un comportamiento parecido con un promedio de 100 Amperes y arranques de hasta 470 Amperes. Debido a este desbalance de fases, el neutro tiene una corriente entre los 50 y 100 Amperes y con arranques de hasta 380 Amperes. Sin embargo, este comportamiento aun puede considerarse normal.

3.2.2.2 Transformador de Rectoría.

El segundo transformador en ser monitoreado con número de serie 2939 de 225kVA tipo pedestal localizado en el edificio de Rectoría tuvo un comportamiento en sus voltajes y corrientes como muestra la figura 35.

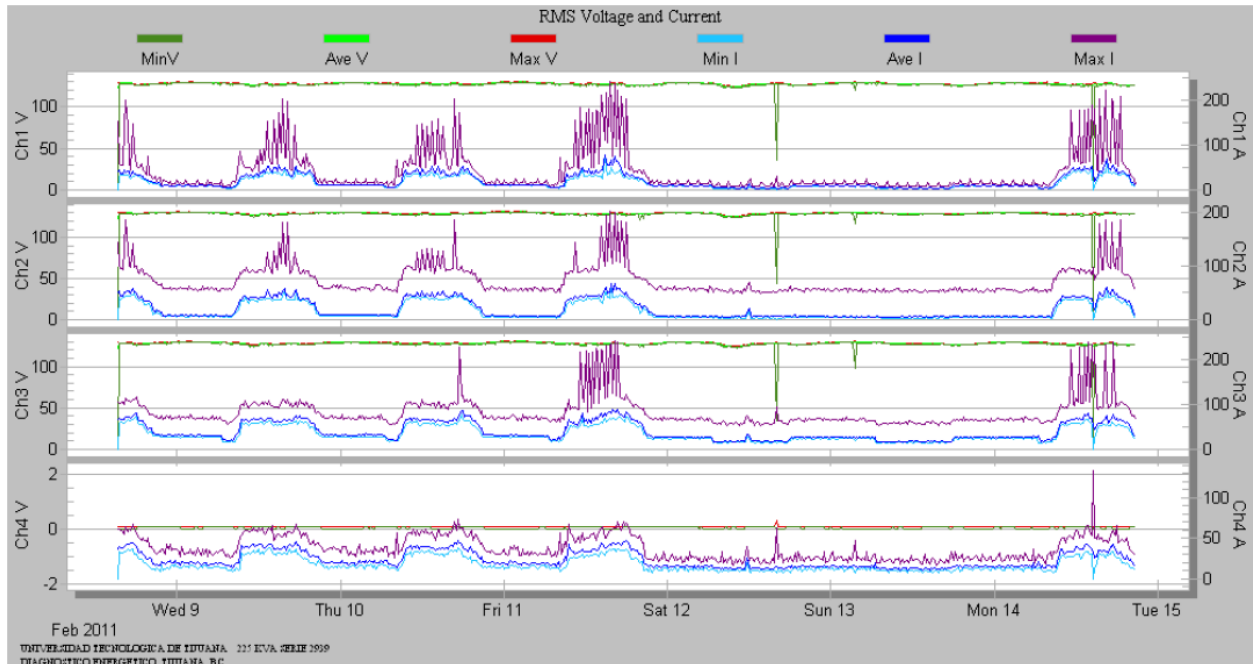


Figura 35 Voltajes y Corrientes, transformador de Rectoría, 225kVA

Fuente: Propia

El voltaje se muestra estable con un promedio de 127 volts en cada una de las fases, por lo que está dentro de los límites del 10% de CFE. En cuanto a la corriente, se puede apreciar el perfil de demanda de corriente cómo disminuye el consumo durante la noche y fines de semana y sube dicho consumo en días y horas laborables. En este caso, todas las fases tienen un promedio de 50 Amperes en horas laborables (de 9.00 am a 6.00 pm) con máximos que alcanzan los 200 Amperes. Mientras que en horarios no laborables baja a 10 o menos Amperes. El neutro tiene un promedio de 25 Amperes. Sin embargo, en términos generales, se puede decir que este transformador tiene un comportamiento normal del consumo de corriente eléctrica. Las fases están balanceadas.

3.2.2.3 Transformador de Laboratorios pesados 2 y 3

El tercer transformador en ser monitoreado con número de serie T04-200-62 de 300kVA tipo pedestal que alimenta los laboratorios pesados # 2 y 3 de procesos y mecatrónica, tuvo el comportamiento que muestra la figura 36.

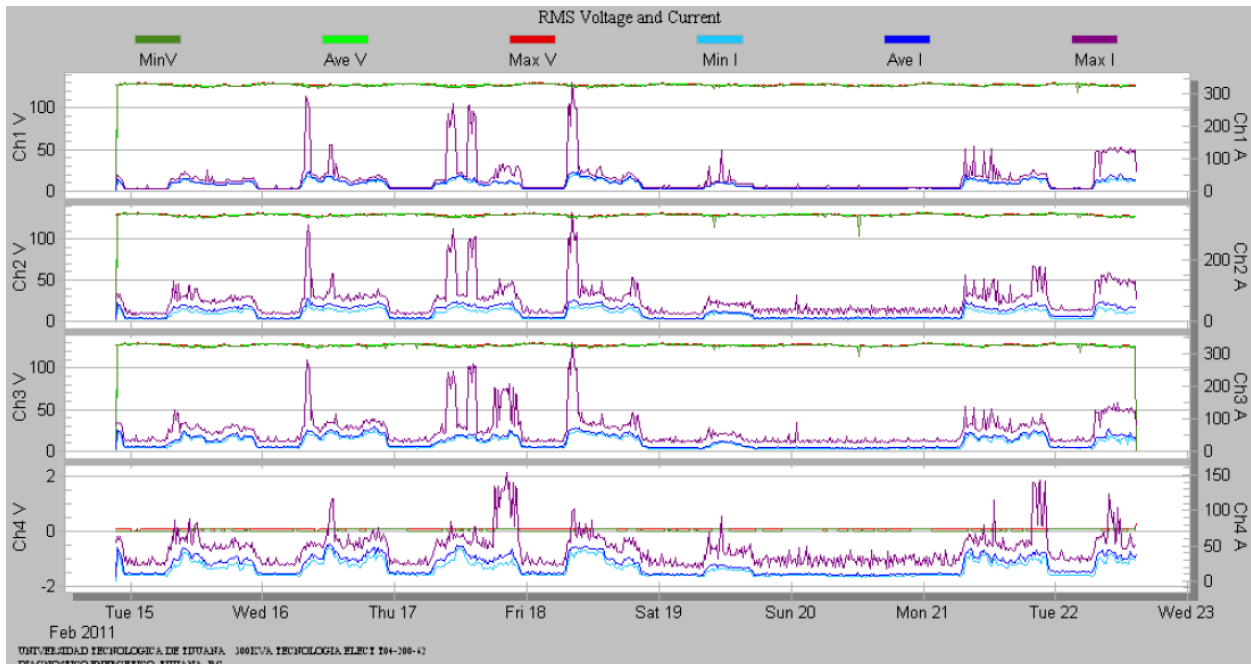


Figura 36 Voltajes y corrientes, transformador de laboratorios pesados #2 y 3, 300kVA

Fuente: Propia

El voltaje se ve estable durante todo el monitoreo con un promedio de 129 volts, el cual está dentro de los límites del 10% de CFE. En cuanto a la corriente eléctrica, todas las fases tienen una corriente promedio de 50 Amperes, pero tiene picos de corriente de hasta 300 Amperes. Posiblemente porque este transformador alimenta los laboratorios pesados de procesos y mecánica en donde tienen talleres de maquinado (tornos, fresadoras, máquinas de control numérico CNC), talleres de soldadura y máquinas eléctricas (motores, transformadores). Aunque no todas estas cargas se usan siempre ni al mismo tiempo, además de considerar también las cargas por aires acondicionados. Durante las noches y fines de semana, el consumo es de aproximadamente 15 Amperes. El neutro en este transformador tiene un promedio de 25 Amperes. En términos generales, el comportamiento se puede considerar normal.

3.2.2.4 Transformador de Docencia II.

El cuarto transformador en ser monitoreado es el que está en el edificio de Docencia II. Con capacidad de 500kVA tipo pedestal, marca ABB sin placa. Cabe mencionar que en este caso, se graficó la variación en porcentaje (%)

tanto de voltaje como de corriente en lugar de los valores mismos. Dicho transformador tuvo el comportamiento que se muestra en la figura 37.

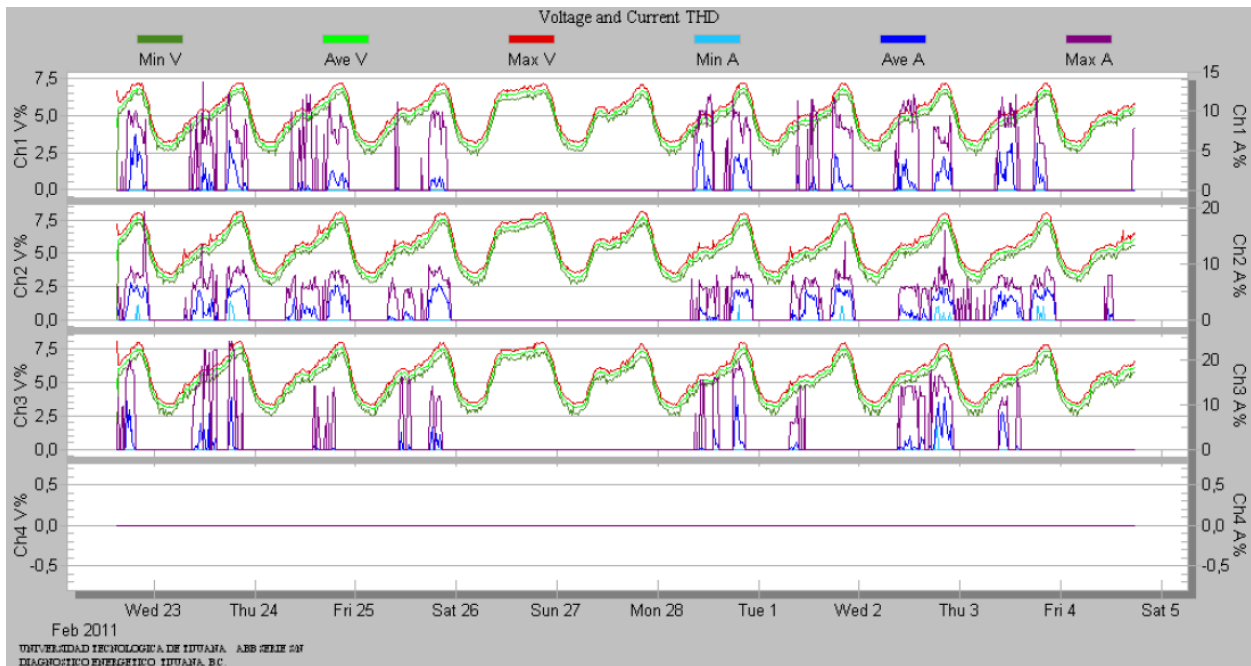


Figura 37 Voltajes y corrientes, transformador Docencia II, 500kVA

Fuente: Propia

Como se puede ver, el voltaje tuvo variaciones máximas de 7.5%, el límite de CFE es del 10%, por lo que está estable. En cuanto a la corriente eléctrica, esta tiene variaciones de hasta 15% mostrando un perfil de uso de la misma de 8:00 a 22:00 horas en días laborables de lunes a viernes. Esta gráfica no indica cuánta corriente consumió cada fase, solamente muestra la variación. Sin embargo, se puede hacer un cálculo burdo tomando como base los kilowatts máximos (24.4kW) y mínimos (5kW) durante este periodo de acuerdo con el perfil de demanda presentado antes y dividiéndolo entre el voltaje de línea de 220V. Con lo cual se obtiene que en total, las tres fases estén consumiendo alrededor de 23 Amperes durante la noche y fines de semana, mientras que en horarios laborables consume de 68 a 90 Amperes. Es decir, un promedio máximo de 30 Amperes por fase.

3.2.2.5 Transformador de Docencia III.

El quinto transformador en ser monitoreado es el que se encuentra en el edificio de Docencia III con número de serie 2071-EMC de 500kVA de capacidad, tipo pedestal.

Dicho transformador tuvo el comportamiento mostrado en la figura 38.

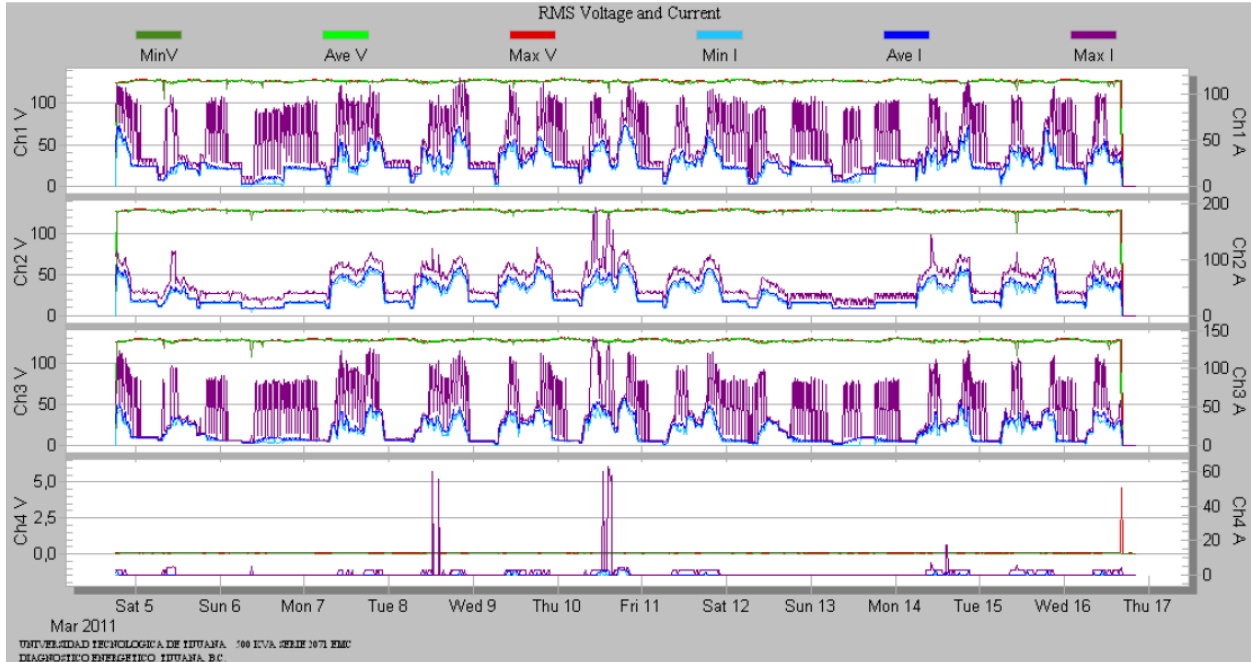


Figura 38 Voltajes y corrientes, Docencia III, 500kVA
Fuente: Propia

El voltaje está dentro de 127 y 130 volts, el cual se muestra estable sin variaciones bruscas. La corriente en la fase uno muestra un valor estable de aproximadamente 30 Amperes pero con gran cantidad de arranques (picos) máximos de hasta 100 Amperes. Por otro lado, la fase dos muestra una corriente estable de alrededor de los 50 Amperes pero con algunos arranques de entre 150 y casi 200 Amperes. La fase tres tiene una corriente estable aproximada de 25 Amperes con arranques de hasta 130 Amperes. Se ve que esta fase es la que menos consume. El neutro tiene un consumo mínimo cerca de los 0 Amperes, pero también se logran ver arranques de hasta 50 Amperes. Las cargas se ven balanceadas en este transformador y el comportamiento se puede considerar normal.

