



**BUAP**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**PROPUESTA DE REESTRUCTURACIÓN ENERGÉTICA  
PARA EL LABORATORIO INTEGRAL DE LA FACULTAD  
DE INGENIERÍA DE LA BUAP**

**TESIS**

Que para obtener el grado de  
**MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presenta:

**ING. FRANCISCO ROJAS COSME**

Asesores de tesis:

**DRA. MARGARITA TEUTLI LEÓN  
M.I. GENARO CAMPOS CASTILLO**

Puebla, Pue.

Agosto 2016

# ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	5
Objetivo General	6
Objetivos Particulares	6
CAPÍTULO 2	
ANTECEDENTES	7
El sector eléctrico mexicano	9
Autoabastecimiento	9
Cogeneración	9
Producción independiente	10
Pequeña producción	10
Exportación	10
Capacidad total instalada en México	11
Composición de la atmosfera	14
Capas de la atmósfera	15
Emisiones a la atmosfera	16
Definición de Contaminante	16
Clasificación de los contaminantes atmosféricos	16
Definición de Energía	19
Explotación de la energía	20
Servicio de energía por parte del suministrador	21
Regiones Tarifarias y Zonas Conurbadas	21
Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica	23
Conceptos de una factura eléctrica para una tarifa horaria	26
Energía	26
Demanda	27
Demanda Máxima	27
Demanda Facturable	27
KVARh	27
Factor de potencia	28
Cargos por uso de la energía	29
Cargo por Consumo de Energía	30
Cargo por Demanda	30
Cargo por Factor de Potencia	31
Cargo por Medición en Baja Tensión	31
Derecho de Alumbrado Público	31

Illuminación Industrial	32
Definiciones y conceptos básicos de iluminación	32
Lux y lumen	33
Intensidad luminosa	34
Luminancia o brillantez	34
Eficiencia luminosa	35
Fuentes luminosas	35
Lámparas incandescentes	37
Lámparas de descarga en gas	37
Lámparas fluorescentes	37
Temperatura de color	37
Consumo de energía eléctrica por iluminación	38
Deficiencias eléctricas al interior de un edificio	40
CAPÍTULO 3	
DIAGNÓSTICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	43
Metodología de Diagnóstico Energético	43
Información contenida en los formatos	47
Información general	47
Equipo de iluminación instalado	48
Interacción con Equipo Adicional	49
Administración de la energía en iluminación	49
Auditoria al sistema de iluminación	49
Identificación de opciones para un uso óptimo de la iluminación	50
Realización de un programa para el uso óptimo de la iluminación	50
Implementación del plan de acción	50
Monitoreo de los resultados y actualización de datos	51
Uso de formatos en las auditorias energéticas a sistemas de iluminación	51
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS	53
Desarrollo de metodología de diagnóstico energético del laboratorio integral	54
Recopilación de información y antecedentes de la situación	54
Recopilación de datos de equipos y	55

mediciones in-situ	
Procesamiento y análisis de la información	60
Determinación de la situación existente	62
Establecimiento de alternativas	
Simulación de propuestas, pruebas eléctricas y fotométricas	64
Emisiones a la atmosfera del Laboratorio Integral	75
Monitoreo de energía eléctrica	76
Instalación de equipos de medición	77
Configuración del sistema de administración de energía Opti-dmaX	80
Demandas y Consumos de la Facultad de Ingeniería	83
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>90</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES**

## INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años se llevan a cabo proyectos de ahorro de energía de los que se obtienen resultados exitosos al aplicar metodologías que integran diversas acciones para el mejoramiento de las condiciones eléctricas y las prácticas en los procesos de producción o labores cotidianas. Estas metodologías incluyen desde el diagnóstico eléctrico hasta la implementación de las propuestas de mejora, siendo esto, el producto de una búsqueda incesante por el ahorro de energía por parte del sector industrial, comercial y de manera más reciente el sector habitacional.

Cuando en un inmueble se pretende desarrollar programas para el uso eficiente de energía eléctrica y el ahorro de la misma, el principal problema que se presenta es la falta de información en lo concerniente a la instalación eléctrica, el no contar con diagramas unifilares o que estos no estén actualizados, levantamiento de equipo eléctrico y mobiliario, bitácoras de modificaciones o mantenimientos y el nulo seguimiento al consumo de energía eléctrica son solo algunos.

El contar con un diagrama unifilar o un plano eléctrico ayuda a emplear técnicas para el análisis de circuitos, ubicando puntos factibles de medición y monitoreo, permitiendo que se obtenga el comportamiento eléctrico de variables que precisan la carga eléctrica demandada en cada tablero de distribución o en cada transformador.

Un plano arquitectónico actualizado del lugar, permite tomar decisiones prontas y tener colaboraciones a distancia, evitando en muchos de los casos invertir tiempo en traslados innecesarios, mediciones de alturas, distancias y ubicación de mobiliario para mantenimientos o reubicaciones.

Las bitácoras son de gran utilidad para conocer el nivel de conservación o deterioro de equipos y conductores eléctricos, sistemas de protección, transformadores o bien, el registro de disminuciones o ampliaciones al sistema eléctrico.

La poca o nula información respecto al registro de consumo de energéticos o en su defecto el registro de la facturación, impide el conocer y pronosticar el comportamiento del lugar de estudio, por lo que se complica la proyección de escenarios a futuro para el mejoramiento de las condiciones actuales del lugar.

Todo lo anterior se integra en un diagnóstico energético, del cual se desprenden propuestas de mejora técnico-económicas, brindando la posibilidad de realizar las mismas actividades productivas o académicas con un menor consumo de energía eléctrica y trabajando bajo un esquema de uso eficiente de energía eléctrica,

disminuyendo los recursos necesarios para producirla y por ende, disminuyendo la cantidad de emisiones a la atmosfera.

Aunque los problemas y por tanto las soluciones son particulares para cada unidad, muchos de los problemas antes citados se repiten de manera frecuente.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Disminuir la emisión de contaminantes a la atmosfera generados por el consumo de energía eléctrica del Laboratorio Integral de la Facultad de Ingeniería de la BUAP mediante la optimización del sistema de iluminación y la implementación de paneles fotovoltaicos, lo que permite tener un uso eficiente de la energía eléctrica.

### **1.1.2 Objetivos Particulares**

- Con la Integración de un grupo multidisciplinario de alumnos de Ingeniería Eléctrica se desarrollaron las siguientes actividades para el Laboratorio Integral:
  - Obtener el diagrama unifilar
  - Realizar el plano arquitectónico cada laboratorio al interior.
  - Ubicar en el plano arquitectónico el mobiliario en cada laboratorio
  - Ubicar en el plano arquitectónico las luminarias de cada laboratorio indicando el tipo y altura de montaje
- Elaborar propuesta para reducir el consumo de energía eléctrica a través de esquemas de control de alumbrado y la concientización de los ahorros de energía eléctrica a los usuarios de cada laboratorio

Por lo anterior en esta tesis se propone hacer el diagnóstico energético del laboratorio integral.

**CAPITULO 2**  
**ANTECEDENTES**

Con motivo de la nacionalización de la industria eléctrica en México, en diciembre de 1960 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación las reformas al artículo 27 Constitucional que establecieron la exclusividad de la Nación de generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público, así como el principio de que en esa materia, no se otorgarían concesiones a los particulares.

Más tarde, en 1992 se efectuaron diversas reformas y adiciones a la normatividad en la materia la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, y en 1995 a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 en el Ramo de Petróleo, reformas que plantearon importantes modificaciones a la estructura industrial de los sectores de energía eléctrica y gas natural. Tales reformas abrieron la posibilidad de que el sector privado construyera, operara y tuviera en propiedad plantas de generación de energía eléctrica y sistemas de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural, actividades previamente reservadas de forma exclusiva a los operadores estatales; Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad.

Con motivo de la inserción legal de estas nuevas figuras, fue necesario que iniciara sus operaciones en 1994 un órgano regulatorio, la Comisión Reguladora de Energía, (CRE) instancia que, entre otras cosas, tiene atribuciones para definir el contexto en el que se desenvuelve la participación de los inversionistas privados que pretendan involucrarse en la generación de energía eléctrica.