3.2.2.6 Transformador de Biblioteca, Vinculación y Cafetería.

El sexto y último transformador en ser monitoreado es el que se encuentra en frente del edificio de Biblioteca con número de serie KJ-8223 de 500kVA de capacidad tipo pedestal. El cual alimenta Biblioteca, cafetería y el edificio

de vinculación. Dicho transformador tuvo el comportamiento que se muestra en la figura 39.

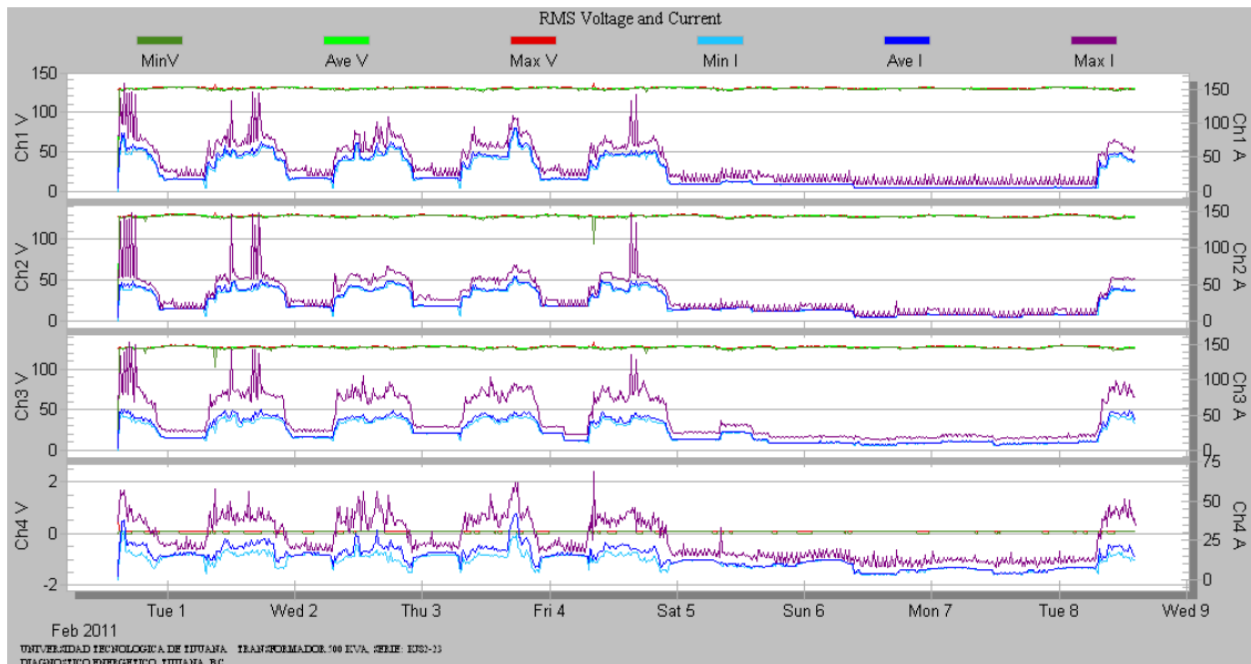


Figura 39 Voltajes y corrientes, transformador Biblioteca, Vinculación y Cafetería, 500kVA
Fuente: Propia

El voltaje se muestra con un promedio de 130 volts en las tres fases y variaciones dentro del límite de CFE (+/- 10%). En cuanto a la corriente eléctrica, se muestra un perfil similar en todas las fases con una corriente promedio de 50 Amperes en cada fase en horarios laborales de las 7:00 a las 22:00 horas, y una corriente de aproximadamente 10 Amperes por fase durante la noche y fin de semana. Sin embargo, tiene arranques máximos (picos) de hasta 130 Amperes en cada una de las tres fases. El neutro tiene un consumo variable desde 10 hasta 30 Amperes pero con arranques máximos de 60 Amperes. En términos generales, se puede decir que el comportamiento de este transformador es normal.

3.2.2.7. Resumen de voltajes y corrientes de los seis transformadores

En cuanto a voltaje, este se mostró estable en todos los transformadores con variaciones dentro de la especificación de CFE del 10%.

En cuanto a consumo de corriente eléctrica, se muestran variaciones con arranques en las tres fases, muy posiblemente relacionado con el uso de

aires acondicionados en esta época del año. En el caso de los laboratorios pesados de Procesos, Mantenimiento y Mecatrónica, podría estar también relacionado con cargas de equipos como tornos, fresadoras, máquinas de CNC que suelen ser trifásicas. Sin embargo, a pesar de ser cargas pesadas, su uso es bajo. Pues es de fin educativo y solo se usan en alguna práctica de laboratorio y dependiendo de las materias que se estén impartiendo en el cuatrimestre en curso. De manera, que es más probable que los arranques vistos sean debido a los aires acondicionados que a estas cargas, ya que estos sí son usados con alta frecuencia debido a las temperaturas ambientes elevadas del verano.

En cuanto a la demanda por fase, el transformador principal que alimenta Docencia I, Aulas Ligeras y Laboratorio pesado 1 (mantenimiento), muestra un desbalance de fases, siendo la fase 2 la de menor consumo. Los demás transformadores muestran un desbalance menor o casi nulo.

3.3 Diagnóstico energético local de una semana en aulas ligeras de la UTT

A fin de delimitar el problema, se escogió el área de aulas ligeras, ya que es donde se encuentran las carreras de Tecnología Ambiental y Energías Renovables, además de que esta área está conectada al transformador principal, el cual como ya se vio, tiene un desbalance entre sus fases. Del transformador principal llega la conexión a un tablero de distribución, el cual alimenta las oficinas, laboratorios y salones del área denominada Aulas Ligeras. Ver figura 40.

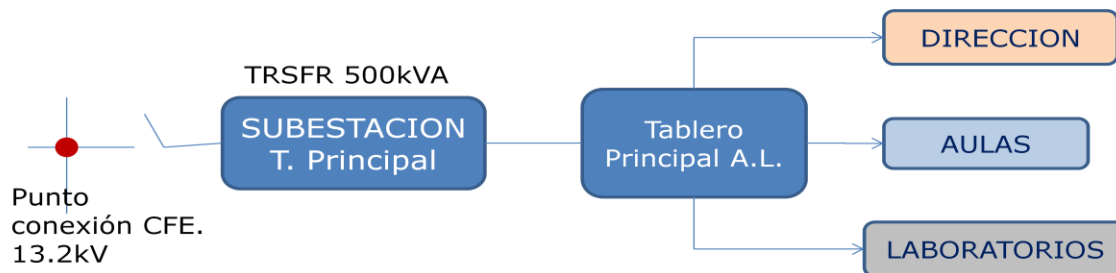


Figura 40 Distribución del tablero principal de aulas ligeras
Fuente: Propia

Por lo tanto, para el caso del análisis-monitoreo con el analizador de redes, este se conectó directamente a dicho tablero de distribución, midiendo cada una de las tres fases y el neutro. Se midieron las variables de voltaje, corriente, consumo de energía activa, reactiva y aparente, nivel de armónicos tanto de voltaje como de corriente, frecuencia y eventos fuera de la norma EN50160 en la que se basa el analizador de redes. Las conexiones son como se muestra en la figura 41.

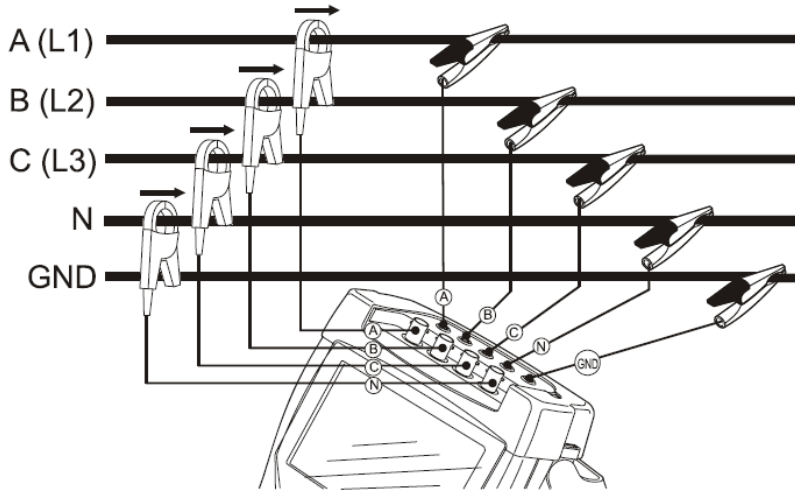


Figura 41 Conexiones del analizador de redes Fluke 435A
Fuente: Manual de usuario del analizador de redes Fluke 435^a

El monitoreo fue realizado con un aparato marca FLUKE 435, previamente programado con las variables ya mencionadas y además se ajustó para que grabara datos cada cinco minutos. En la figura 42 se muestra el analizador ya conectado al tablero de aulas ligeras.



Figura 42 Analizador de redes, Fluke 435A conectado al tablero de aulas ligeras
Fuente: Propia

El análisis se realizó durante una semana del 7 al 14 de Junio del 2012, época de verano. Se midieron cada una de las tres fases incluyendo el neutro. Los resultados son como sigue:

3.3.1 Análisis de voltaje y corriente

El voltaje se mostró aceptable ya que estuvo dentro del límite marcado por CFE y la norma EN50160 que es de +/- 10%. El comportamiento es el que se muestra en la gráfica de la figura 43.

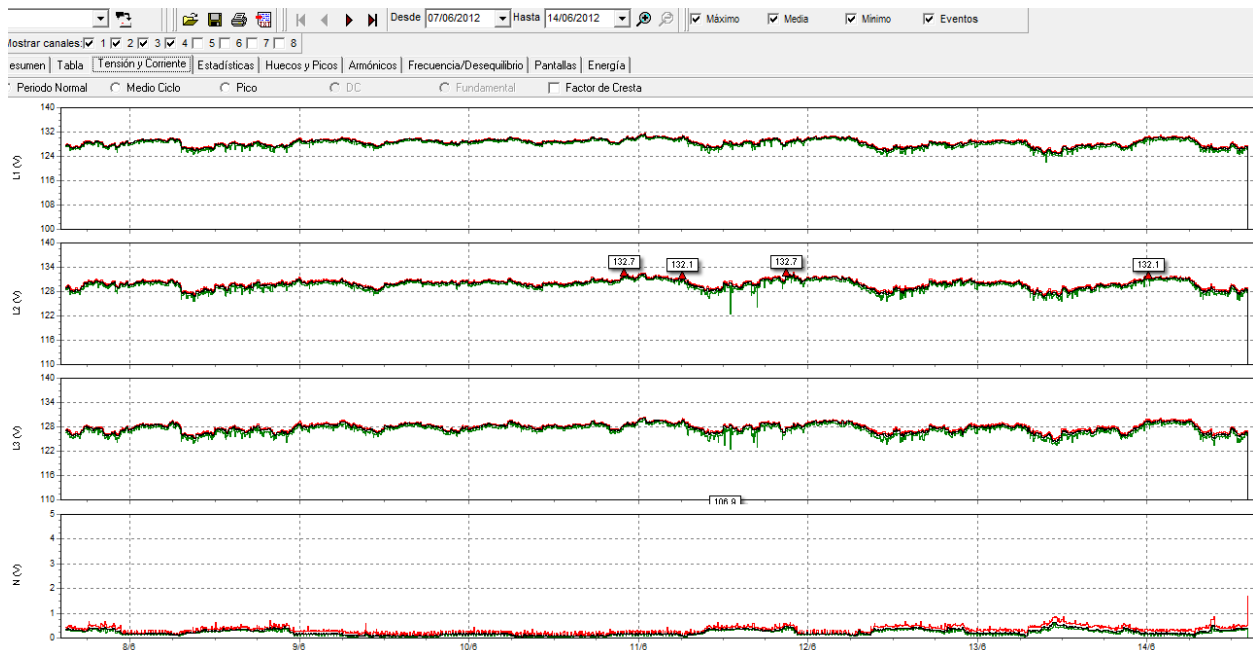


Figura 43 Tendencia de voltaje en aulas ligeras del 7 al 14 de junio del 2012.

Fuente: Propia

Es importante mencionar que el analizador tiene un "set up" en voltaje nominal de 120V, lo cual provoca que el indicador marque 4 eventos en la fase 2 con voltajes un poco arriba de 132v, que según el equipo están fuera del límite, pero se puede ver claramente que en nuestro caso, el voltaje nominal es de 127 volts. Por lo que realmente, estos 4 eventos están dentro del límite. El único evento valido fue en la fase 3, con un voltaje bajo de 106.9v, pero siendo solo caso en toda la semana, no representa problema alguno. Por otro lado, el neutro tiene menos de un volt, por lo que es aceptable.

Para el caso de la corriente, se muestra el comportamiento de la misma semana en la gráfica de la figura 44, en donde la corriente máxima está graficada de color rojo, la mínima de verde y la media de negro:

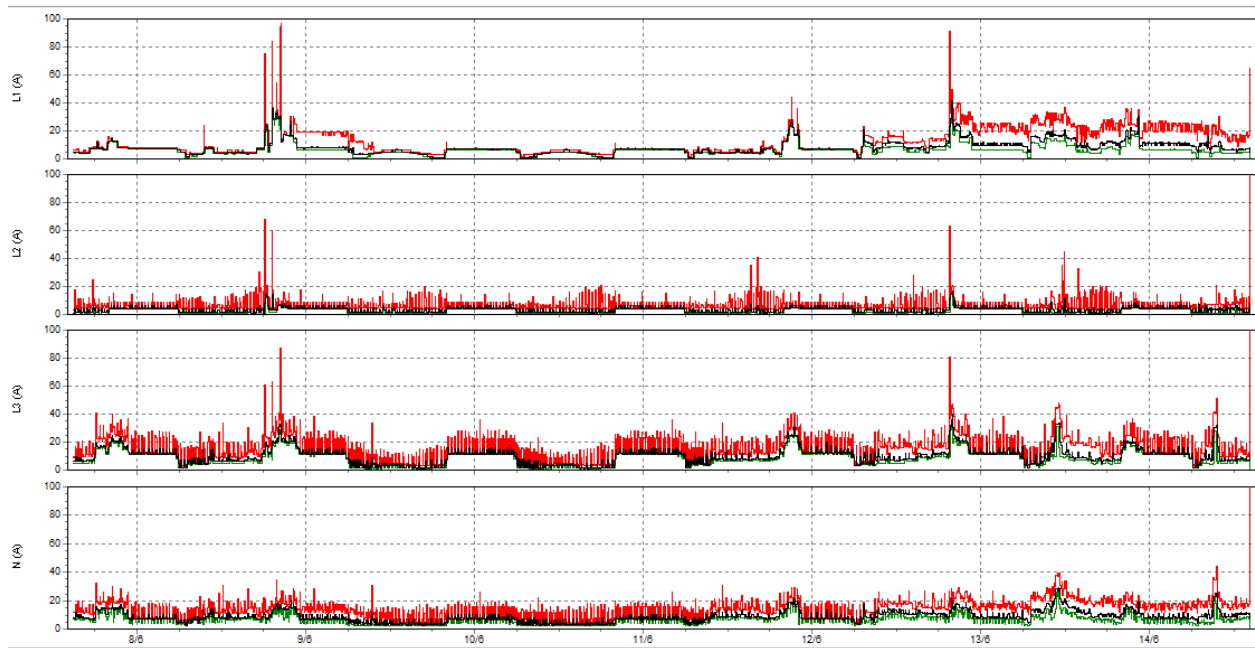


Figura 44 Tendencia de corriente en aulas ligeras del 7 al 14 de junio del 2012.