El uso eficiente de energía eléctrica tiene un impacto tanto en emisiones a la atmosfera generadas por el uso habitual de un inmueble o planta industrial como en la facturación eléctrica.

Las emisiones a la atmosfera por el uso habitual del laboratorio integral se dan por el uso de energía eléctrica; esto no quiere decir que el laboratorio queme en sus instalaciones algún combustible para generar energía eléctrica para su uso habitual, mas bien, lo que se trata de explicar es que la compañía suministradora en la mayoría de sus plantas termoeléctricas quema combustible para cubrir las necesidades de demanda de energía eléctrica que hace el laboratorio integral y todos los usuarios sin importar la tarifa en la cual estén conectados.

## **2.1 El sector eléctrico mexicano**

Conforme a lo establecido en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. La Comisión Federal de Electricidad (CFE), es la empresa estatal encargada del suministro de la energía eléctrica a los clientes del servicio público, empleando para ello el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y, cobrando por su servicio una tarifa regulada.

Con el objetivo de incentivar la participación del sector privado en la expansión del sistema eléctrico, en 1992 el Congreso de la Unión modificó la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), incorporando las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración, productor independiente, pequeña producción y exportación e importación de energía eléctrica; conceptos que a continuación se describen.

### **2.1.1 Autoabastecimiento**

Art. 36 fracción I LSPEE; Art. 101 siguientes RLSPEE

Es la generación de energía eléctrica para fines de autoconsumo siempre y cuando dicha energía se destine a satisfacer las necesidades de personas físicas o morales y no resulte inconveniente para el país.

### **2.1.2 Cogeneración**

Art. 36 fracción II LSPEE; Art. 77, 103 -106 RLSPEE

- Es la producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas;
- Es la producción directa e indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate
- Es la producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.

Para esta modalidad es necesario que la electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados a la cogeneración, entendidos por tales, los de las personas físicas o morales que:

- Utilizan o producen el vapor, la energía térmica o los combustibles que dan lugar a los procesos base de la cogeneración, o;
- Sean copropietarios de las instalaciones o miembros de la sociedad constituida para realizar el proyecto.

### **2.1.3 Producción independiente**

Art. 36 fracción III LSPEE, Art. 108 – 110 RLSPEE

Es la generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor de 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la CFE o a la exportación.

### **2.1.4 Pequeña producción**

Art. 36 fracción IV LSPEE, Art. 111 -115 RLSPEE

Es la generación de energía eléctrica destinada a:

- La venta a CFE de la totalidad de la electricidad generada, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor de 30 MW en un área determinada.
- El autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW.
- La exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.

### **2.1.5 Exportación**

Art. 36 fracción V LSPEE, Art. 116-119 RLSPEE

Es la generación de energía eléctrica para destinarse a la exportación a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos. Los permisionarios en esta modalidad no pueden enajenar dentro del territorio nacional la energía eléctrica generada, salvo que obtengan permiso de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para realizar dicha actividad en la modalidad de que se trate.

### **2.1.6 Importación**

Art. 36 fracción V, Art. 3 fracciones III y IV de la LSPEE; Art. 120 siguientes del RLSPEE

Es la adquisición de energía eléctrica que proviene de plantas generadoras establecidas en el extranjero mediante actos jurídicos celebrados directamente entre el abastecedor de la energía eléctrica y el consumidor de la misma.

## 2.2 Capacidad total instalada en México

Hasta Noviembre de 2012 la capacidad total instalada (servicio público y sector privado) para la generación de energía eléctrica en México es de 52,795 MW. La mayor parte es aportada por plantas termoeléctricas con un total de 43,231 MW con un 71% del total.

En la Tabla 1.1 se muestra la generación bruta de energía eléctrica a nivel nacional de 1999 a 2011, mientras que en la Tabla 1.2 se muestra la generación bruta en el año 2012.

Años	Hidro eléctrica	Termo eléctrica	Ciclo Combinado		Duales	Carbo eléctrica	Nucleo eléctrica	Geotermo eléctrica	Eoloeléctrica		Foto voltaica	Total
			CFE	PEE's					CFE	PEE's		
1999	32,712	87,562	15,526	n.a.	11,234	18,251	10,002	5,623	6	0		180,916
2000	33,075	95,539	16,417	1,295	13,569	18,696	8,221	5,901	8	0		192,721
2001	28,435	96,317	20,789	4,590	14,109	18,567	8,726	5,567	7	0		197,106
2002	24,862	86,273	22,193	21,852	13,879	16,152	9,747	5,398	7	0		200,362
2003	19,753	81,427	22,437	31,645	13,859	16,681	10,502	6,282	5	0		202,590
2004	25,076	69,715	24,797	45,855	7,915	17,883	9,194	6,577	6	0		207,019
2005	27,611	67,215	26,011	45,559	14,275	18,380	10,805	7,299	5	0		217,160
2006	30,305	54,312	30,120	59,428	13,875	17,931	10,866	6,685	45	0		223,568
2007	27,042	53,287	30,067	70,982	13,375	18,101	10,421	7,404	248	0		230,927
2008	38,892	47,362	31,824	74,232	6,883	17,789	9,804	7,056	255	0		234,096
2009	26,445	48,322	35,533	76,496	12,299	16,886	10,501	6,740	249	0		233,472
2010	36,738	45,208	36,376	78,457	15,578	16,485	5,879	6,618	166	0		241,506
2011	35,796	53,126	34,449	84,006	15,396	18,158	10,089	6,507	106	252		257,884

Tabla 1.1 Generación de Energía Eléctrica a nivel nacional 1999-2011

Mes	Hidroeléctrica		Termoeléctrica		Ciclo Combinado		Duales		Carboeléctrica		Nucleoeléctrica		Geotermoeléctrica		Eoloeléctrica		Fotovoltaica	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Ene	2,540	2,427	3,105	3,891	9,402	9,793	1,748	1,100	1,421	1,255	509	726	572	536	11	137	0.0	0.0
Feb	2,413	2,308	3,103	3,423	8,704	9,368	1,249	1,071	1,384	1,326	733	786	510	490	8	153	0.0	0.0
Mar	2,526	2,534	4,137	4,608	10,122	9,799	1,417	1,304	1,600	1,388	856	1,176	540	496	12	144	0.0	0.0
Abr	2,625	2,653	4,890	5,182	9,670	8,747	1,445	1,339	1,483	1,525	715	1,143	505	462	6	103	0.0	0.0
May	2,822	3,212	5,714	6,235	10,204	9,721	1,453	1,403	1,570	1,533	886	1,138	575	480	5	87	0.0	0.3
Jun	2,704	2,843	5,936	6,019	10,388	10,420	1,448	1,370	1,715	1,709	718	1,056	561	491	6	27	0.0	0.2
Jul	3,102	2,529	4,861	5,845	10,932	10,428	1,196	1,286	1,734	1,702	1,015	960	571	498	8	209	0.0	0.2
Ago	3,855	3,696	5,276	6,182	10,818	10,652	1,057	1,248	1,788	1,786	1,043	325	565	487	5	72	0.0	0.2
Sep	4,329	2,948	4,504	5,729	9,842	9,957	889	1,621	1,518	1,616	997	68	533	450	11	134	0.0	0.0
Oct	3,466	2,622	4,582	5,588	9,496	9,644	1,099	1,734	1,445	1,491	883	213	534	465	34	222	0.0	0.2
Nov	2,880	1,638	3,968	4,654	8,988	9,307	1,269	1,483	1,271	1,234	683	504	515	466	85	282	0.0	0.1
Dic	2,535		3,048		9,889		1,128		1,231		1,051		527		167		0.0	

Tabla 1.2 Generación de Energía Eléctrica a nivel nacional 2011-2012

La generación de energía eléctrica por plantas termoeléctricas deriva en el consumo de combustibles como combustóleo, diesel, carbón y gas natural. En la Tabla 1.3 se muestra el consumo para cada uno de los combustibles mencionados de 1999 a 2011.

Año	Combustóleo (Miles de Barriles)	Diesel (Miles de Barriles)	Carbón (Miles de Toneladas)	Gas Natural (Millones de Pies <sup>3</sup> )
1999	133,900	2,851	9,468	269,388
2000	144,017	4,087	9,630	322,058
2001	138,072	2,845	11,398	366,791
2002	118,818	2,262	12,179	350,657
2003	102,637	4,151	13,881	335,592
2004	95,919	2,362	11,489	310,857
2005	94,255	2,185	14,917	281,928
2006	75,668	2,354	14,697	307,520
2007	71,998	1,356	14,762	321,113
2008	66,781	1,697	10,837	345,593
2009	60,826	2,553	13,682	370,387
2010	57,170	2,402	14,694	378,229
2011	64,564	2,964	15,521	390,854

Tabla 1.3 Consumo de combustibles para generación de energía eléctrica de 1999 al 2011

En la Tabla 1.4 se muestra consumo de combustibles para generación de energía eléctrica de Enero de 2011 a Noviembre de 2012

Mes	Combustóleo (Miles de Barriles)		Diesel (Miles de Barriles)		Carbón (Miles de Toneladas)		Gas Natural (Millones de Pies <sup>3</sup> )	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Enero	3,489	4,882	151	80	1,415	1,070	30,919	31,721
Febrero	3,565	4,370	182	177	1,215	1,083	27,116	28,158
Marzo	4,907	5,374	86	223	1,373	1,204	33,184	32,332
Abril	6,029	6,142	79	192	1,300	1,313	31,463	29,483
Mayo	6,919	6,899	243	417	1,386	1,337	37,117	36,590
Junio	7,287	7,193	317	519	1,474	1,435	35,463	39,279
Julio	5,898	6,828	384	429	1,400	1,424	37,915	38,984
Agosto	6,312	7,410	356	630	1,383	1,421	37,667	41,779
Septiembre	5,624	6,861	388	517	1,155	1,493	32,091	40,035
Octubre	5,687	6,757	375	570	1,201	1,429	30,038	34,286
Noviembre	4,954	5,668	181	384	1,145	1,193	29,255	33,699
Diciembre	3,893		221		1,074		28,626	

Tabla 1.4 Consumo de combustibles para generación de energía eléctrica de Enero de 2011 a Noviembre de 2012

En la industria petrolera, un barril equivale a 158.98 litros de su contenido.

En México, actualmente se llevan a cabo diversos programas para incentivar el ahorro y uso racional de la energía eléctrica. Dichos programas son promovidos por diversos organismos federales y privados. En el sector federal es la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), mientras que en el sector privado se tiene a compañías dedicadas a la optimización de procesos, ahorro, calidad y monitoreo de energía.

Tanto el sector privado como el federal persiguen un mismo objetivo, obtener ahorros de energía eléctrica, teniendo como resultados principales:

- La conservación de los recursos energéticos primarios
- Evitar el incremento de la capacidad instalada en los edificios objetos del estudio
- Obtener remuneraciones económicas por el uso eficiente de la energía eléctrica
- Reducir la emisión de contaminantes a la atmosfera producidas por la generación de energía eléctrica

Para lograr los beneficios que ofrece el ahorro de energía eléctrica, ha sido necesario desarrollar metodologías que permitan identificar las áreas de oportunidad a través de la ejecución de diagnósticos energéticos.

La integración de las siguientes acciones en el diagnostico energético permitirá realizar propuestas adecuadas

- Monitoreo del comportamiento eléctrico
- Iluminación,
- Control de demanda
- Factor de potencia
- Calidad de la energía

La metodología para la iluminación en inmuebles se ejecuta bajo la coordinación de la empresa consultora y los operadores del inmueble a través del llenado de una serie de formatos que contienen la información del historial de facturación de energía eléctrica, información general del inmueble tales como horarios de operación, seccionamiento del edificio, censo de equipos de iluminación incluyendo su identificación de acuerdo a sus características técnicas, etc. Posteriormente, toda la información se evalúa y con los resultados obtenidos se proponen alternativas tecnológicas para conseguir un ahorro en el consumo de energía, sin dejar a un lado la densidad necesaria de potencia eléctrica por alumbrado ( $W/m^2$ ) mínima que debe cumplir el inmueble según lo establecido por la norma y para lo cual está destinado.

En lo concerniente a la metodología para el control o disminución de demanda, ésta opera bajo el mismo esquema que el de iluminación, en conjunto con la empresa consultora y los operadores del inmueble y, está dirigida principalmente a usuarios con servicios contratados en una tarifa ordinaria (OM) o aquellos que se encuentren en una tarifa horaria en Media Tensión (HM). Para los usuarios con tarifa HM, el control de demanda tiene como objetivo principal el disminuir el pico de demanda en el horario punta, bajo acciones como el bloqueo de equipos cuya operación es coincidente con dicho periodo, así como desplazamientos en los periodos de operación de los mismos.

La calidad de energía es el resultado de en la mayoría de las ocasiones se provocan por una inadecuada instalación de equipos y la integración de equipos electrónicos de alto consumo de energía.

Otro aspecto importante a mencionar, es la normatividad de eficiencia energética. La Secretaría de Energía ha emitido normas relacionadas con los criterios de eficiencia energética en edificios no residenciales; una de estas está relacionada con los sistemas de iluminación, la NOM-ENER-007, donde es evaluada la carga instalada de iluminación por unidad de área.

La NOM-ENER-007 tiene como finalidad establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología de la Nación mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos, por lo que la NOM-ENER-007 establece el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA).

### **2.3 Composición de la atmosfera**

La atmósfera de la Tierra está compuesta primordialmente por gases como nitrógeno (N<sub>2</sub>) en un 78%, oxígeno (O<sub>2</sub>) en un 21% y Argón (Ar) en un 1%; las abundancias de éstos son controladas en escalas de tiempo geológicas por la biosfera (donde encontramos vida), la captura y liberación de los materiales de la corteza y la desgasificación de su interior. El vapor de agua es el siguiente constituyente más abundante; este se encuentra principalmente en la atmósfera baja y su concentración es muy variable, alcanzando algunas hasta del 3%, siendo la evaporación y la precipitación las que controlan su abundancia. Los restantes constituyentes gaseosos, los gases traza, comprenden menos del 1% de la atmósfera. Estos gases juegan un papel decisivo en el balance de radiaciones de la Tierra y en las propiedades químicas de la atmósfera. Las cantidades de gases traza en nuestra atmósfera han cambiado rápida y marcadamente en los dos últimos siglos.

### 2.3.1 Capas de la atmósfera

En términos generales, la atmósfera se divide en regiones inferiores y superiores. La atmósfera inferior es generalmente considerada la que se extiende hasta la estratósfera a una altitud de 50 Km. Siendo la meteorología el estudio de la atmósfera inferior y aeronomía al estudio de la atmósfera superior.

La atmósfera de la Tierra se caracteriza por variaciones de temperatura y presión con la altura. De hecho, la variación del perfil de la temperatura promedio con la altitud es la base para distinguir las capas de la atmósfera, determinándose en las siguientes regiones:

- Tropósfera - Es la capa más baja de la atmósfera, extendiéndose de la superficie de la Tierra hasta la tropopausa, que está entre los 10 a 15 Km de altitud dependiendo de la latitud y fecha del año; se caracteriza por decremento de la temperatura con la altura y mezclado vertical rápido.
- Estratósfera. Se extiende de la tropopausa a la estratopausa (Aprox. 45 a 55 Km. de altitud); la temperatura se incrementa con la altitud, llegando a una capa con mezclado vertical lento.

En la figura 2.1 se muestran las diferentes capas que forman la atmosfera.