Fuente: Propia

Las líneas (fases) 1 y 2 tienen una corriente promedio en estado estable de 10 Amperes, mientras que la línea 3 y el neutro su corriente estable es de 20 Amperes. Se pueden ver arranques (picos) de hasta 80 amperes. Esto posiblemente debido a los aires acondicionados o bien a cargas de 220V del laboratorio, que al igual que los aires acondicionados, ocupan dos fases, ya que el pico de corriente se puede apreciar en las tres fases. Sin embargo, los equipos de 220V se usan muy esporádicamente, por lo que es más probable que dichos arranques sean debido a los aires acondicionados.

Uno de estos picos máximos de 80 Amperes ocurre el 8 de junio entre las 18 y las 21 horas. Por lo que haciendo una ampliación ("zoom") de la gráfica solamente en ese periodo de tiempo se puede ver en más detalle que realmente son tres picos de corriente espaciados entre sí aproximadamente una hora, pues uno ocurre pasadas de las 18 horas, el siguiente pasando las 19 horas y el tercero como a las 20 horas con 15 minutos. Para apreciar estos detalles, se hace la ampliación "zoom" de la gráfica mencionada antes, la cual se pone en la figura 45.

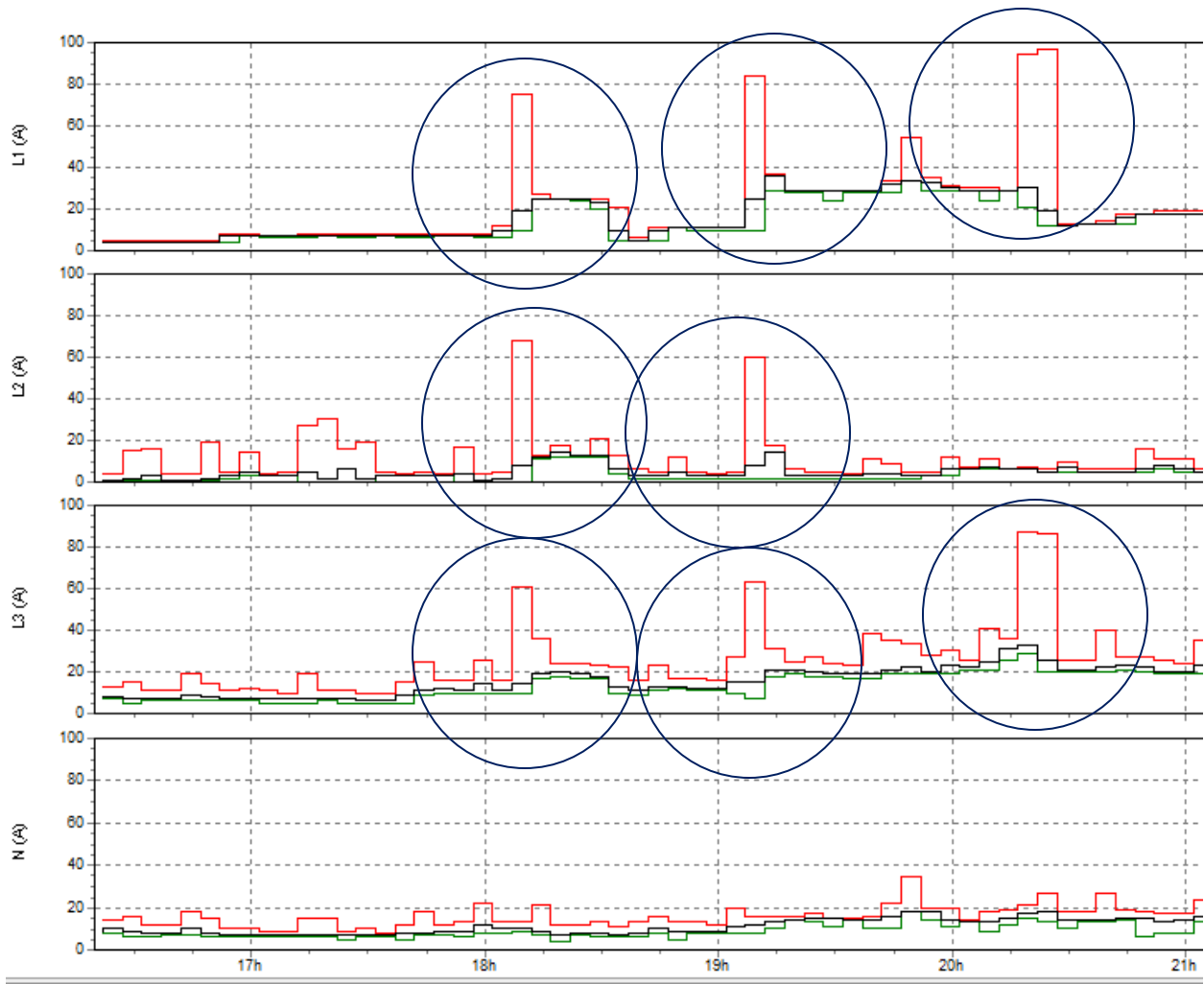


Figura 45 Acercamiento "zoom" de los picos de corriente entre las 17 y 21 horas.

Fuente: Propia

3.3.2 Análisis de frecuencia

La frecuencia es otro de los parámetros medidos en este monitoreo y se ve que en promedio está centrado alrededor de los 60Hz. Tiene variaciones entre los 59.94 y los 60.06 Hz, lo cual está dentro del límite de CFE de 1% y el valor máximo no pasa de 60.06 y el mínimo no baja de 59Hz. Estos detalles se pueden apreciar en la gráfica mostrada en la figura 46.

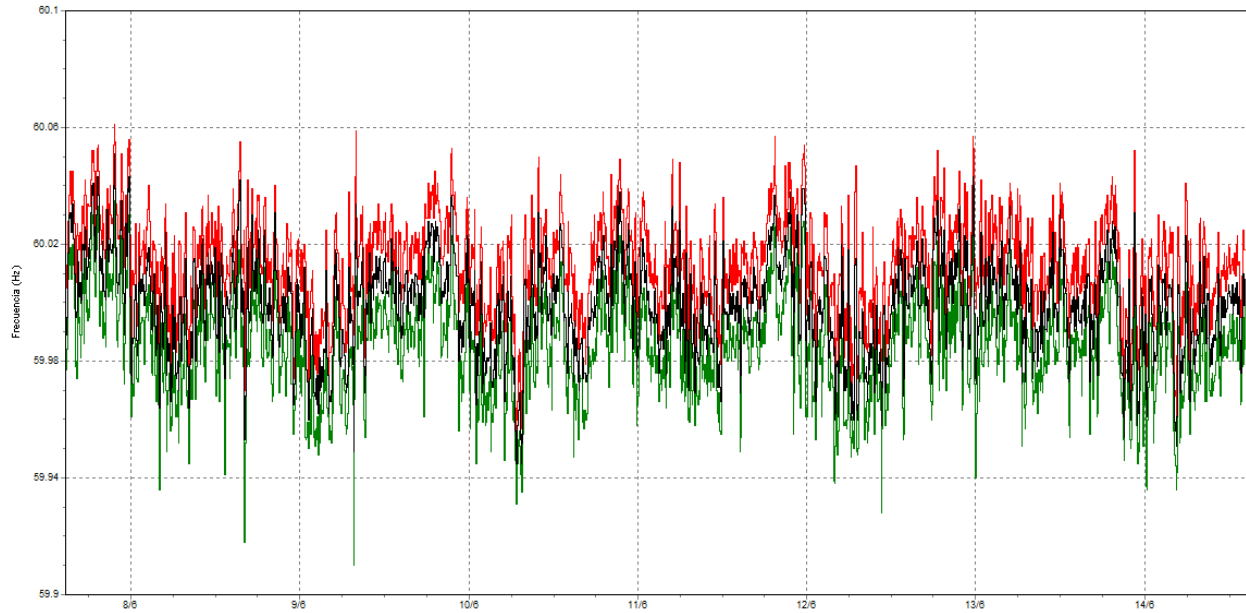


Figura 46 Tendencia del valor de la frecuencia en aulas ligeras

Fuente: Propia

En base a lo anterior, se puede concluir que la frecuencia está dentro de límites y no representa problema alguno.

3.3.3 Análisis de consumo de energía y factor de potencia

El siguiente parámetro monitoreado fue el consumo de energía incluyendo la energía activa en watts-hora, la energía reactiva en volt-ampere-reactivos-hora y la energía aparente en volt-ampere-hora. Todos estos para cada una de las fases en un período de una semana. La gráfica de consumo de energía es acumulativa partiendo de 0. Por eso se ve de subida. En dicha gráfica los kWh están graficados de color rojo, los kVAh de color verde y los kVArh de color azul. Ver figura 47.

En cuanto al consumo de energía de potencia aparente, como se puede apreciar en dicha figura, la fase que más consumo tuvo fue la fase tres con 192 kVAh. Mientras que la fase uno tuvo 152 kVAh. La fase con menos consumo fue la fase dos con 59 kVAh. En total, las tres fases tuvieron un consumo de 403 kVAh. Se puede ver que la fase 2 no está igualmente balanceada que las otras dos, ya que su consumo es menor. Sin embargo, en cuanto a la energía reactiva, esta se ve igualmente equilibrada entre las

tres fases. Seguramente está relacionado con el transformador ya que es el mismo para las tres fases.

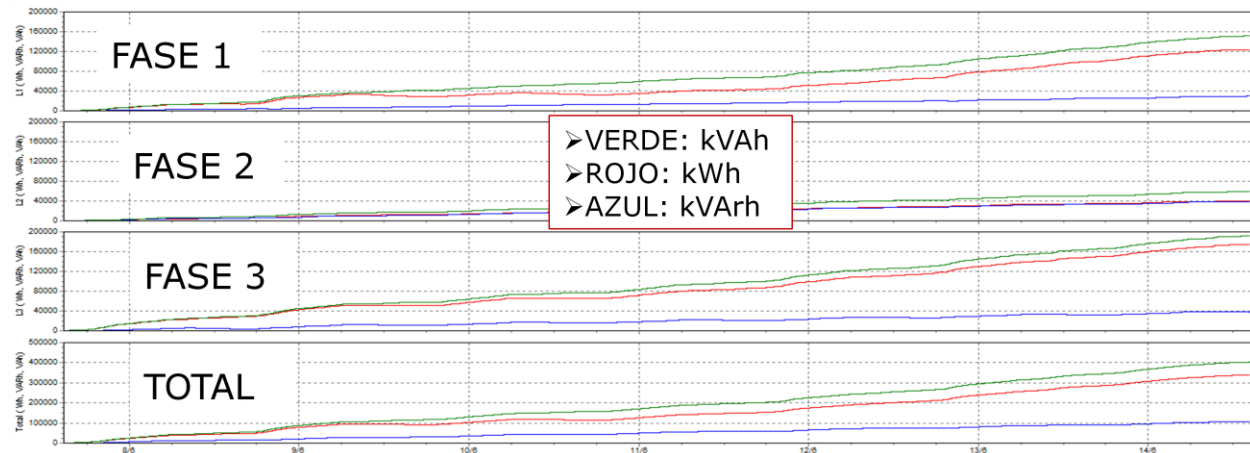


Figura 47 Consumo de energía en aulas ligeras durante una semana.

Fuente: Propia

En cuanto a consumo de energía de potencia real o activa, tuvo un comportamiento similar al de la energía aparente. Solo que los valores son un poco diferentes. En la tabla 10 se da un resumen del consumo de los tres tipos de energía. Se pone de rojo la potencia activa, ya que esta es la que cobra CFE en la factura.

Tabla 10 Resumen del consumo eléctrico en aulas ligeras

Energía	Fase1	Fase 2	Fase 3	TOTAL	Unidades
Real o Activa	123	40	175	338	kWh
Reactiva	30	39	37	106	kVArh
Aparente	152	59	192	403	kVAh

Haciendo un análisis del costo por este consumo en el área de aulas ligeras y proyectando el equivalente en un mes, se tiene el siguiente cálculo.

- De la tabla anterior se consumió: 338kWh / semana
- Suponiendo mismo perfil todo el mes: 1449kWh / mes
- Precio medio Junio 2012: \$2.2153 pesos /kWh (ver tabla 8)
- Costo del mes: $1449 \times 2.2153 = \$3,210$ pesos antes de IVA.
- En ese mismo mes la UTT pago \$ 147,634.24 pesos antes de IVA.

- Lo cual representa ~ **2.17%** del total de la factura.
- Si se compara solamente los kWh:
- Consumo en kWh del mismo mes: 66,643kWh (ver tabla 8)
- Lo cual representa: $1449/66,643 = \mathbf{2.17\%}$,

Lo cual concuerda con el cálculo anterior, por lo tanto, solo el 2.17% de la Energía total consumida es atribuible a Aulas Ligeras.

En cuanto al factor de potencia FP, ya que no se midió en este monitoreo, este se puede estimar haciendo uso del triángulo de potencias y los datos de la tabla anterior de la siguiente manera:

$$FP = \cos \phi = \frac{KWh}{KVAh} = \frac{338Kwh}{403KVAh} = 0.84$$

De manera que el FP se ve un poco debajo del límite mínimo permitido por CFE que es de 0.9 o 90%. Lo cual concuerda con el monitoreo general que se hizo un año antes (2011) en el transformador principal, el cual alimenta aulas ligeras. Y cuyo transformador salió bajo en FP. Además se debe recordar del diagnóstico global que los transformadores están operando casi en vacío, por lo cual es muy probable que el bajo FP esté relacionado con este hecho.

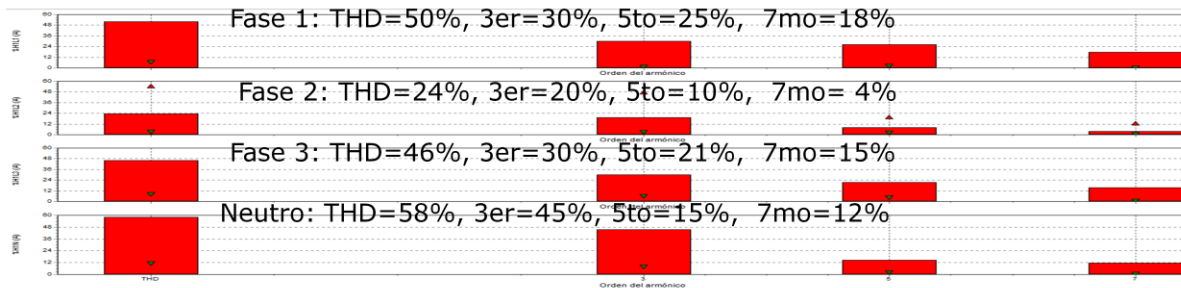
3.3.4. Análisis de distorsión armónica.

Se analizaron también con el analizador de redes la distorsión tanto de voltaje como de corriente, normalmente llamados armónicos o distorsión armónica.

Como se puede apreciar en la figura 48, los armónicos de voltaje están todos en menos del 2% en las tres fases, los cuales están de color azul y están todos dentro de la especificación estipulada por el estándar IEEE-519-1992 que es del 5%. Solamente el neutro no cumple con el estándar, pero esto puede estar relacionado con el desbalance de fases que ya se vio antes.