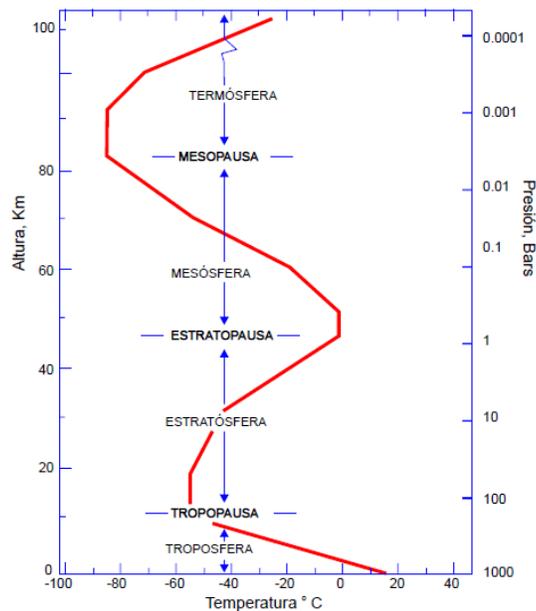


Fig. 2.1 Capas de la atmosfera

- Mesósfera. Se extiende de la estratopausa a la mesopausa (Aprox. 80 a 90 Km de altitud); la temperatura baja con la altitud a la mesopausa, que es el punto más frío en la atmósfera; mezclado vertical rápido.
- Termósfera. Es la región por encima de la mesopausa; caracterizada por altas temperaturas como resultado de la absorción de radiación de onda corta por  $N_2$  y  $O_2$ ; el mezclado vertical es rápido. La ionósfera es una región de la mesósfera superior y de la termósfera inferior donde se producen iones por foto ionización.
- Exósfera. Es la última región de la atmósfera (>500 Km de altitud) donde las moléculas gaseosas con suficiente energía pueden escapar del campo gravitacional de la Tierra.

### 2.3.2 Emisiones a la atmosfera

La atmósfera es el recipiente de muchos de los productos de nuestra sociedad tecnológica. Estos efluentes incluyen productos de la quema de combustibles fósiles y del desarrollo de nuevos químicos sintéticos. Históricamente estas emisiones llevan a consecuencias no previstas en la atmósfera.

### 2.3.3 Contaminante

Un contaminante es toda materia o sustancia, sus combinaciones o sus derivados químicos y biológicos, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos, desperdicios y cualquier otro agente, que al incorporarse o actuar en el ambiente puede modificar o alterar sus características naturales. De igual modo se considera como un contaminante a toda forma de energía, calor, radioactividad y ruido que alteren el estado natural del ambiente.

#### 2.3.3.1 Clasificación de los contaminantes atmosféricos

En la Figura 2.2 se muestra una síntesis del origen de los contaminantes atmosféricos.



Fig. 2.2 Orígenes de contaminantes atmosféricos

La contaminación según su origen se puede clasificar como Primarios, Secundarios, Antropogénicos y Criterio.

**2.3.3.1.1 Primarios.** Emitidos directamente ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{Pb}$ , compuestos orgánicos, partículas suspendidas)

**2.3.3.1.2 Secundarios.** Formados por interacción con otros contaminantes ( $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , nitroderivados, ácidos sulfúrico y nítrico).

### 2.3.3.1.3 Antropogénicas

- **$\text{SO}_2$ :** Proviene fundamentalmente de la quema de combustibles fósiles, se estima que aproximadamente el 90 % se convierte a  $\text{SO}_4^{-2}$ .
- **$\text{CO}$ :** Producido por la combustión incompleta, incluyendo en su mayoría a las emisiones vehiculares.
- **$\text{NO}_x$ :** Al igual que el  $\text{CO}$  proviene de la combustión incompleta, los aviones aportan la mayor parte de este.
- **$\text{HCNM}$ :** Combustión incompleta, explotación de petróleo, calefacción doméstica (hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)).
- **Partículas suspendidas (PM):** Procesos de combustión, las PM se clasifican principalmente en  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , esto debido al grado de penetración en el sistema respiratorio.
- **Inorgánicos:**  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$

### 2.3.3.1.4 Contaminantes criterio

Son los que se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos.

- Bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )
- Material particulado (PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ )
- Bióxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )
- Ozono ( $\text{O}_3$ )
- Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )

Partes por millón (ppm), partes por cientos de millón (pphm), partes por billón (ppb) y partes por trillón (ppt)

Estas unidades expresan el número de moléculas del contaminante encontrado en un millón ( $10^6$ ), un ciento de millón ( $10^8$ ), un billón ( $10^9$ ) y un trillón ( $10^{12}$ ) de moléculas de aire, respectivamente.”

## 2.4 Meteorología

Las condiciones meteorológicas y climatológicas juegan un papel muy importante en el comportamiento de los contaminantes

- Temperatura
- HR
- Precipitación pluvial
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Radiación solar.

## 2.5 Inversión térmica

Normalmente la temperatura en la atmósfera disminuye con respecto a la altitud, es decir, las capas cercanas a la superficie son más tibias que las que se encuentran más lejos de ella, este comportamiento aumenta el mezclado y dilución de los contaminantes presentes en ella.

La Fig. 2.3 muestra el efecto de la inversión térmica.

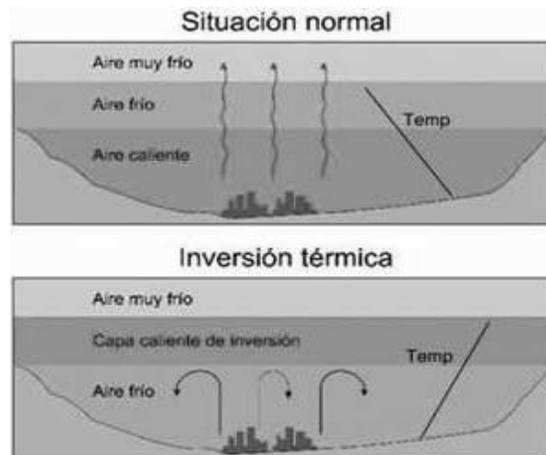


Fig. 2.3 Efectos de la inversión térmica

Se habla de inversión térmica cuando, en las mañanas frías, la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie del suelo adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan como una cubierta que impide el movimiento del aire contaminante hacia arriba y por lo tanto se estanca, esto provoca un aumento progresivo de la concentración de los contaminantes a niveles que pueden ser nocivos para la salud humana y para los ecosistemas.

La inversión térmica es un proceso totalmente natural, sin embargo, debido a las condiciones de contaminación atmosférica que prevalecen en algunas ciudades, es de suma utilidad predecir cuándo habrá una inversión térmica con la finalidad de alertar a la población y tomar medidas para proteger su salud

## 2.6 Energía

La energía es una magnitud física abstracta, ligada al estado dinámico de un sistema cerrado y que permanece invariable con el tiempo. También se puede definir la energía de sistemas abiertos, es decir, partes no aisladas entre sí de un sistema cerrado mayor. Un enunciado clásico de la física newtoniana afirmaba que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma.

La energía no es un ente físico real, ni una "sustancia intangible" sino sólo un número escalar que se le asigna al estado del sistema físico, es decir, la energía es una herramienta o abstracción matemática de una propiedad de los sistemas físicos.

Por ejemplo, se puede decir que un sistema con energía cinética nula está en reposo. En resumen, la energía es la capacidad de los cuerpos para producir cambios en su alrededor.

En tecnología y economía, una fuente de energía es un recurso natural, así como la tecnología asociada para explotarla y hacer un uso industrial y económico del mismo. La energía en sí misma no es un bien para el consumo final sino un bien intermedio para satisfacer otras necesidades en la producción de bienes y servicios.

Formas de generación de energía eléctrica:

- Fuentes de energía renovables:
  - Eólica
  - Geotérmica
  - Hidráulica
  - Mareomotriz
  - Solar
  
- Fuentes de energía no renovable:
  - Nuclear
  - Carbón
  - Gas
  - Petróleo

## 2.7 Explotación de la energía

La explotación de la energía abarca una serie de procesos que varían según la fuente empleada:

- Extracción de la materia prima (Uranio, Carbón, Petróleo...)
- Procesamiento de la materia prima (enriquecimiento de uranio, refinación del petróleo...)
- Transporte, almacenamiento y distribución de la materia prima, hasta el punto de utilización
- Transformación de la energía (por combustión, fisión...)

Para la electricidad, además:

- Generación de electricidad, por lo general mediante turbinas
- Almacenamiento y/o distribución de la energía
- Consumo

En la Figura 2.4 se muestra el proceso de generación de energía eléctrica a partir de energéticos primarios.

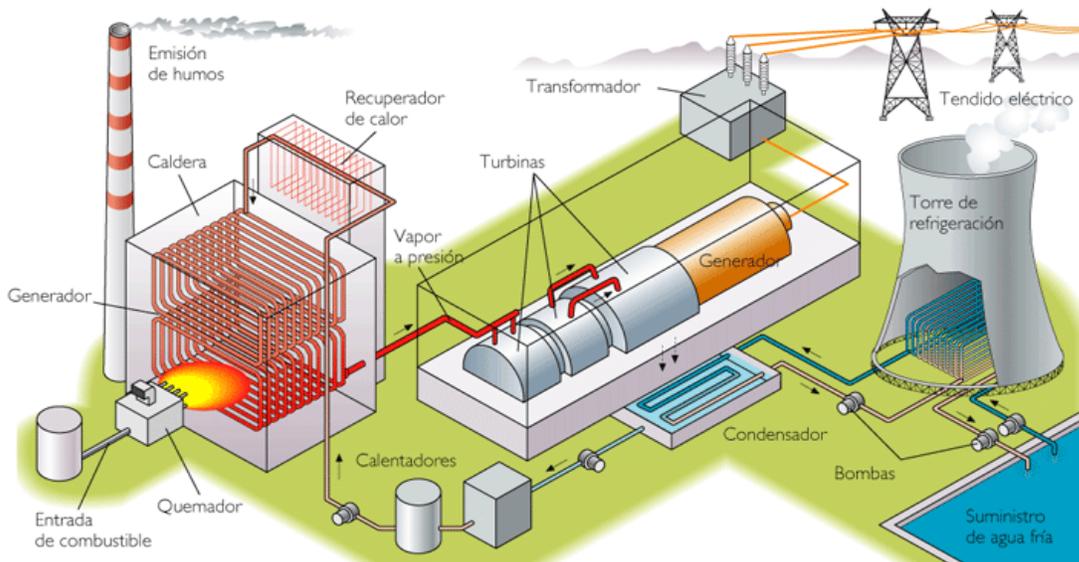


Fig. 2.4 Proceso de producción de energía eléctrica a través de diversos energéticos primarios

La quema de combustibles fósiles (combustóleo) para la generación de energía eléctrica, además de generar dióxido de azufre, monóxido y dióxido de carbono, también emite en gran cantidad partículas suspendidas.

Las partículas suspendidas son una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. Su tamaño varía desde 0.005 hasta

100 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro aerodinámico, esto es, desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello humano.

Las partículas suspendidas se clasifican según su tamaño en las siguientes fracciones:

- Partículas suspendidas totales (PST), con un diámetro aerodinámico menor a  $100 \mu\text{m}$  y mayor de  $10 \mu\text{m}$
- Partículas inhalables (PM10), con diámetro aerodinámico menor a  $10 \mu\text{m}$  y mayor de  $2.5 \mu\text{m}$
- Partículas respirables o finas, con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  y mayor de  $1(\text{PM}_{2.5})$
- Partículas ultrafinas, con diámetro menor a  $1 \mu\text{m}$  y hasta  $0.1 (\text{PM}_1)$ .

Con base en su origen también se clasifican en primarias y secundarias, así, las partículas primarias se encuentran en la atmósfera tal como fueron emitidas por la fuente y aquellas que se forman como producto de procesos y reacciones químicas entre  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$  y otras moléculas reactivas son las partículas secundarias.

## **2.8 Servicio de energía por parte del suministrador**

El precio de la energía eléctrica para el usuario final tiene una variación en su costo debido a tres factores.

- La región en la cual se genera
- La región tarifaria en la cual se consume
- El horario del día en el cual se consume

De lo anterior se desprende una serie de disposiciones que deben de tenerse en cuenta para estimar el ahorro en la factura eléctrica y determinar el tiempo de retorno de la inversión necesaria para un proyecto de ahorro y consumo eficiente de energía eléctrica.

### **2.8.1 Regiones Tarifarias y Zonas Conurbadas**

La aplicación de los cargos de energía por región, se da a partir de las siguientes distribuciones regionales:

- **Región Baja California**
  - Todos los municipios del Estado de Baja California.
  - Municipios del Estado de SONORA: San Luis Río Colorado.
- **Región Baja California Sur**
  - Todos los municipios del Estado de Baja California Sur.

- **Región Noroeste**
  - Todos los municipios del Estado de Sonora excepto el comprendido en la Región Baja California.
  - Todos los municipios del Estado de SINALOA.
- **Región Norte**
  - Todos los municipios de los Estados de Chihuahua y Durango.
  - Municipios del Estado de Zacatecas: Chalchihuites, Jiménez del Teúl, Sombrerete, Sain Alto, Jerez, Juan Aldama, Río Grande, General Francisco Murguía, Mazapil, Melchor Ocampo.
  - Municipios del Estado de Coahuila: Torreón, San Pedro de las Colonias, Matamoros, Viesca, Parras de la Fuente, Francisco I. Madero, Ocampo y Sierra Mojada.
- **Región Noreste**
  - Todos los municipios de los Estados de Nuevo León y Tamaulipas.
  - Todos los municipios del Estado de Coahuila excepto los comprendidos en la Región Norte.
  - Municipios del Estado de Zacatecas: Concepción de El Oro y El Salvador.
  - Municipios del Estado de San Luis Potosí: Vanegas, Cedral, Cerritos, Guadalcázar, Ciudad Fernández, Rioverde, San Ciro de Acosta, Lagunillas, Santa Catarina, Rayón, Cárdenas, Alaquines, Ciudad del Maíz, Ciudad Valles, Tamazopo, Aquismón, Axtla de Terrazas, Tamazunchale, Huehuetlán, Tamuín, Tancahuitz, Tanlajas, San Antonio, Coxcatlán, Tampamolón, San Vicente Tancuayalab, Ebano, Xilitla, Tampacán, Tanquián de Escobedo.
  - Municipios del Estado de Veracruz: Pánuco, Tempoal, Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama de Mazcareñas, El Higo, Huayacocotla.
- **Región Central**
  - Todas las Delegaciones del Distrito Federal.
  - Municipios del Estado de México: Tultepec, Tultitlán, Ixtapaluca, Chalco de Díaz Covarrubias, Huixquilucan de Degollado, San Mateo Atenco, Toluca, Tepetzotlán, Cuautitlán, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla, Naucalpan de Juárez, Ecatepec, Chimalhuacán, San Vicente Chicoloapan, Texcoco, Ciudad Nezahualcóyotl, Los Reyes La Paz.
  - Municipios del Estado de Morelos: Cuernavaca.

- **Región Sur**
  - Todos los municipios de los Estados de: Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacan, Aguascalientes, Guanajuato, Queretaro, Hidalgo, Guerrero, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Chiapas, Tabasco.
  - Todos los municipios de los Estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Veracruz no comprendidos en la Región Norte o en la Región Noreste.
  - Todos los municipios de los Estados de México y Morelos no comprendidos en la Región Central.
- **Región Peninsular**
  - Todos los municipios de los Estados de: Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

## **2.8.2 Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica**

La CFE hasta la fecha tiene dos grandes grupos para determinar la tarifa de un usuario

- Casa
- Negocio o Industria

Para el grupo de Casa que es todo el sector habitacional, existen dos grupos

- Domesticas
- Domesticas de alto consumo

Para el grupo de Domesticas, las tarifas que aplican son:

- 1 - Consumo hasta 250 kWh por mes
- 1A - Consumo hasta 300 kWh por mes
- 1B - Consumo hasta 400 kWh por mes
- 1C - Consumo hasta 850 kWh por mes
- 1D - Consumo hasta 1000 kWh por mes
- 1E - Consumo hasta 2000 kWh por mes
- 1F - Consumo hasta 2500 kWh por mes

Para las tarifas domesticas de alto consumo se encuentra la siguiente categoría:

- DAC (Demanda de Alto Consumo)

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico y, se considera de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para cada localidad.

El consumo mensual promedio se determinará con el promedio móvil del consumo registrado por el usuario en los últimos 12 meses. Cuando el Consumo Mensual Promedio sea inferior al Límite de Alto consumo fijado en la localidad, se aplicará la tarifa doméstica 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F que corresponda

Esta tarifa tiene un precio diferente por zona tarifaria, a diferencia de las tarifas domesticas 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F que tienen un precio homologado para todo el país.

Para el sector de Negocio o Industria existen dos grupos para determinar la tarifa de un usuario

- Tarifas Especificas
- Tarifas Generales

Las Tarifas Especificas están destinadas solo a ser ocupadas para lo cual fueron contratadas

- Servicios Públicos
- Agrícolas
- Temporal
- Acuícola

Por lo que por ejemplo, una tarifa de servicio público no puede ser usada para suministrar energía eléctrica al sector agrícola.