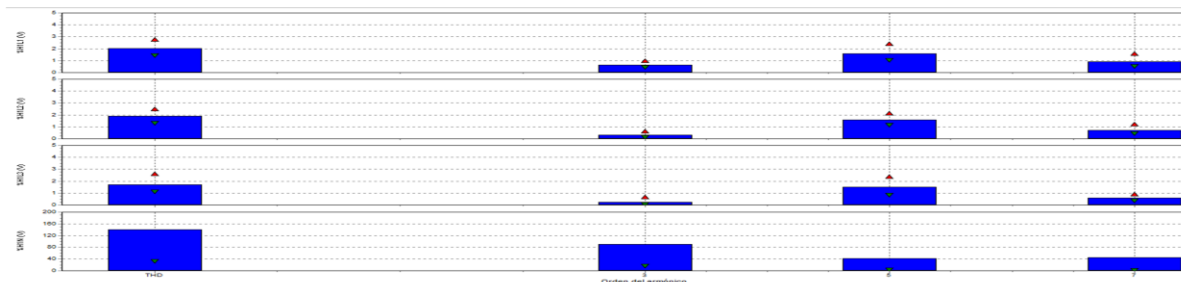
En cuanto a los armónicos de corriente, los cuales están de color rojo, estos sí se encuentran fuera de la especificación del mismo estándar que es del 20% para la distorsión armónica total (THD).

Análisis de Distorsión Armónica (Armónicos de corriente)



- Todos fuera de especificación según IEEE-STD-519-1992 (20% THD)

(Armónicos de voltaje, HISTOGRAMA)



- Fase 1, 2 y 3: THD, 3, 5, 6 Armónicos están por debajo del 2%
- Neutro: THD =140%, 3er=90%, 5to y 7mo=40%
- Dentro de especificación del **5%** según IEEE 519-1992 excepto el Neutro

Figura 48 Distorsión armónica de corriente y voltaje en aulas ligeras

Donde, THD: Distorsión armónica total, y es la barra de la izquierda.

Fuente: Propia

Este gráfico es en forma de histograma, y la primera barra muestra la distorsión total THD tanto en voltaje como en corriente. Las otras tres barras muestran la distorsión de la 3ra, 5ta y 7ma armónicas. Solo se muestran estas que son las de mayor impacto. Sin embargo, las de voltaje están todas dentro de especificación, exceptuando el neutro, mientras que las de corriente están todas fuera de la especificación del estándar IEEE-519-1992.

Si se analiza ahora la distorsión armónica de corriente que es la que se sale fuera del límite, pero ahora analizando su evolución en el tiempo, se ve que la distorsión no está siempre fuera de especificación, sino que tiene una fluctuación, en donde en veces está adentro y en veces afuera de la misma. Para ello se gráfica su evolución en el tiempo en la figura 49.

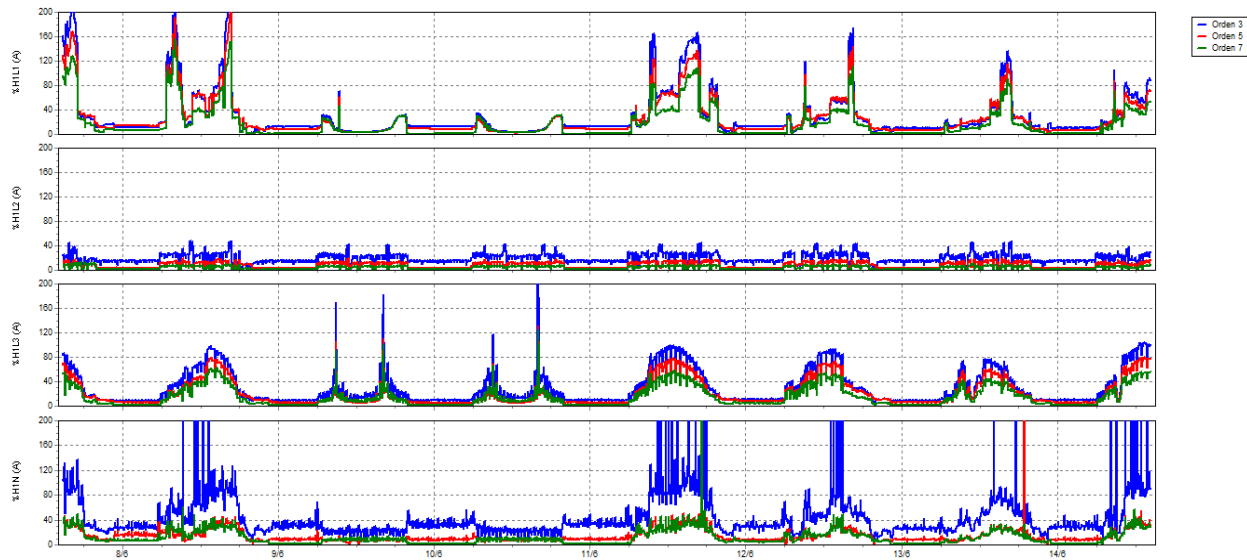


Figura 49 Evolución en el tiempo de la distorsión armónica de corriente en aulas ligeras.

Fuente: Propia

Se puede ver de esta gráfica que hay una mayor distorsión en horas laborables, mientras que durante la noche y fines de semana se muestra bajo, incluso dentro de especificación (<20%). Además la fase 2 que es la que menos se usa, es la que tiene menor distorsión. Y la distorsión en el neutro es debido al desbalance de fases como ya se dijo antes.

En base a lo anterior, se concluye que la distorsión armónica de corriente es originada dentro de la UTT debido al uso de cargas no lineales como los balastos electrónicos de las lámparas T8 y el equipo de cómputo. Para remediar este problema, se recomienda hacer un estudio para el diseño de un filtro que elimine dichas distorsiones.

3.4 Diagnóstico energético local de 24hrs en aulas ligeras.

En base al análisis anterior, y como ya se vio que existen varios picos de "arranques" de corriente, se decidió hacer un análisis más detallado, que permita analizar estos arranques. También se monitoreó nuevamente los armónicos de corriente y voltaje para ver si siguen la misma tendencia.

Este nuevo diagnóstico de 24 horas se realizó también en junio pero del 2013, es decir, un año después del realizado durante una semana. El tener

el diagnóstico de 24 horas, da la oportunidad de tomar mediciones más frecuentes o de mayor resolución en el tiempo. Ya que en el de una semana, se grabaron datos cada cinco minutos, y en este de 24 horas se grabaron datos cada diez segundos. En el de una semana de duración no se pudo grabar tan frecuente debido a la limitación del tamaño de la memoria del equipo.

Se realizó entonces el monitoreo con el analizador de redes marca Fluke modelo 435-A de las 19 horas del 4 de Junio, a las 18 horas del 5 de Junio del 2013. Programándolo para tomar mediciones cada 10 segundos. Las conexiones son las mismas como ya se mostró en la figura 41 del monitoreo anterior. Sin embargo, como el propósito de este monitoreo es el análisis de los arranques de corriente, no se monitorearon el voltaje, la frecuencia ni la demanda. Pues ya se tienen datos del monitoreo anterior de una semana y están bien, no muestran problema. En la figura 50 se muestra la tendencia de la corriente durante estas 24 horas.

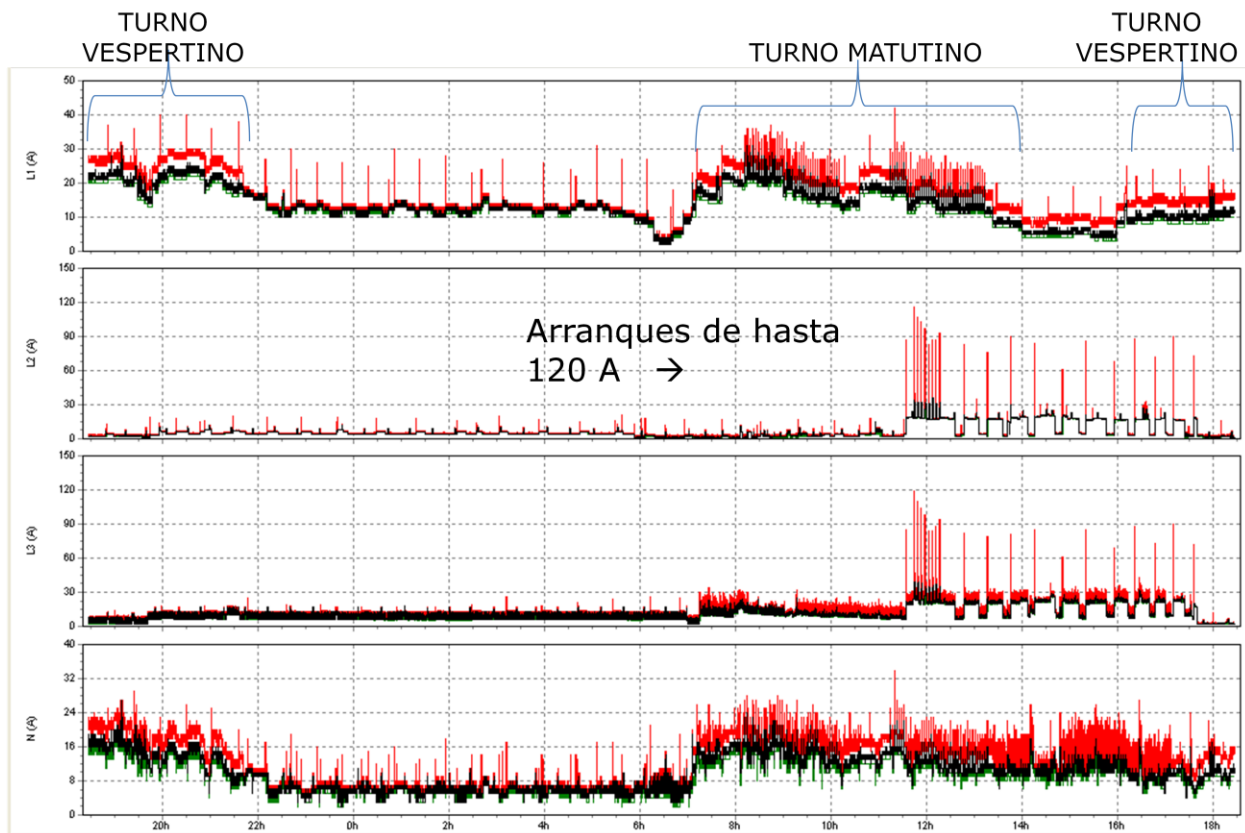


Figura 50 Tendencia de corriente en 24 horas en aulas ligeras

Fuente: Propia

Se puede apreciar el cambio de turno. Como el analizador se instaló en la tarde, la gráfica inicia del lado izquierdo mostrando el turno vespertino. A las 22:30 horas baja la demanda de corriente que es cuando termina el turno de la tarde. A las 7:00 horas del día siguiente se puede apreciar como aumenta la demanda de corriente. En la gráfica se identifican los intervalos de turno matutino y vespertino. También se pueden apreciar los arranques de hasta 120 Amperes solo en las fases dos y tres. Es importante notar que en esta gráfica, los ejes de las tres fases y neutro no están a la misma escala, por lo que en la figura 51 se ponen todos a la misma escala para poder comparar cuales son las fases que más consumen corriente.

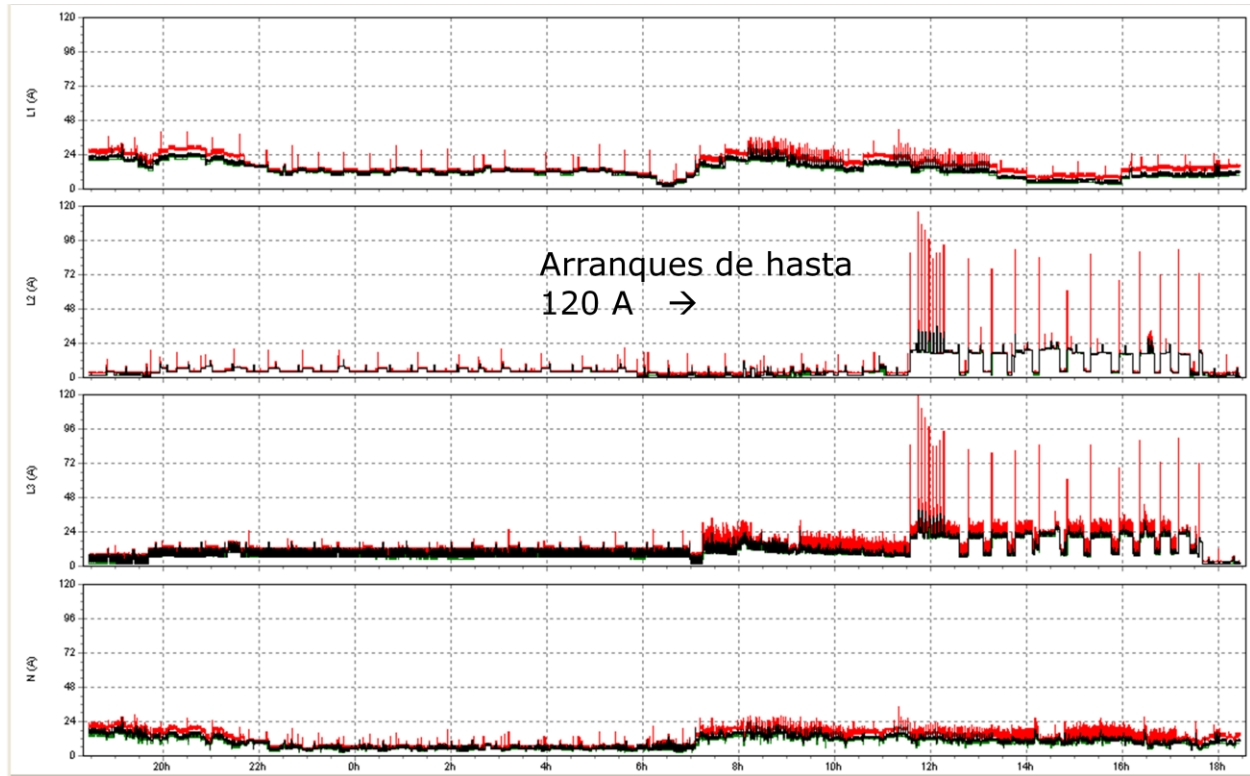


Figura 51 Tendencia de corriente con los ejes a la misma escala para comparación.

Fuente: Propia

Como se puede apreciar, la fase dos es la que menos consume corriente. Esto concuerda con el monitoreo global, donde el transformador principal muestra un desbalance de fases, siendo precisamente la fase dos la de menor consumo. Y como ya se mencionó antes, el área de aulas ligeras está conectada al transformador principal.

Analizando la corriente por fase, la fase uno muestra un consumo de 24 Amperes durante horas laborables, la fase dos por el contrario solo consume

alrededor de 6 Amperes mientras que la fase tres anda alrededor de 12 Amperes. Estos valores son antes de las 12 del medio día que es cuando inician los arranques de corriente.

Por otro lado, los arranques de hasta 120 A se muestran a partir de las 12 del medio día, que es cuando empieza a subir la temperatura ambiente y se encienden los aires acondicionados. El consumo, ya con los aires acondicionados prendidos, se ve que la fase uno que era la mayor, incluso baja a 18 Amperes (los arranques solo son en las fases 2 y 3), la fase 2 aumenta a 18 A, la fase 3 aumenta a 20 A.

Para hacer un análisis mayor de estos arranques, se hizo un acercamiento "zoom" a la gráfica entre las 10:00 y las 18:00 horas y esta nueva gráfica se muestra en la figura 52.