Las tarifas generales abarcan una amplia gama de usos, van desde el sector comercial hasta el sector industrial con alto consumo de energía, siendo siete las modalidades para estas tarifas.

En la Tablas 2.1 se muestran la clasificación de tarifas de acuerdo a la tensión de suministro.

Nivel de Tensión	Tarifa
Baja tensión	2 – 3
Media tensión	O-M H-M H-MC
Media tensión con cargos fijos	OMF HMF HMCF
Alta tensión	HS HS-L HT HT-L
Alta tension con cargos fijos	HSF HS-LF HTF HT-LF
Servicio de Respaldo	HM-R HM-RF HM-RM HS-R HS-RF HS-RM HT-R HT-RF HT-RM
Servicio interrumpible	I – 15 I – 30

Tabla 2.1 Tarifas eléctricas de acuerdo a la tensión de suministro

En tarifas generales hay dos conceptos que en las tarifas específicas no existen, uno de ellos se denomina **Horarios Tarifarios**, con lo cual, el precio de la energía tendrá tres precios diferentes a lo largo del día. El otro concepto es la **Demanda Facturable**.

En la Tabla 2.2 se aprecian los horarios y los precios para la tarifa HM, en la cual está ubicada la BUAP, y por lo tanto el Laboratorio Integral de Facultad de Ingeniería.

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

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

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

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Tabla 2.2 Horarios para Tarifa HM en las regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

La Tabla 2.3 muestra los precios para la tarifa HM de todas las regiones del país.

Región	Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt - hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
Baja California	\$ 256.83	\$ 2.0910	\$ 1.0414	\$ 0.8181
Baja California Sur	\$ 246.84	\$ 1.6776	\$ 1.4451	\$ 1.0226
Central	\$ 177.96	\$ 2.0043	\$ 1.1533	\$ 0.9641
Noreste	\$ 163.61	\$ 1.8512	\$ 1.0707	\$ 0.8770
Noroeste	\$ 167.11	\$ 1.8619	\$ 1.0624	\$ 0.8900
Norte	\$ 164.42	\$ 1.8645	\$ 1.0810	\$ 0.8791
Peninsular	\$ 183.88	\$ 1.9605	\$ 1.0834	\$ 0.8925
Sur	\$ 177.96	\$ 1.9626	\$ 1.1019	\$ 0.9168

Tabla 2.3 Precios para Tarifa HM en todas las regiones en el mes de Noviembre de 2012

Como puede verse en la Tabla 2.2 referente a los horarios para tarifa HM, estos también son determinados a partir del día de la semana en el cual se consume la energía. Es importante conocer estos horarios ya que cada uno de ellos tiene un costo diferente, Base es el más económico, siguiéndole Intermedio y siendo más caro el horario Punta tal.

## 2.9 Conceptos para facturación de una tarifa horaria

### 2.9.1 Energía

La energía se define como la potencia consumida en un periodo de tiempo, siendo los watt-hora (Wh) la unidad utilizada en sistemas eléctricos.

La ecuación que establece la relación entre Potencia (P) y Energía (E) es:

$$E = P \times t \text{ Ec. 2.1}$$

Donde:

E = Energía  
P = Potencia  
t = Tiempo

La Ecuación 2.1 auxilia para explicar la Figura 2.6, en donde se observa el consumo de energía de una lámpara incandescente de 100 watts.

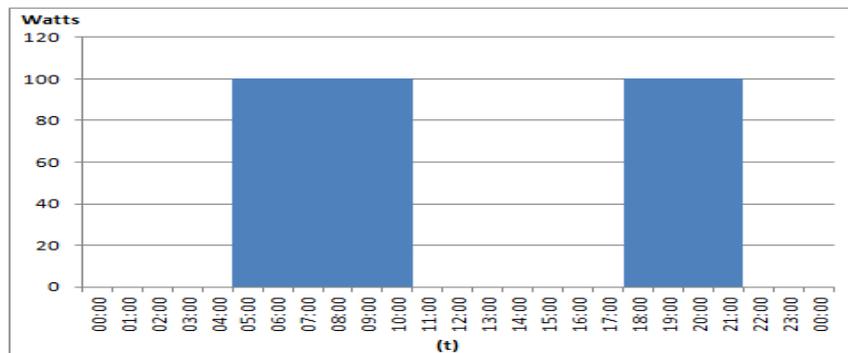


Fig. 2.5 Consumo de energía lámpara de 100 Watts

La lámpara estuvo encendida de las 06:00 a las 10:00 horas y posteriormente de las 18:00 a las 21:00 hrs., por lo que en el primer periodo el consumo de energía es de 500 Wh o 0.5 kWh, mientras que en el segundo periodo de uso, el consumo de energía es de 400 Wh o 0.4 kWh, dando como resultado un consumo total de 900 W/h o 0.9 kWh.

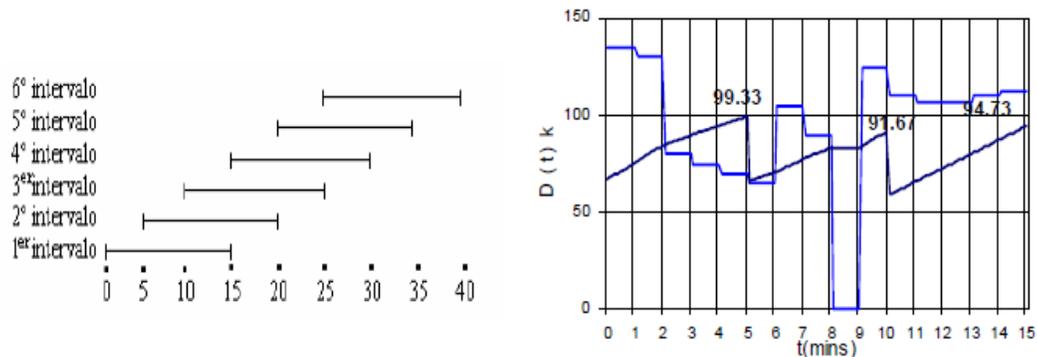
El consumo de energía se puede entender como el área bajo la curva, una ojiva o simplemente una variable de magnitud que puede acumularse conforme avanza el

tiempo, por lo que el consumo de energía de esa lámpara incandescente es de 0.9 kWh al día.

En el caso de una tarifa horaria, la energía que se reporta en una factura eléctrica se da en tres periodos u horarios, horario base, horario intermedio y horario punta.

### 2.9.2 Demanda

Es la potencia promedio en un intervalo de 15 minutos, evaluándose cada 5 minutos, aplicando únicamente para las tarifas OM y HM.



#### 2.9.2.1 Demanda Máxima

Es el valor máximo de potencia ocurrido en el periodo de facturación para cada uno de los horarios tarifarios (Base, Intermedio, Punta).

#### 2.9.2.2 Demanda Facturable

El objetivo para la creación de este concepto es el de reducir el consumo de energía en el horario punta, ya que como puede observarse en la Ecuación 2.2, la demanda máxima en horario punta (DP) no está afectada ningún factor de reducción.

$$DF = DP + FRI \times \text{MAX}(DI-DP, 0) + FRB \times \text{MAX}(DB-DPI, 0) \quad \text{Ec. 2.2}$$

Económicamente, el costo de operación en el horario punta tiene una repercusión significativa, ya que el precio por kWh (\$/kWh) es hasta dos veces más que en cualquier otro horario.

### 2.9.3 kVARh

Es un valor que indica la cantidad de energía reactiva que fue requerida para que los bobinados de equipo generen un campo magnético y realicen algún trabajo,

Este concepto no tiene un costo asignado de manera directa por la compañía suministradora, sin embargo, el valor de kVARh junto con la energía activa (kWh)

están ligados al valor de Factor de Potencia con que opera un sistema eléctrico, concepto que tiene una repercusión económica.

### 2.9.4 Factor de potencia

Es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía entregada por el suministrador, de forma general, es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que:

- El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.
- El usuario deberá procurar mantener un factor de potencia tan aproximado a 100% como sea posible, pero en el caso de que su factor de potencia durante cualquier periodo de facturación tenga un promedio menor de 90% atrasado, determinado por los métodos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, el suministrador tendrá derecho a cobrar al usuario la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine.
- En el caso de que el factor de potencia tenga un valor igual o superior de 90%, el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación que se determine. En la Figura 2.8 se muestra el triángulo de potencias, útil para entender las condiciones bajo las cuales se determina el factor de potencia.