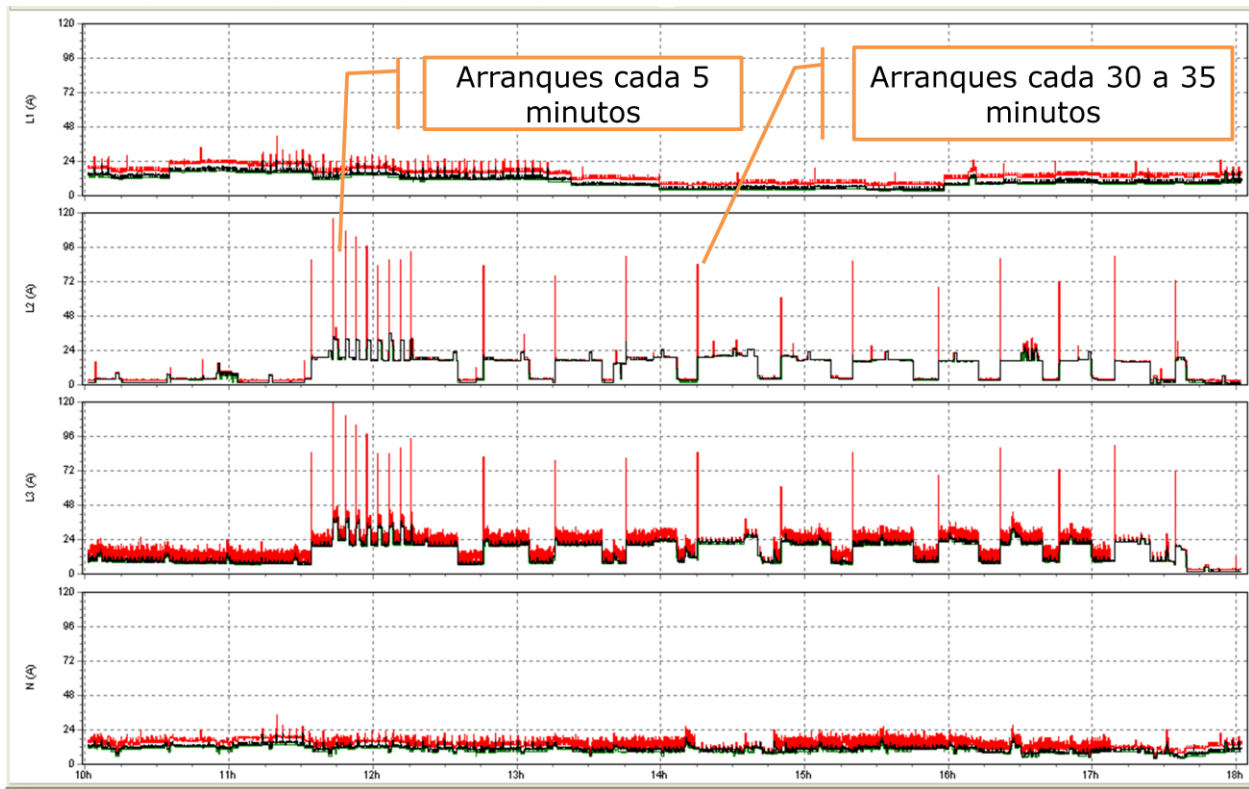


Figura 52. Análisis de arranques de corrientes en aulas ligeras con un acercamiento "zoom"

Fuente: Propia

En esta nueva gráfica se puede apreciar que realmente los arranques se comienzan a ver alrededor de las 11:30 horas. En un principio se repiten los arranques cada 5 minutos, señal de que se están encendiendo los aires acondicionados en aulas y oficinas, porque luego los arranques ya se ven

más espaciados, ya que se repiten cada media hora, es decir, ya no tan frecuente como cuando inician.

Se revisaron otras cargas de 220V distintas a las de los aires acondicionados dentro del área de aulas ligeras que pudieran ser la causa de estos arranques, sin embargo, se encontró en los laboratorios de química que son solo dos los equipos que funcionan a 220V. Sin embargo, su uso es casi nulo, pues se llegan a usar muy esporádicamente. Por lo que se concluye que dichos arranques solamente pueden ser de los equipos de aire acondicionado. Ya que en toda el área de aulas ligeras se tiene un total de 14 equipos de aire acondicionado, además de que son muchos los arranques vistos en la gráfica de corriente del monitoreo. En la tabla 38 se muestra un listado de los equipos de aire acondicionado que se tienen en aulas ligeras.

En cuanto a la distorsión armónica, esta mostró el mismo comportamiento ya visto en el monitoreo de Junio del 2012. Dicho comportamiento se ve en la figura 53.

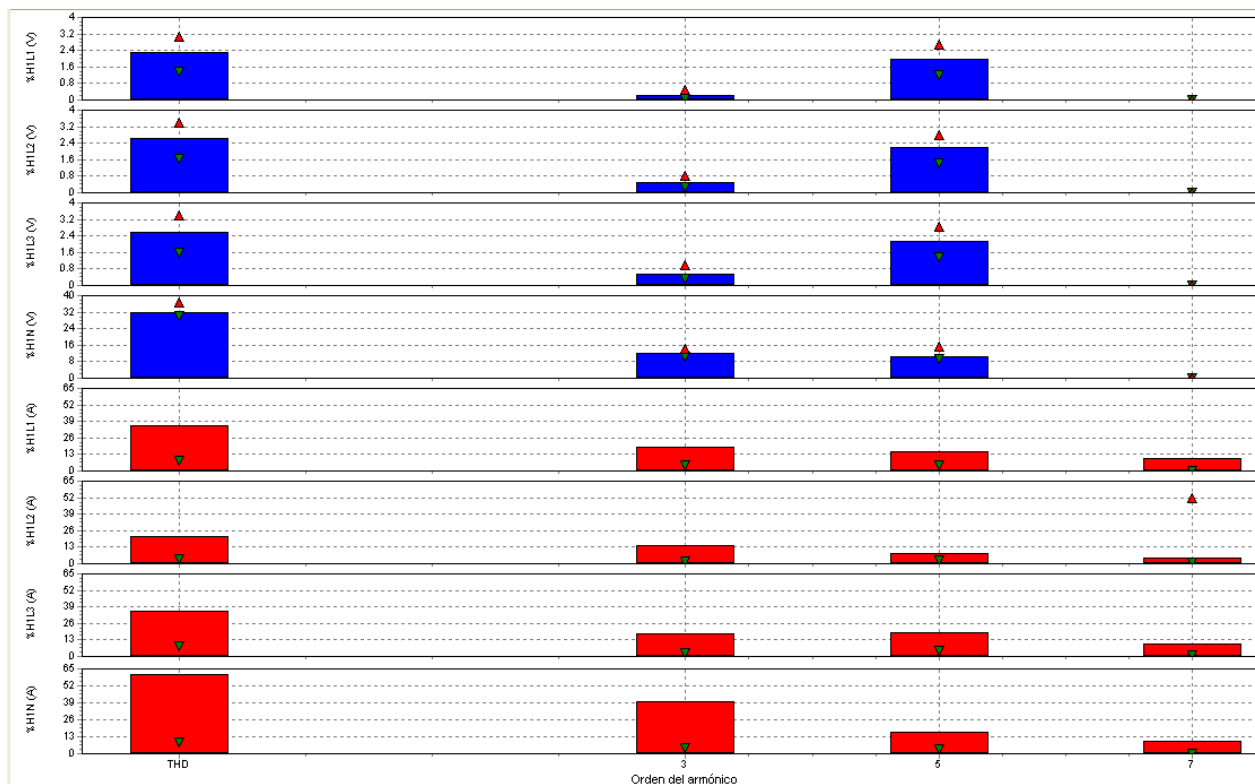


Figura 53. Armónicos de voltaje (Azul) y corriente (Rojo). Aulas ligeras junio 2013

Fuente: Propia. Foto tomada del analizador de redes

En cuanto a voltaje, la distorsión armónica total THD se muestra en menos del 4%, la especificación es de 5%, por lo que está dentro del límite marcado por el estándar IEEE-519-1992.

En cuanto a corriente, la distorsión armónica total THD se muestra entre 20 y 35% y el límite es del 20%, por lo que en este caso se encuentra fuera de especificación de acuerdo al estándar IEEE-519-1992.

Como se puede apreciar, es básicamente el mismo comportamiento ya visto en el monitoreo anterior.

Se tomó una foto a la forma de onda de la corriente para ver el grado de distorsión. Esta se muestra en la figura 54. Los valores muestran kA porque el equipo se puso a una escala de 1:1000 para poder apreciar la forma de onda. De otra manera, como el eje "y" tiene hasta 3,000 Amperes, la forma de onda no se aprecia viéndose solamente una línea recta.

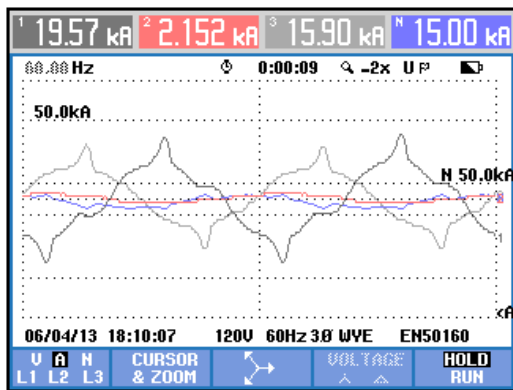


Figura 54 Forma de onda de corriente en tablero de aulas ligeras

Fuente: Propia. Foto tomada del analizador de redes.

Se puede ver la distorsión en la forma de onda de cada fase. Sin embargo, la fase dos que está de color rojo muestra una menor distorsión, ya que la fase dos es la que menos consume corriente. La recomendación aquí como ya se mencionó antes, es hacer el diseño de un filtro para reducir el nivel de distorsión armónica en la corriente.

En resumen, respecto al diagnóstico delimitado al área de aulas ligeras, se encontraron arranques de corriente de hasta 120 A, los cuales coinciden en tiempo en dos de las fases, por lo que están relacionadas con cargas que funcionan a 220V. Se analizaron todas las cargas de Aulas Ligeras que funcionan a 220V y se encontró que estos arranques son debidos al

funcionamiento de los aires acondicionados, ya que se tienen 14 equipos en Aulas ligeras y además por la época del año en que se realizó el diagnóstico (Junio), y por la hora en que se inician los arranques (12pm) es que se concluye que son los aires acondicionados los causantes de dichos arranques. Aunque esto se vio en el diagnóstico local, en general en toda la Universidad se cuenta con más de 150 equipos de aire acondicionado, por lo que el asunto se vuelve general. Además esto coincide con la facturación, pues los recibos de la época de verano llegan hasta casi los \$300 mil pesos mensuales, mientras que en invierno bajan hasta \$50 mil pesos.

Como ya se concluyó, los arranques son causados por el uso de aires acondicionados, por lo que se hizo un inventario de dichas cargas en el área de Aulas Ligeras y es la que se muestra en la sección siguiente.

3.5 Inventario de luminarias y propuesta en iluminación.

Como se mostró en la sección 2.4 del capítulo dos, se hizo una propuesta de luminarias para el ahorro de energía tanto para interiores como para exteriores. Los resultados son como se muestra a continuación.

3.5.1 Luminarias de interiores actuales y propuesta de ahorro

Primeramente se inició haciendo un inventario de las luminarias de interiores por cada edificio y por tipo de lámpara. Se encontró que las luminarias usadas para interiores fueron de tipo fluorescente tubular lineal T8 y T12, fluorescentes compactas, incandescentes y de alta intensidad de descarga DAI (HID). La que más se repitió fue la tubular lineal T8 con balastro electrónico. La tabla 11 muestra un sumario de este inventario.

Tabla 11 Inventario de luminarias de interiores por edificio y tipo.

MATRIZ. LAMPARAS vs. EDIFICIO	LAB # 2			LAB # 3			LAB # 1						
	DOCENCIA I	DOCENCIA II	DOCENCIA III	LAB PESADO MECATRONICA	LAB PESADO PROCESOS	LAB PESADO MANTENIMIENTO	BIBLIOTECA	VINCULACION	RECTORIA	CAFETERIA	AULAS LIGERAS	TOTAL	
2 X F32 T8 (2X4ft)	6	113	74	4	5	5	141		18			366	
2 X F32 T8 (2X2ft)	332						6					338	
3 X F32 T8 (2X4ft)		143	171					76	125		32	547	
4 X F32 T8 (2X4ft)											40	40	
2 x 40 T12 (2X4ft)				27	18	18				3		66	
Incandescente100W										8		8	
Spot 23W PL	116	72	24	4	9	9	21	100	42	32		429	
HID 400W		1		22	22	22						67	
Total luminarias por edificio	454	329	269	57	54	54	168	176	185	43	72	1861	

Como se puede apreciar, se tienen un total de 1861 luminarias de interiores en todos los edificios de la Universidad. Para mostrar las luminarias por tipo de lámpara usada, se hizo la gráfica de *PARETO* tipo "pie" que se muestra en la figura 55.

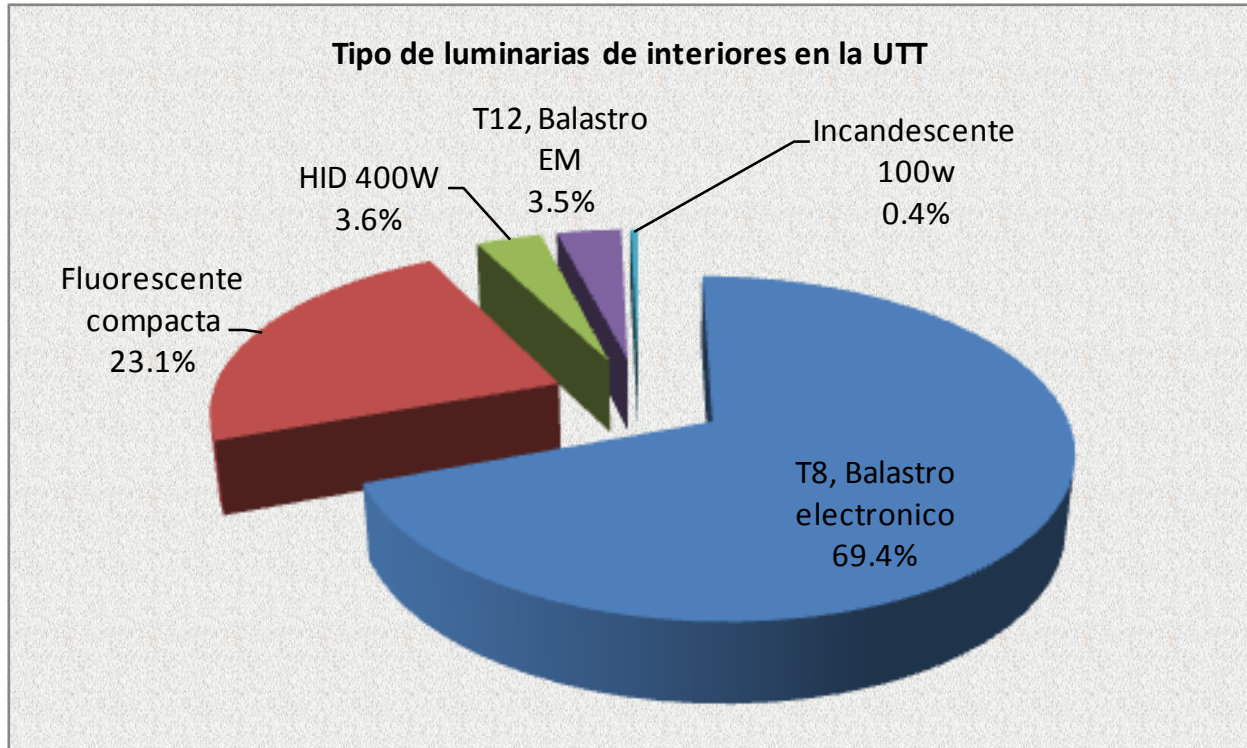


Figura 55 Luminarias de interiores por tipo de lámpara en la UTT.

Fuente: Propia

Como se puede observar, el 69.4% de las luminarias de interiores usan lámparas fluorescentes T8 con balastro electrónico, las cuales son algo ahorradoras por tener un balastro tipo electrónico y son la mayoría. En segundo lugar le siguen las lámparas tipo spot fluorescentes compactas de 23W con un 23.1% del total. Le siguen las de alta intensidad de descarga (HID) con un 3.6% del total, fluorescente tubular T12 con balastro electromagnético que representa un 3.5% del total y finalmente las incandescentes de 100W que solo representan el 0.4% del total. Se ve pues que la iluminación en la UTT no es del todo ineficiente, pero aún se pueden hacer mejoras sustanciales para reducir su consumo.

El siguiente paso es traducir el número de luminarias a capacidad instalada en kW por edificio. Para ello se hizo una memoria de cálculo, la cual se

muestra en la tabla 12. En esta tabla se tienen dos columnas por edificio, la primera tiene el número de luminarias por tipo (renglón) y la segunda el cálculo de los kW que se obtiene de multiplicar el número de lámparas por luminaria por la cantidad total de luminarias y esto a su vez se multiplica por la potencia nominal de dicha lámpara en kW. Esto da los kW por cada tipo de lámpara sin incluir el balastro, ya que no todas las lámparas lo usan. Y finalmente en el último renglón se obtiene la sumatoria de las dos columnas, es decir, el total de luminarias y el total de kW instalados. Se repite el cálculo por cada edificio marcándolo de un color diferente.

Tabla 12 Cálculo de la capacidad en kW de las luminarias de interiores.

	DOCENCIA I		DOCENCIA II		DOCENCIA III		LAB PESADO MEGATRONICA		LAB PESADO PROCESOS		LAB PESADO MANTENIMIENTO		BIBLIOTECA		VINCULACION		RECTORIA		CAFETERIA		AULAS LIGERAS		WATTS TOTALES	
	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	# Focos	Watts	WATTS	C/Balastro
2 X F32 T8 (2X4ft)	6	384	113	7232	74	4736	4	256	5	320	5	320	141	9024			18	1152					23424	24595.2
2 X F32 T8 (2X2ft)	332	21248											6	384									21632	22713.6
3 X F32 T8 (2X4ft)			143	13728	171	16416									76	7296	125	12000			32	3072	52512	55137.6
4 X F32 T8 (2X4ft)																					40	5120	5120	5376
2 x 40 T12 (2X4ft)							27	2160	18	1440	18	1440								3	240		5280	6336
Incandescente 100W																				8	800		800	800
Spot 23W PL	116	2668	72	1656	24	552	4	92	9	207	9	207	21	483	100	2300	42	966	32	736			9867	10360.35
HID 400W			1	400			22	8800	22	8800	22	8800											26800	32160
Total lamparas por edificio	454	24300	329	23016	269	21704	57	11308	54	10767	54	10767	168	9891	176	9596	185	14118	43	1776	72	8192	145435	157478.75

De estos datos surge la gráfica mostrada en la figura 56 que muestra solamente la capacidad instalada de luminarias de interiores en kW sin incluir la potencia del balastro.

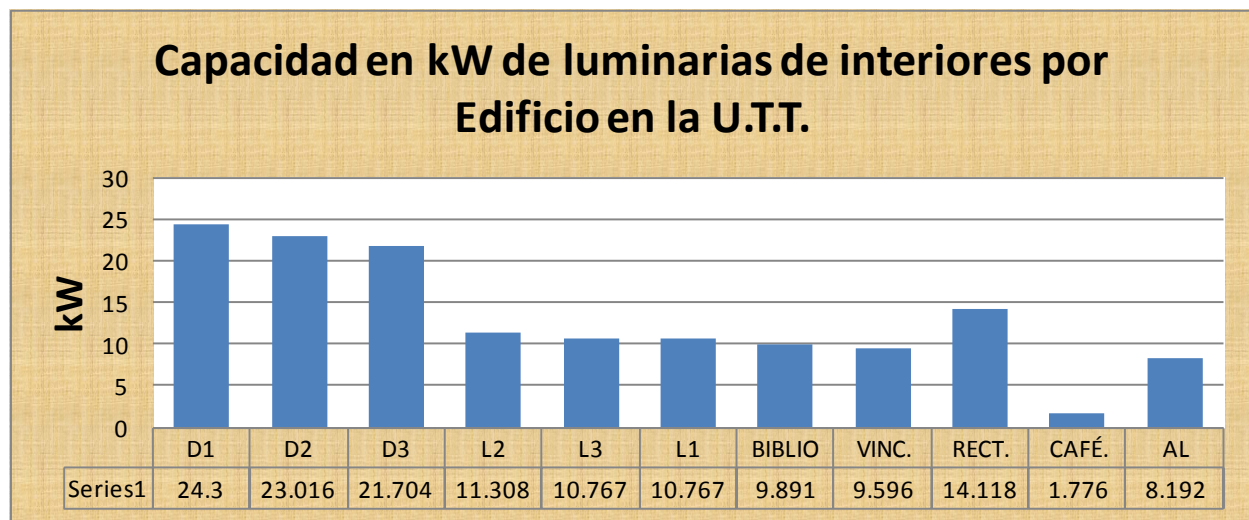


Figura 56 Capacidad instalada en kW de luminarias de interiores por edificio en la UTT

Fuente: Propia

Donde:

D1, D2, D3: Son los edificios de Docencia 1, 2 y 3 respectivamente

L1, L2, L3: Son los Laboratorios Pesados 1, 2 y 3 respectivamente

BIBLIO: Biblioteca

VINC.: Vinculación
RECT.: Rectoría
CAFÉ.: Cafetería
AL: Aulas Ligeras

Como se puede apreciar, los edificios de Docencias son los que tienen la mayor capacidad instalada en iluminación de interiores con valores entre los 20 y 25kW. Le sigue Rectoría con 14kW, luego los laboratorios pesados con 10 y 11kW. Los demás (Biblioteca, Vinculación, Cafetería y Aulas Ligeras) tienen menos de 10kW en iluminación de interiores cada uno.

El siguiente paso, es hacer la memoria de cálculo para estimar el gasto aproximado actual por consumo eléctrico en luminarias de interiores. Para ello, se calcula primero el número de horas de uso por cada tipo de luminaria. Sin embargo, esto tiene que ver con el edificio en cuestión, ya que en dos de los edificios se tiene oficinas administrativas, que son Rectoría y Vinculación, los cuales van a tener un horario de 9:00 a 18:00 horas. El resto de los edificios son relacionados con la docencia e impartición de clases, por lo que tienen un horario amplio de 7:00 a 22:30 horas debido a los dos turnos, matutino y vespertino. Basado en estos horarios, se hizo el cálculo de las horas de uso al año como se muestra en la tabla 13. En el cálculo de horas al año se usó 48 semanas para los edificios relacionados con la docencia y 50 semanas para los administrativos, ya que estos últimos en veces trabajan en vacaciones.

Tabla 13 Calculo de horas de uso anual basado en los horarios de trabajo.

	Horario	Hrs. diario	Hrs./seman	Hrs/año
D1~D3, L1~L3, AL, BIBLIOT., CAFET.	7:00-22:30	15.5	77.5	3720
RECTORIA, VINCULACION	9:00-18:00	9	45	2250

Por otro lado hay cierto tipo de luminarias que se usan tanto en oficinas como en aulas. Estas son principalmente tubulares T8 (2xF32 T8 y 3xF32 T8) y las fluorescentes compactas de 23W. Por lo que habría que hacer cálculos separados para el uso en horas en estos casos. Sin embargo, las 2xF32 T8 son minoría en las oficinas, pues solo hay 18 en Rectoría y el resto (348) están en docencias y biblioteca, por lo que solo se harán dos cálculos, uno para la 3xF32 T8 y otro para la fluorescente compacta. Esto para cada uno de los dos horarios. Mientras que la 2xF32 T8 se considerará el tiempo de uso de aulas por ser mayoría.

De acuerdo con el cálculo de horas de la tabla 13, se hace primero el cálculo para 3xF32 T8: Son 547 luminarias en total, de las cuales, 346 son en Docencias y 201 en oficinas. Para el cálculo de los kW se multiplica el número de lámparas por luminaria, que en este caso es 3, por el número de luminarias totales por la potencia nominal de la lámpara que en este caso es de 32W y se agrega un 5% por consumo del Balastro electrónico. Por lo que el cálculo del consumo en kWh queda como se muestra en la tabla 14:

Tabla 14 Cálculo kWh anual de luminaria 3xF32 T8

	3 x F32 T8 (2X4ft)	
	Docencias	Oficinas
hrs.	3720	2250
luminarias	346	201
kW	34.9	20.3
kWh	129,741.7	45,586.8
Total kWh	175,328.50	

Por otro lado, para las luminarias fluorescentes compactas de 23W se tienen 429 luminarias en total, de las cuales, 255 están en docencias y 174 en oficinas. El cálculo se hace igual que el anterior, solo que aquí es una lámpara por luminaria y son de 23W. El cálculo por consumo se muestra en la tabla 15.

Tabla 15 Cálculo de kWh anual para luminaria fluorescente compacta de 23W

	SPOT 23W PL	
	Docencias	Oficinas
hrs.	3720	2250
luminarias	255	174
kW	6.2	4.2
kWh	22908.7	9454.7
Total kWh	32,363.4	

Ahora se completa el cálculo para las demás luminarias incluyendo los valores de consumo ya calculados para las luminarias anteriores. Para este cálculo, se utiliza el precio medio del kWh ya calculado en la sección 3.1 y

graficado en la figura 25 que es de \$1.64 pesos el kWh. El cálculo global se muestra en la tabla 16.

Tabla 16 Costo por consumo eléctrico de iluminación de interiores en la UTT

TIPO DE LAMPARA	CANTIDAD	Focos/Lamp	Watt/foco	%Balastro	kW	Hrs/año	kWh	\$/kWh	Costo \$
2 X F32 T8 (2X4ft)	366	2	32	5%	24.595	3720	91494	1.64	\$ 150,050.40
2 X F32 T8 (2X2ft)	338	2	32	5%	22.714	3720	84495	1.64	\$ 138,571.13
3 X F32 T8 (2X4ft)	547	3	32	5%	55.138	3720/2250	175328	1.64	\$ 287,538.73
4 X F32 T8 (2X4ft)	40	4	32	5%	5.376	3720	19999	1.64	\$ 32,797.90
2 x 40 T12 (2X4ft)	66	2	40	20%	6.336	3720	23570	1.64	\$ 38,654.67
Incandescente 100W	8	1	100	0%	0.800	3720	2976	1.64	\$ 4,880.64
Spot 23W PL	429	1	23	5%	10.360	3720/2250	32363	1.64	\$ 53,076.00
HID 400W	67	1	400	20%	32.160	3720	119635	1.64	\$ 196,201.73
TOTAL					157.479		549,860		\$ 901,771.20

Como se puede ver, se estima que al año se pueden llegar a gastar hasta \$900k MXP por consumo de energía eléctrica debido a iluminación de interiores, asumiendo un uso al 100%. Como ya se vio al principio de este capítulo, el consumo anual total es de \$1.7 millones de pesos, por lo tanto, la iluminación de interiores representa uno de los principales contribuyentes del consumo eléctrico total anual, por lo que aquí hay un área de oportunidad para el ahorro de energía.

En base a esto, se van a proponer cambios en el tipo de luminarias usando ahora luminarias ahorradoras con tecnología LED. La propuesta es como sigue:

- Para sustituir las luminarias tipo T8 y T12 de 2 y 4 pies se propone los siguientes modelos con 5000K de temperatura de color:

LED T8–4 Pies, Tubo lineal, marca NEPTUN/20W, modelo LED88020-UNV850

LED T8–2 Pies, Tubo lineal, marca NEPTUN/10W, modelo LED88010-UNV850

Consulta en www.neptunlight.com , Ver figura 57



Figura 57 Lámpara LED T8 para sustitución de luminarias fluorescentes T8 y T12

Fuente: <http://www.neptunlight.com/productdetails/3/510/led-t8-4ft-linear-tube.html>

En las tablas 17 y 18 se puede apreciar las características de ambas propuestas. Se ha marcado en negritas los modelos propuestos.

Tabla 17 Características de luminarias tipo LED T8 lineal de 4 pies.

Modelo No.	Watts	Corriente (Ampere) @ 120 - 277	Factor de Potencia	THD	Color Temp. CCT (°K)	CRI	Lumen	Lm/W	Longitud Nominal (Pulg.)	Base	Angulo Haz de Luz
LED-88020-UNV-830	20	0.174-0.075	>0.90	<20%	3,000°	>80	1,900	95	48"	Bi-Pin	120°
LED-88020-UNV-835	20	0.174-0.075	>0.90	<20%	3,500°	>80	1,920	96	48"	Bi-Pin	120°
LED-88020-UNV-841	20	0.174-0.075	>0.90	<20%	4,100°	>80	1,940	97	48"	Bi-Pin	120°
LED-88020-UNV-850	20	0.174-0.075	>0.90	<20%	5,000°	>80	1,960	98	48"	Bi-Pin	120°
LED-88026-UNV-830	26	0.227-0.098	>0.90	<20%	3,000°	>80	2,470	95	48"	Bi-Pin	120°
LED-88026-UNV-835	26	0.227-0.098	>0.90	<20%	3,500°	>80	2,496	96	48"	Bi-Pin	120°
LED-88026-UNV-841	26	0.227-0.098	>0.90	<20%	4,100°	>80	2,522	97	48"	Bi-Pin	120°
LED-88026-UNV-850	26	0.227-0.098	>0.90	<20%	5,000°	>80	2,548	98	48"	Bi-Pin	120°

Fuente: <http://www.neptunlight.com/productdetails/3/510/led-t8-4ft-linear-tube.html>

Tabla 18 Características de luminarias tipo LED T8 lineal de 2 pies.

Modelo No.	Watts	Corriente (Ampere) @ 120 - 277	Factor de Potencia	THD	Color Temp. CCT (°K)	CRI	Lumen	Lm/W	Longitud Nominal (Pulg.)	Base	Angulo Luz
LED-88010-UNV-835	10	0.087-0.037	>0.90	<20%	3,500°	>80	950	95	24"	Bi-Pin	120°
LED-88010-UNV-841	10	0.087-0.037	>0.90	<20%	4,100°	>80	960	96	24"	Bi-Pin	120°
LED-88010-UNV-850	10	0.087-0.037	>0.90	<20%	5,000°	>80	970	97	24"	Bi-Pin	120°

Fuente: <http://www.neptunlight.com/productdetails/3/247/led-t8-2ft-linear-tube.html>

➤ Por otro lado, para sustituir tanto las luminarias fluorescentes compactas de 23W como las incandescentes de 100W se propone:
 Lámpara LED GU10 de 5W, marca ALITE, (Alite China LED Lights, 2002)
 Consulta en www.aliteled.com , ver figura 58.



Figura 58 Lámpara LED GU10-5W para sustitución de incandescentes y fluorescentes compactas

Fuente: www.aliteled.com

- Para sustituir las luminarias de alta intensidad de descarga HID de 400W de los laboratorios pesados se propone:

Lámpara LED15150-UNV de 150W, (NEPTUN LIGHT INC., 2013)

Consulta en www.neptunlight.com , ver figura 59.