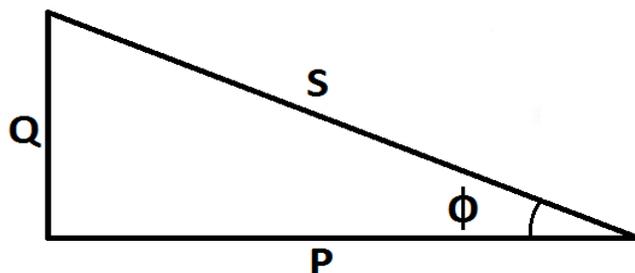


Fig. 2.6 Triángulo de potencias

$$S = (P^2 + Q^2)^{1/2} \text{ Ec. (2.1)}$$

$$P / S = \text{Cos}(\phi) \text{ Ec. (2.2)}$$

$$\text{FP} = P/S \text{ Ec. (2.3)}$$

Donde:

Cos  $\phi$  Factor de Potencia  
S Potencia Total ó Potencia Aparente  
P Potencia Activa  
Q Potencia Reactiva

Fórmula de recargo para un FP menor que 90%

$$\% \text{ Recargo} = 3/5 \times ( ( 90 / \text{FP} ) - 1 ) \times 100 \text{ Ec. (2.4)}$$

Fórmula de Bonificación para un FP mayor o igual a 90%

$$\% \text{ Bonificación} = 1/4 \times ( 1 - ( 90 / \text{FP} ) ) \times 100 \text{ Ec. (2.5)}$$

Donde:

FP es el Factor de Potencia expresado en porcentaje

No se aplicarán porcentajes de recargo superiores a 120%, ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5%.

## 2.9.5 Cargos por uso de la energía

El impacto económico que percibe el usuario de energía al aplicar medidas correctivas, se ve reflejado en el importe total de su facturación eléctrica y, como se ha mencionado anteriormente, dicho impacto también estará en función del tipo de tarifa con la cual tenga contratado el suministro. La ecuación (2.6) describe en forma general los cargos para todas las tarifas, los cuales detallan en las siguientes secciones.

$$\text{CT} = \text{CE} + \text{CD} + \text{CFP} + \text{CMBT} + \text{IVA} + \text{DAP} \text{ Ec. (2.6)}$$

CT = Cargo o Importe Total  
CE = Cargo por Consumo de Energía  
CD = Cargo por Demanda  
CFP= Cargo o Bonificación por Factor de Potencia  
CMBT= Cargo por Medición en Baja Tensión  
IVA = Impuesto al Valor Agregado  
DAP = Derecho de Alumbrado Público

### 2.9.6 Cargo por Consumo de Energía

El Cargo por Consumo de Energía, es el único cargo que existe en todas las tarifas, sin importar el nivel de demanda y tensión de suministro, y resulta de aplicar el consumo en kilowatts / hora registrado en el periodo de facturación por el precio de la energía impuesto por el suministrador para la tarifa a la que se pertenezca el cliente.

$$CE = E * PE \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde:

CE = Cargo por energía kWh/\$  
E = Consumo de energía (kWh) en el periodo de facturación  
PE = Precio de la energía en \$

En una Tarifa Horaria, el precio de la energía tiene variaciones a lo largo del día como se muestra en las Tabla 2.2, siendo 3 precios diferentes, Base, Intermedio y Punta

De lo anterior, la ecuación 2.7 se modifica, repartiendo su costo en 3 conceptos

$$CE = CEB * PEB + CEI * PEI + CEP * PEP \quad \text{Ec. (2.8)}$$

CE = Costo o Importe de la Energía  
CEB = Costo de la energía en horario base  
CEI = Costo de la energía en horario intermedia  
CEP = Costo de la energía en horario punta  
PEB = Precio vigente para energía en el horario base  
PEI = Precio vigente para energía en el horario intermedio  
PEP = Precio vigente para energía en el horario punta

### 2.9.7 Cargo por Demanda

El cargo por demanda se aplica de acuerdo a la demanda máxima medida en el periodo de facturación para el caso de tarifas no horarias, o a la demanda facturable para tarifas horarias. En el caso de tarifas horarias, la demanda facturable se calcula con una ecuación que involucra las demandas máximas medidas en los periodos horarios establecidos. En forma general, el cargo por demanda está dado por la siguiente ecuación.

$$CD = D * PD \quad \text{Ec. (2.9)}$$

D = Demanda Máxima Medida o Facturable, según la tarifa en cuestión en kW  
PD = Precio de la Demanda en \$/kW

### **2.9.8 Cargo por Factor de Potencia**

El cargo por factor de potencia resulta del comportamiento promedio del factor de potencia en el periodo de facturación. Este cargo puede resultar en un recargo o bonificación sobre los cargos por energía y demanda, como se ve a continuación.

$$CFP = RB [ CE + CD ] \text{ Ec. (2.10)}$$

RB: Factor de Cargo o Bonificación por Factor de Potencia (FP)

CE: Cargo por energía

CD: Cargo por demanda

### **2.9.9 Cargo por Medición en Baja Tensión**

Este cargo es impuesto a los usuarios con servicios en mediana y alta tensión y es aplicable en los casos en que los aparatos de medición del suministrador no se encuentren ubicados en el lado de mediana o alta tensión. Prácticamente, este cargo se origina por las pérdidas en el proceso de transformación y resulta en un 2% adicional sobre los cargos por energía y demanda.

$$CMBT = 0.02 [ CE + CD ] \text{ Ec. (2.11)}$$

### **2.9.10 Impuesto al Valor Agregado**

El impuesto al valor agregado resulta en un 16% adicional sobre los cargos por energía, demanda, factor de potencia y medición en baja tensión.

$$IVA = 0.16 [ CE + CD + CFB + CMBT ] \text{ Ec. (2.12)}$$

### **2.9.11 Derecho de Alumbrado Público**

El derecho de alumbrado público resulta en un incremento en porcentaje de acuerdo a la ley de egresos de cada municipio. Para el caso de la Cd. de Puebla, es un 2% sobre la suma de los cargos de energía, demanda, factor de potencia y medición en baja tensión.

$$DAP = 0.02 [ CE + CD + CFB + CMBT ] \text{ Ec. (2.13)}$$

Se han descrito los elementos que forman una factura eléctrica y se han dado las nociones teóricas para poder comprenderlos, al tratarse este trabajo de un uso eficiente de energía en iluminación, los siguientes temas de este capítulo darán las bases para entender el proceso de iluminación.

## 2.10 Iluminación Industrial

El propósito de iluminación en una industria es el de proporcionar luz suficiente en cantidad y calidad para tener seguridad, buena visibilidad y mantener o mejorar los niveles de productividad.

Con el fin de conocer la actividad, el medio ambiente y por lo tanto la iluminación requerida, se deben considerar las siguientes recomendaciones.

- Diseñar la iluminación para la actividad planeada
- Utilizar luminarios eficientes
- Usar lámparas de alta eficiencia (mayor salida de lúmenes por watt)
- Tener acabados claros en techos, paredes, pisos y mobiliario
- Usar solo cuando se requiera
- Utilizar la luz de día cuando sea práctico
- Conservar el equipo de iluminación limpio y en buenas condiciones de trabajo.
- Elaborar instrucciones para la operación y mantenimiento.

### 2.10.1 Flujo Luminoso

Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo). La unidad de medida del flujo luminoso es el “Lumen”

Prácticamente, si se considera que la fuente de iluminación es una lámpara, una parte del flujo luminoso la absorbe el propio aparato de iluminación, también se debe hacer notar que el flujo luminoso no se distribuye en forma uniforme en todas las direcciones y que disminuye si sobre la lámpara se depositan polvo y otras sustancias. Normalmente el flujo luminoso se denota por la letra griega  $\phi$  (phi)

### 2.10.2 Lux (lx)

Es la unidad derivada del Sistema Internacional de Medidas para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen / m<sup>2</sup>. Se usa en fotometría como medida de la intensidad luminosa, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano.