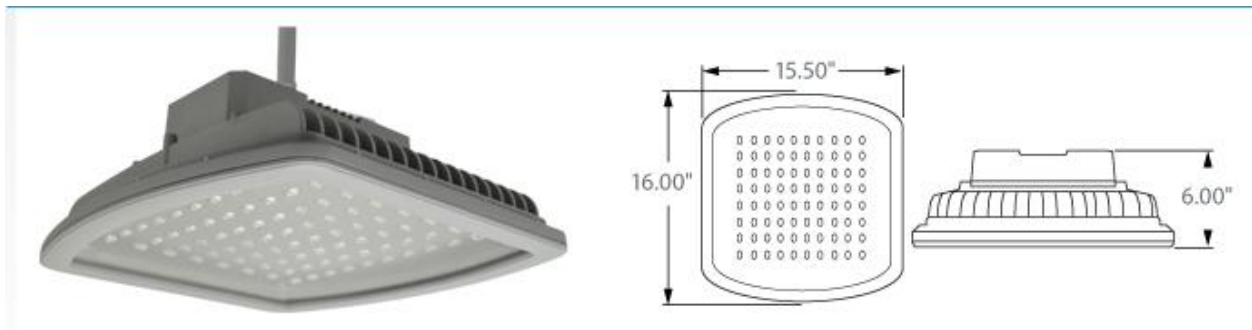


Figura 59 Lámpara LED para sustituir las HID de laboratorios pesados.

Fuente: www.neptunlight.com

Para determinar el ahorro, se hace primero la memoria de cálculo de costo por consumo eléctrico, usando las lámparas LED propuestas. El cálculo de horas es el mismo, solo cambia el tipo de lámpara, pero recordar que hay dos cálculos que se hacen por separado porque hay tipos de luminarias que existen tanto en edificios de docencias como en oficinas administrativas. Y como ya se vio, tienen horarios distintos. Usando las horas de uso ya calculadas anteriormente, tenemos el cálculo mostrado en la tabla 19.

Tabla 19 Cálculo consumo lámparas LED propuestas para docencias y Oficinas.

NEPTUN	3 x 20 LED (2X4ft)		ALITE GU10	SPOT 5W LED	
	Docencias	Oficinas		Docencias	Oficinas
hrs.	3720	2250	hrs.	3720	2250
luminarias	346	201	luminarias	255	174
kW	20.76	12.06	kW	1.3	0.9
kWh	77227.2	27135	kWh	4743.0	1957.5
Total kWh	104,362.2		Total kWh	6700.5	

Completando el cálculo con las demás luminarias y usando nuevamente el precio medio del kWh de \$1.64 pesos ya calculado antes se tiene la memoria de cálculo mostrada en la tabla 20.

Tabla 20 Costo por iluminación de interiores con luminarias tipo LED.

TIPO DE LAMPARA	CANTIDAD	Focos/Lamp	Watt/foco	%Balastro	kW	Hrs/año	kWh	precio medio	
								\$/kWh	Costo \$
2 X 20 LED T8 (2X4ft)	366	2	20	0%	14.640	3720	54461	1.64	\$ 89,315.71
2 X 10 LED T8 (2X2ft)	338	2	10	0%	6.760	3720	25147	1.64	\$ 41,241.41
3 X 20 LED T8 (2X4ft)	547	3	20	0%	32.820	3720/2250	104362	1.64	\$ 171,154.01
4 X 20 LED T8 (2X4ft)	40	4	20	0%	3.200	3720	11904	1.64	\$ 19,522.56
2 x 20 LED T8 (2X4ft)	66	2	20	0%	2.640	3720	9821	1.64	\$ 16,106.11
Foco LED GU10 5W	8	1	5	0%	0.040	3720	149	1.64	\$ 244.03
Spot GU10 5W LED	429	1	5	0%	2.145	3720/2250	6701	1.64	\$ 10,988.82
LED15150-UNV	67	1	150	0%	10.050	3720	37386	1.64	\$ 61,313.04
TOTAL					72.295		249,930		\$ 409,885.69

Como se puede observar de la memoria de cálculo mostrada en la tabla 20, con las luminarias tipo LED para interiores en toda la universidad se tiene un gasto anual de \$409,885.69 pesos, esto representa menos de la mitad del gasto con la iluminación actual que rebasa los \$900 mil pesos anuales. De manera que los ahorros vienen siendo como marca la tabla 21.

Tabla 21 Ahorro anual de energía usando luminarias de interiores tipo LED.

	kWh	\$ PESOS	%
CONSUMO ACTUAL	549,860	901,771.20	
PROPUESTO	249,930	409,885.69	
AHORRO	299,930	\$ 491,885.51	55%

El ahorro en energía eléctrica debido a iluminación de interiores sería del 55% si se usan las luminarias tipo LED propuestas. Por otro lado, para

determinar el tiempo de retorno de la inversión, se hace primeramente el cálculo de la inversión, el cual incluye mano de obra por remoción e instalación de luminarias nuevas más el costo de las mismas, teniendo un solo precio unitario por tipo de luminaria que incluye cada uno de estos rubros. La memoria de cálculo para el costo de la inversión es como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22 Cálculo de la Inversión de luminarias de interiores tipo LED para la UTT

TIPO DE LAMPARA	CANTIDAD	Focos/Lamp	Precio Unit	TOTAL
2 X 20 LED T8 (2X4ft)	366	2	\$650	\$475,800
2 X 10 LED T8 (2X2ft)	338	2	\$650	\$439,400
3 X 20 LED T8 (2X4ft)	547	3	\$650	\$1,066,650
4 X 20 LED T8 (2X4ft)	40	4	\$650	\$104,000
2 x 20 LED T8 (2X4ft)	66	2	\$650	\$85,800
Foco LED GU10 5W	8	1	\$560	\$4,480
Spot GU10 5W LED	429	1	\$460	\$197,340
LED15150-UNV	67	1	\$3,000	\$201,000
				\$2,574,470

Las luminarias LED son más caras que las fluorescentes convencionales, y en este caso reemplazar todas las luminarias de interiores de la universidad cuesta un poco más de \$2.5 millones de pesos. El siguiente paso es ahora calcular el tiempo de retorno de la inversión, para ello se divide el costo de inversión entre los ahorros anuales en electricidad debido a las nuevas luminarias. El cálculo queda como muestra la tabla 23.

Tabla 23 Retorno de la inversión en luminarias tipo LED para interiores en la UTT

Ahorro de Energia kW	85
Ahorro de Energia kWh	299,930
Ahorro Economico \$	\$ 491,886
Porcentaje Ahorro	55%
INVERSION	\$2,574,470
ROI (Años)	5.23

Como se puede ver, la inversión se recuperaría en 5.23 años, por lo que es un proyecto rentable a mediano plazo. Para saber si este proyecto es viable, se calcula también el tiempo de vida del proyecto considerando la vida útil de las lámparas LED. De acuerdo a la hoja de datos técnicos de las

luminarias propuestas, las de LED T8 al igual que las de 150W marcan un tiempo de vida de 70,000 horas, mientras que los spots de 5W de LED marcan solo 50,000 horas de vida útil. Considerando el menor número de los dos (el peor caso) y dividiéndolo entre el número de horas anuales de uso, se puede obtener el tiempo de vida del proyecto en años. Considerando nuevamente el peor caso, se consideran las horas anuales de uso de los edificios relacionados con docencia e impartición de clases que son los que tienen un horario más amplio (7:00 a 22:30 horas) se tiene que al año se usan las luminarias de interiores 3720 horas. El cálculo queda como muestra la tabla 24.

Tabla 24 Cálculo de la vida útil del proyecto en años.

Vida Útil luminarias	50,000	hrs	Considerando la lámpara de menor vida útil
Horas de uso al año	3,720	hrs	Considerando horario de Docencias 7:00-22:30
Años de Vida lámparas	13.44	años	

Como se puede ver del cálculo anterior, las luminarias propuestas tipo LED tendrán un tiempo de vida de 13.44 años asumiendo el peor de los casos. Es decir, el menor tiempo de vida de las 3 luminarias propuestas, y el máximo horas de uso que correspondería a edificios relacionados con la docencia e impartición de clases. De manera que se puede esperar más de este tiempo. Comparando ese tiempo con el tiempo de recuperación de la inversión calculado en la tabla 23, se ve que éste es de 5.23 años. De manera que el proyecto sí es viable, teniendo 5.23 años para recuperar la inversión, y el tiempo restante (8.21 años) solo para continuar recibiendo ahorros anuales por \$491,885.51 pesos (asumiendo mismo precio medio). Lo cual representa un ahorro total neto de todo el tiempo de vida del proyecto de más de cuatro millones de pesos ($8.21 \times 491,885.51 = \$ 4,038,380.04$).

3.5.2 Luminarias de exteriores actuales y propuesta de ahorro

Para el caso de la iluminación exterior, es menor el número de luminarias, ya que estas solo se encuentran en pasillos, áreas de uso común y sobre todo en los estacionamientos. Además de que todas son del mismo tipo: De alta intensidad de descarga DAI o HID en inglés y del sub-tipo de Vapor de sodio de alta presión o Haluros metálicos. Solo varía la potencia nominal. Por lo tanto el inventario queda como se ve en la tabla 25.

Tabla 25. Inventario luminarias de exteriores en la UTT

Tipo Luminaria	Potencia nominal Watts	Cantidad
VSAP o MH HID	150	12
VSAP o MH HID	250	44
VSAP o MH HID	400	7
VSAP o MH HID	1000	3

Para este caso se hicieron dos propuestas, una usando luminarias tipo LED y la otra usando luminarias de tipo Inducción magnética, ya que las primeras resultan más caras. De manera que se hicieron dos cálculos, uno para cada propuesta.

Primeramente se calcula el número de horas de uso. En este caso es más sencillo porque todas se usan el mismo tiempo por ser de exteriores. Solamente se saca un promedio entre invierno y verano, ya que en Tijuana las horas de noche cambian en estas dos temporadas del año. El cálculo es como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26 Cálculo de horas de uso al año de luminarias de exteriores en la UTT

	Hrs Noche	Comentario
INVIERNO	14	maximo
VERANO	10	minimo
PROMEDIO	12	
DIAS/Año	365	
Total Horas	4380	

Este número es ahora usado para el cálculo del costo de energía por iluminación con luminarias actuales de exteriores. Y nuevamente se usa el precio medio para el costo del kWh como en los casos anteriores. Se ha agregado un 20% de energía debido al balastro. El cálculo de dicho costo es como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27 Costo actual por consumo eléctrico en iluminación de exteriores

	Watts/Lamp	Cantidad	Watts	Balastro%	Total kW	Hrs uso/año	kWh	Precio Medio	Costo de la Energía.
VSAP HID	150	12	1800	20%	2.2	4380	9460.8	1.64	15,515.71
VSAP HID	250	44	11000	20%	13.2	4380	57816	1.64	94,818.24
VSAP HID	400	7	2800	20%	3.4	4380	14716.8	1.64	24,135.55
VSAP HID	1000	3	3000	20%	3.6	4380	15768	1.64	25,859.52
	1800	66			22.3		97,761.6		\$ 160,329.02

Como se puede ver, se tiene una capacidad instalada en iluminación de exteriores de 22.3kW, casi el equivalente a la iluminación de interiores de uno de los edificios de Docencia. Multiplicando por las horas de uso, se estima un consumo anual de 97,762kWh equivalentes a un costo anual de \$160 mil pesos por concepto de iluminación de exteriores con las luminarias actuales. El gasto económico por consumo eléctrico anual total de toda la universidad es de \$1.7 millones de pesos como ya se vio antes, por lo tanto, la iluminación de exteriores representa el **9.4%** del consumo eléctrico total. Este porcentaje muestra que la contribución al consumo energético total no es tan alto como en el caso de iluminación de interiores, mas sin embargo también existe un área de oportunidad para mejorar. Para lo cual, como ya se mencionó, se tienen dos propuestas, una usando iluminación tipo LED y la otra usando iluminación con lámparas de tipo inducción magnética. Se hará primero el cálculo para la primera propuesta con lámparas tipo LED.

- Primer propuesta: Usando lámparas tipo LED para exteriores

Lámpara ONILED modelo 2036 de 43W, marca ECOS

Lámpara ONILED modelo 2054 de 62W, marca ECOS

Consulta en www.grupoecos.com.mx/lighting/lamparas.html, ver figura 60.

(Energía, Control y Optimización de Sistemas, SA de CV, 2009)



Figura 60 Lámpara ONILED para reemplazo de luminarias HID de exteriores

Fuente: <http://grupoecos.com.mx/lighting/index.html>

La memoria de cálculo para el gasto por consumo eléctrico usando la lámpara tipo LED para exterior propuesta es como se muestra en la tabla 28. Se usa nuevamente el precio medio del kWh para su cálculo.

Tabla 28 Costo por consumo eléctrico en iluminación de exteriores usando LED

	Watts/Lamp	Cantidad	Watts	Balastro%	Total kW	Hrs uso/año	kWh	Precio Medio	Costo de la Energía.
ONILED 2036	43	12	516	0%	0.5	4380	2260.08	1.64	3,706.53
ONILED 2054	62	44	2728	0%	2.7	4380	11948.64	1.64	19,595.77
ONILED 2054	62	7	434	0%	0.4	4380	1900.92	1.64	3,117.51
ONILED 2054	62	12	744	0%	0.7	4380	3258.72	1.64	5,344.30
					4.4		19368.36		\$ 31,764.11

Como se puede apreciar, con la nueva propuesta de luminarias tipo LED se estima un gasto anual de \$31,764.11 pesos en iluminación de exteriores. Si se compara con el gasto actual (tabla 27), se tiene un ahorro del 80%. Este ahorro en dinero es como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29 Ahorro estimado con iluminación tipo LED para exteriores

	kWh	\$ PESOS	%
CONSUMO ACTUAL	97,762	160,329.02	
PROPUESTO	19,368	31,764.11	
AHORRO	78,393	\$ 128,564.91	80%

Esto es un ahorro de \$128 mil pesos cada año. Sin embargo aún hay que considerar el costo de la inversión y el tiempo de retorno de la inversión considerando mano de obra por remoción e instalación mas precio de la luminaria, los cuales se incluyen como un solo precio unitario en la memoria de cálculo mostrada en la tabla 30.

Tabla 30 Costo de la Inversión cambiando a luminarias tipo LED para exteriores.

TIPO DE LAMPARA	CANTIDAD	Focos por Lampara	Precio Unit	TOTAL
ONILED 2036	12	1	\$9,500	\$114,000
ONILED 2054	44	1	\$15,500	\$682,000
ONILED 2054	7	1	\$15,500	\$108,500
ONILED 2054	12	1	\$15,500	\$186,000
				\$1,090,500

Se puede apreciar que las luminarias tipo LED para exterior son aún más caras que las de su misma clase para interiores. La inversión total es de más de un millón de pesos como se puede ver en la tabla 30. Ahora se calcula el tiempo de retorno de la inversión como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31 Retorno de la Inversión con luminaria LED para exteriores.

Ahorro de Energia kW	18
Ahorro de Energia kWh	78,393
Ahorro Economico \$	\$ 128,565
Porcentaje Ahorro	80%
INVERSION	\$1,090,500
ROI (Años)	8.48

Como se puede apreciar, debido al alto costo de estas luminarias, se ve que el tiempo de recuperación de la inversión es un poco alto, es decir, casi ocho años y medio. Por lo tanto, para saber si este proyecto es viable, se calcula nuevamente el tiempo de vida del proyecto considerando la vida útil de las lámparas LED de exteriores. De acuerdo a la hoja de datos técnicos de las luminarias propuestas, estas tienen un tiempo de vida de 50,000 horas, las cuales dividiéndolas entre el número de horas anuales de uso se puede obtener el tiempo de vida del proyecto en años. Se tiene de la tabla 26 que al año estas lámparas se usan 4380 horas. El cálculo queda entonces como se muestra en la tabla 32.

Tabla 32 Vida útil del Proyecto

Vida Útil luminarias	50,000	hrs
Horas de uso al año	4,380	hrs
Años de Vida lámparas	11.42	años

Comparando los 11.42 años de vida del proyecto con el tiempo de retorno de la inversión que es de 8.48 años, se ve que después de recuperar la inversión solo quedan 2.94 años, un poco menos de 3. Por lo que el proyecto sí es viable pero no muy rentable. Los ahorros netos serían $2.94 \times 128,565 = \$377,981$ pesos. Lo cual es poco en comparación con los 4 millones de ahorros netos en iluminación tipo LED para interiores. Por lo tanto se tiene una segunda propuesta que es usando lámparas de inducción magnética en lugar de LED.

- Segunda propuesta: Usar lámparas de inducción para exteriores

Lámpara ICETRON de 100, 150 y 200W, Marca SYLVANIA ICETRON

Consulta en:

<http://archive.constantcontact.com/fs145/1105140942297/archive/1110137547909.html>, (1st Source Lighting, 2011), ver figura 61.



Figura 61 Lámparas de inducción magnética para exteriores

Fuente: <http://www.1stsourcelight.com/>

La principal ventaja de este tipo de lámpara es su largo tiempo de vida (hasta 100,000 horas), incluso mayor que las de LED (50,000 a 70,000 horas). La memoria de cálculo usando este tipo de lámpara es como se muestra en la tabla 33.

Tabla 33 Cálculo con Luminarias de Inducción Magnética para Exteriores

	Watts/L amp	Cantidad	Watts	Balastro %	Total kW	Hrs uso/año	kWh	Precio Medio	Costo de la Energía.
ICETRON 100	100	12	1200	5%	1.3	4380	5518.8	1.64	9,050.83
ICETRON 150	150	44	6600	5%	6.9	4380	30353.4	1.64	49,779.58
ICETRON 150	150	7	1050	5%	1.1	4380	4828.95	1.64	7,919.48
ICETRON 200	200	12	2400	5%	2.5	4380	11037.6	1.64	18,101.66
					11.8		51738.75		\$ 84,851.55

La memoria de cálculo es básicamente la misma, solo cambian los watts por el nuevo tipo de lámpara. Y ahora se ve que el gasto anual es de \$84,851 pesos, ya no tan ahorrativo como las LED pero se siguen teniendo un ahorro del 47%. La memoria de cálculo del ahorro se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Ahorro estimado si se usa lámparas de inducción en lugar de HID.

	kWh	\$ PESOS	%
CONSUMO ACTUAL	97,762	160,329.02	
PROPUESTO	51,739	84,851.55	
AHORRO	46,023	\$ 75,477.47	47%

Esto es un ahorro de 46mil kWh, equivalente a \$75 mil pesos al año. Es menor que usando lámparas tipo LED, sin embargo aún hay que considerar el costo de la inversión y el tiempo de retorno de la inversión como en los casos anteriores y compararlo con el obtenido con la propuesta de luminarias LED. La memoria de cálculo del costo de la inversión se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Costo de la Inversión en lámparas de Inducción magnética.

TIPO DE LAMPARA	CANTIDAD	Focos/Lumin	Precio Unit	T O T A L
ICETRON 100	12	1	\$4,850	\$58,200
ICETRON 150	44	1	\$4,850	\$213,400
ICETRON 150	7	1	\$4,850	\$33,950
ICETRON 200	12	1	\$4,850	\$58,200
				\$363,750

Otra de las ventajas de este tipo de lámpara es que es más barata, se puede apreciar en el cálculo de la inversión anterior, solo \$363,750 pesos contra un millón de pesos si se usa tipo LED. El cálculo del retorno de inversión se muestra en la tabla 36.

Tabla 36 Tiempo de retorno de la inversión usando lámparas de Inducción

Ahorro de Energia kW	11
Ahorro de Energia kWh	46,023
Ahorro Economico \$	\$ 75,477
Porcentaje Ahorro	47%
INVERSION	\$363,750
ROI (Años)	4.82

Como era de esperarse, al tener un monto de inversión menor, se tiene también un tiempo de retorno de la inversión menor, que en este caso es de solo 4.82 años. En el cálculo para luminaria tipo LED este tiempo era poco más de 8 años.

Nuevamente para ver la viabilidad de esta propuesta, se hace ahora el cálculo del tiempo de vida del proyecto. Se tiene que para las lámparas de inducción magnética, el tiempo de vida es de 100,000 horas, las cuales dividiéndolas entre el número de horas anuales de uso se puede obtener el tiempo de vida del proyecto en años. Se tiene de la tabla 26 que al año las luminarias de exterior se usan 4380 horas. El cálculo queda entonces como se muestra en la tabla 37.

Tabla 37 Cálculo del tiempo de vida del proyecto.

Vida Útil luminarias	100,000	hrs
Horas de uso al año	4,380	hrs
Años de Vida lámparas	22.83	años

Como se puede ver, se tiene un largo tiempo de vida del proyecto. Si al tiempo de vida del proyecto se le restan los años de recuperación de la inversión que son 4.82, que quedan todavía 18 años de ahorros. Si se multiplica el ahorro anual por esos 18 años, se tiene un ahorro neto de más de un millón de pesos.

Por lo tanto, como conclusión, en base al ahorro neto, ya tomando en cuenta el tiempo de vida de los proyectos, es mucho más rentable la segunda propuesta, es decir, las lámparas de tipo inducción magnética para exterior dan un mayor ahorro a largo plazo que las de tipo LED. Por lo tanto, se recomienda usar lámparas de inducción magnética para el alumbrado exterior.

3.6 Equipos de aire acondicionado en aulas ligeras

Se realizó un inventario de los equipos de aire acondicionado en el área de aulas ligeras, ya que se ha demostrado que son estos los causantes de los arranques de corriente que llegan hasta los 120 Amperes. En la tabla 38 se muestra una lista de dichos equipos junto con su capacidad en BTU ("British Thermal Unit") y en toneladas de refrigeración (TR).

Tabla 38 Capacidad de aires acondicionados en aulas ligeras.

	<i>Ubicación</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>CAPACIDAD</i>		<i>Cantidad</i>	<i>TOTAL T.R.</i>
				<i>BTU/h</i>	<i>TR</i>		
1	Salones (Aulas)	TRANE	TTR036D100A0	36,000	3	8	24
2	Laboratorio ER	TRANE	TWK524X10EAB	24,000	2	1	2
3	Labo. MB, FQ	YORK	H2RA036S06E	36,000	3	4	12
4	Oficina Dirección	Carrier	50ZP-060-X-30	60,000	5	1	5
T O T A L						14	43

Se tienen en total 14 equipos de aire acondicionado, con una capacidad total de 43 toneladas de refrigeración (TR) equivalentes a 516,000 BTU/h o 151.22kW. Los equipos se encienden cerca del medio día y se mantienen encendidos en promedio hasta las 18:00 horas. Los de laboratorio tienen un uso menor ya que no siempre se hacen prácticas de laboratorio. Los de los salones se usan según los horarios de clases y ocupación de aulas. Por lo que su uso puede ser muy variado, además de que también va a depender de la temperatura ambiente. Pero analizando el peor caso, es decir, asumiendo que se usan todos los equipos de 12:00 a 18:00 horas, esto es, 6 horas diarias en días laborables, lo que equivale a 30hrs a la semana,

450hrs al cuatrimestre (15 semanas por cuatrimestre), y considerando que el verano dura 1.5 cuatrimestres se tiene un uso anual de 675 horas. Por lo tanto el cálculo de consumo de energía en aulas ligeras por motivo de aires acondicionados es de:

$$151.22\text{kW} * 675 \text{ hrs} = 102,074 \text{ kWh al año}$$

Considerando el precio medio (ver figura 25) de \$1.64 pesos por kWh se tiene un gasto anual de \$167,401 pesos. Esto solamente en el área de aulas ligeras, habría que considerar para toda la Universidad, ya que se cuenta con más de 150 equipos distribuidos en todo el campus universitario. Considerando que al año la UTT gasta \$1.7 millones de pesos en energía eléctrica, el consumo por aires acondicionados en el área de aulas ligeras representa solo el 9.8% del gasto total.

De todos modos, este cálculo fue asumiendo el peor caso, es decir, 100% de uso de todos los aires acondicionados en horarios laborables en toda la época de verano de 12:00 a 18:00 horas, por lo que el porcentaje real debe ser menor.

IV. CONCLUSIONES

En base a los resultados, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

4.1 Iluminación.

Como se pudo comprobar, la iluminación de interiores representa una de las cargas que más contribuye al consumo anual total de toda la universidad. También existe área de oportunidad de mejora en iluminación de exteriores, pero su contribución al total es menor.

Se pudo demostrar que se puede tener un ahorro económico anual del 55% al hacer un cambio de luminarias usando lámparas ahorradoras tipo LED para interiores con un tiempo de retorno de la inversión de 5.23 años y un ahorro del 47% al cambiar las luminarias de exteriores por luminarias de tipo inducción magnética con un tiempo de retorno de la inversión de 4.82 años. Teniendo así un ahorro neto total durante el tiempo total de vida de las nuevas luminarias (13.44 años) de más de 4 millones de pesos con las lámparas LED para interiores y de más de un millón de pesos para las luminarias de inducción magnética para exteriores durante los 22.83 años que dura su tiempo de vida.

4.2 Otras cargas por atender.

Se pudo ver que además de la iluminación, los aires acondicionados son el segundo tipo de carga que necesita atención. Ya que en Tijuana las temperaturas pueden llegar a alcanzar los 40°C en época de verano y por tanto el uso de aires acondicionados se eleva casi al 100% y considerando que se cuenta con más de 150 unidades en todo el campus, es en definitiva otra carga importante a atender.

4.3 Calidad de la energía

Por medio del diagnóstico energético y el uso del analizador de redes, se encontraron distorsiones armónicas fuera de la especificación que marca el estándar IEEE-519 solo de corriente y especialmente en la tercera y quinta armónica. Dicha distorsión es causada por el uso de cargas no lineales, que en el caso particular de la UTT, vienen siendo los balastros electrónicos de las luminarias T8, que es el principal tipo de luminaria utilizada para

interiores (figura 55), y por otro lado el equipo de cómputo, ya que se cuenta con varios laboratorios de informática en los diferentes edificios de docencias y laboratorios pesados. Lo que se propone para aminorar dicha distorsión armónica de corriente es implementar un filtro de potencia con frecuencia de corte para atenuar las armónicas tercera y quinta y como consecuencia, se disminuirá la distorsión armónica total THD.

V. RECOMENDACIONES

Según los resultados obtenidos se tienen las siguientes recomendaciones:

En cuanto a iluminación:

- Se recomienda hacer un programa de mantenimiento y limpieza a luminarias de interiores y exteriores, pues la suciedad puede reducir el nivel de iluminación y cambiar aquellas que ya no dan el nivel de iluminación requerido por la NOM-025-STPS.
- Se recomienda también hacer la evaluación de la iluminación de exteriores, sobre todo en los estacionamientos, utilizando un panel solar fotovoltaico por luminaria o por poste.
- Se recomienda también realizar un control de la demanda en iluminación instalando sensores de presencia para luminarias en pasillos y áreas de uso común. Esta acción puede dar ahorros extra en el consumo de la energía eléctrica.

En cuanto al desempeño de los transformadores, ya que se vio el sobredimensionamiento de los mismos, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda eliminar de tres a cinco transformadores y operar con tres de ellos (uno de 500kVA, el de 225kVA y el del 300kVA), o bien operar hasta con uno solo de 500kVA. Esto ayuda a no tener los transformadores operando en vacío y como consecuencia una mayor eficiencia en los mismos.
- El transformador principal de 500kVA que alimenta Docencia 1, Aulas ligeras y laboratorio pesado #1 mostró un desbalance de fases, por lo que aquí la recomendación es hacer un balance de cargas en cada una de las áreas que alimenta este transformador revisando qué cargas están conectadas a cada una de las fases.

En cuanto a los aires acondicionados:

- Para este problema se recomienda realizar un programa de mantenimiento a los equipos de aires acondicionados revisando las presiones, nivel de gas, que no existan fugas de refrigerante.
- Además se recomienda también realizar un control de la demanda para estos equipos evitando su consumo en el horario de punta que es el más caro.
- Se recomienda también revisar que no haya fugas de aire en las oficinas que son enfriadas por dichos equipos, esto con el fin de ser más eficientes y no desperdiciar energía.
- También se recomienda reajustar los termostatos de los aires acondicionados tres grados arriba, por ejemplo, en lugar de ponerlos a 22°C ponerlos a 25°C ya que esto reduce en un 13% el consumo de energía. (Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía Eléctrica, 2007)

Otras recomendaciones:

- También se recomienda realizar un análisis para mejorar el factor de potencia. Ya sea implementando un banco de capacitores o alguna otra acción de mejora.
- En cuanto a la distorsión de la forma de onda de corriente se recomienda hacer el diseño de un filtro que pueda reducir dicha distorsión, especialmente las armónicas 3ra y 5ta.

Bibliografía

1st Source Lighting. (2011). *1st Source Lighting*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.1stsourcelight.com/>

Alite China LED Lights. (2002). *ALITE*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.aliteled.com>

BIYEE SCITECH INC. (2013). *BIYEE SCITECH INC*. Recuperado el Junio de 2013, de www.biyee.net/color-science/cie-chromaticity-diagram/

Comisión Federal de Electricidad. (2013). *CFE*. Recuperado el Junio de 2013, de CFE: <http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx>

Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía Eléctrica. (Mayo de 2007). *CONAE*. Recuperado el 7 de Julio de 2013, de http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/2/Guia_hoteles.pdf

Econolux Industries Limited. (2011). *Econolux*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.econoluxindustries.com/>

EDUCARCHILE. (2012). *EDUCARCHILE*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://beta.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=95200>

Energía, Control y Optimización de Sistemas, SA de CV. (2009). *ECOS INNOVATION, "Innovación rentable para el Desarrollo Sustentable"*. Recuperado el Junio de 2013, de www.grupoecos.com.mx

Gestión de Color. (10 de Enero de 2012). *Gestión de Color*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.gestiondecolor.com/blog/i/33781/128/impresion-de-oled>

Harper, E. (2005). *Manual practico de alumbrado*. Mexico: Limusa, grupo Noriega Editores.

John P. Frier, M. E. (1993). *Sistemas de Iluminacion Industriales*. Mexico: Limusa, grupo Noriega editores.

LUMINOTECNIA. (s.f.). Obtenido de www.tuveras.com/luminotecnia/magnitudes.htm

MAXIM INTEGRATED. (2013). *MAXIM INTEGRATED*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/1883>

NEPTUN LIGHT INC. (2013). *Neptune*. Recuperado el Junio de 2013, de www.neptunlight.com

OSRAM. (2013). *OSRAM*. Recuperado el Junio de 2013, de http://www.osram.es/osram_es/

PEMEX. (2012). *PEMEX Relación con inversionistas*. Recuperado el Mayo de 2013, de www.ri.pemex.com

Robert L. Boylestad, L. N. (2009). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*. México, D.F.: Prentice Hall, Pearson Educación.

Roger C. Dugan, M. F. (2004). *Electrical Power Systems Quality*. Mc Graw Hill.

SENER. (2013). *SENER*. Recuperado el Mayo de 2013, de SENER: www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf

SENER. (s.f.). *Sistema de Información Energética*. Recuperado el Mayo de 2013, de sie.energia.gob.mx

STPS. (30 de Diciembre de 2008). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el Junio de 2013, de Secretaría del Trabajo y Previsión Social: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-025.pdf>

Velasco, I. J. (2003). *Ahorro de Energia Electrica, Implementacion metodologica*. Mexico, D.F.: Grupo editorial Exodo.

Yuan, H. (2009). *Innovación Lider*. Recuperado el Junio de 2013, de <http://www.lvd.cc/es/history/4.html>