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2 = 1 \text{ cd} \times \text{sr} / \text{m}^2 \quad \text{Ec. (2.14)}$$

El lux es una unidad derivada, basada en el lumen, que a su vez es una unidad derivada basada en la candela. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado, mientras que un lumen equivale a una candela x estereorradián. El flujo luminoso total de una fuente de una candela equivale a lúmenes (puesto que una esfera comprende estereorradianes).

### 2.10.3 Lux y lumen

La diferencia entre el lux y el lumen consiste en que el lux toma en cuenta la superficie sobre la que el flujo luminoso se distribuye. 1000 lúmenes, concentrados sobre un metro cuadrado, iluminan esa superficie con 1000 lux. Los mismos mil lúmenes, distribuidos sobre 10 metros cuadrados, producen una iluminancia de sólo 100 lux. Una iluminancia de 500 lux es posible en una cocina con un simple tubo fluorescente. Pero para iluminar una fábrica al mismo nivel, se pueden requerir decenas de tubos, por lo que iluminar un área mayor al mismo nivel de lux requiere un número mayor de lúmenes.

Por lo anterior, la iluminación se define como el flujo luminoso por unidad de superficie, se designa con el símbolo E y se mide en LUX.

$$E = \text{Flujo luminoso} / \text{Unidad de superficie} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Se puede decir también que la iluminación de una superficie es el flujo luminoso que cubre cada unidad de la misma y es el principal dato de proyecto para una instalación de alumbrado y se puede medir por medio de un instrumento denominado **luxómetro**.



Figura 2.7

La Tabla 2.4 muestra los valores típicos para diferentes fuentes de luz.

Fuente luminosa	Nivel de Luxes
Una noche sin luz	0.01
Una noche con luna llena	0.2
Una noche con alumbrado público	5-20
Una oficina con buena iluminación	500
Un aparador bien iluminado	3,000
Un día claro con cielo nebuloso	20,000

Tabla 2.4 Valores típicos de nivel lux para fuentes conocidas

### 2.10.3 Intensidad luminosa

Es una cantidad fotométrica de referencia. La unidad relativa de medición es la “candela” (cd), cuyo patrón es una superficie de 1.66mm<sup>2</sup> de platino, llevada a la temperatura de fusión que es de 1,769°C (2,042 K)

Con referencia a la candela, el lumen se define como el flujo luminoso emitido en el interior de un ángulo sólido de 1 esteradianes (28.6 grados sólidos), por una fuente puntiforme igual a 1 candela. Para aclarar la definición anterior se puede decir que una fuente luminosa que emite una candela en todas las direcciones (360°C sólidos) proporciona un flujo luminoso de  $4\pi = 12.57$  lumen.

$$I = \frac{\text{Energía de la luz}}{\text{Ángulo sólido}} \quad \text{Ec. (2.17)}$$

#### 2.10.4 Luminancia o brillantez

Es la intensidad emitida en una dirección determinada por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz).

En otros términos, expresa el efecto de la luminosidad que una superficie produce sobre el ojo humano, ya sea fuente primaria (lámpara o aparato de iluminación) o secundaria (piso, pared o cualquier objeto que refleje la luz), se usa la letra L para su designación y se mide en candelas/m<sup>2</sup>, aun cuando se use también una unidad 10,000 veces más grande como la candela/cm<sup>2</sup>.

En la tabla 2.5 se muestran valores de iluminación de fuentes luminosas típicas

Fuente luminosa	Valores de iluminación
Lámparas fluorescentes	0.5 - 4 cd/cm <sup>2</sup>
Lámparas incandescentes	200-100 cd/cm <sup>2</sup>
Lámparas de arco	Hasta 50,000 cd/cm <sup>2</sup>
El sol	150,000 cd/cm <sup>2</sup>

Tabla 2.5 Valores de iluminación de fuentes típicas de luz

La luminancia o brillantez de un objeto en una cierta dirección, es la intensidad luminosa emitida en tal dirección por unidad de superficie del objeto.

La superficie emisora considerada en el cálculo de la luminancia corresponde al área aparente de la fuerza luminosa vista por un observador.

#### 2.10.5 Eficiencia luminosa

Se define como eficiencia de una fuente luminosa a la relación entre el flujo ( $\Phi$ ) expresado en Lumen, emitido por una fuente luminosa y la potencia absorbida por una lámpara. Se expresa en Lumen/watt

#### 2.10.6 Fuentes luminosas

Una buena iluminación es importante ya que permite un mejor desarrollo de todas las actividades y las hace menos cansadas. Para que una instalación de iluminación sea plenamente eficaz, se debe cumplir, entre otras cosas con un buen nivel de iluminación (es decir, la cantidad de luz recibida por los objetos), respecto a un cierto número de condiciones, por ejemplo:

- El equilibrio de la iluminación o brillantez, es decir, de la cantidad de luz reflejada por los distintos objetos en la dirección del observador.
- La iluminación de las causas susceptibles de determinar una sensación de molestia por deslumbramiento directo o indirecto.

- La selección de un color de la luz emitida por las lámparas que sea compatible con los objetos por iluminar.
- Un juego de sombras adecuado

En general, los métodos empleados para producir radiaciones luminosas son los siguientes:

- Radiación por elevación de temperatura
- Descarga eléctrica en el gas o en los materiales al estado de vapor
- Fluorescencia

En el primer método, se encuentran las lámparas incandescentes. El principio de la descarga en gas, se aplica a las lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio, neón, etcétera.

El fenómeno de la fluorescencia en ciertas sustancias por efecto del bombardeo electrónico es aplicable a las lámparas fluorescentes, cuyo uso se intensificó después de la segunda guerra mundial.

Para la selección del tipo de lámparas a emplear, es necesario tener en cuenta las siguientes características.

- **Potencia nominal.** Condiciona el flujo luminoso y el dimensionamiento de la instalación desde el punto de vista eléctrico.
- **Eficiencia luminosa y decaimiento del flujo luminoso.** Durante el funcionamiento, duración de vida media y costo de la lámpara, estos factores condicionan la economía de operación de la instalación.
- **Gama cromática.** Condiciona la mayor o menor apreciación de los colores respecto a las observaciones a la luz natural.
- **Temperatura de los colores.** Condiciona la totalidad de la luz. Se dice que una lámpara proporciona una luz “caliente” o “fría”, si prevalecen las radiaciones luminosas de colores rosa o azul.
- **Dimensiones del local.** Las características de la construcción y sus dimensiones condicionan el tipo y características de los aparatos de iluminación, como son la direccional del haz luminoso, costo, etcétera.

### 2.10.7 Lámparas incandescentes

El principio de funcionamiento de las lámparas incandescentes se basa en que un filamento de tungsteno de espiral simple o doble, se lleva hasta la incandescencia con el paso de la corriente eléctrica. Con el objeto de que no se queme el filamento, se encierra en una ampolleta o bulbo de vidrio dentro del cual se hace el vacío o se introduce un gas inerte (argón, criptón, etcétera). El vacío se hace en lámparas de pequeña potencia, mientras que en aquellas en donde el flujo de corriente es alto, se hace uso del gas inerte.

### 2.10.8 Lámparas de descarga en gas

El grupo de fuentes luminosas de descarga en gas, es muy amplio. Comprende las lámparas fluorescentes, tubulares, las lámparas de vapor de mercurio o de sodio así como los tubos usados para anuncios luminosos. El principio de funcionamiento, el tipo de luz que emiten, así como el campo de aplicación varía notablemente de tipo a tipo de lámpara. Lo único que tienen en común es el paso de corriente eléctrica en un gas.

Otros problemas comunes a estos tipos de lámparas, son los dispositivos requeridos para su encendido y estabilización de la descarga, el bajo factor de potencia y la necesidad de eliminar el efecto estroboscópico (parpadeo).

### 2.10.9 Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes producen la luz debido a que existe una descarga eléctrica que excita el gas (vapor de mercurio y un poco de argón) contenido en el tubo, generando una radiación sobre todo en el campo de la luz ultravioleta. Tales radiaciones se dirigen hacia la sustancia fluorescente dispuesta en las paredes del tubo y se transforma en energía luminosa visible.

### 2.10.10 Temperatura de color

La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por esta razón se le llama temperatura de color y se expresa en Kelvin, a pesar de no ser una medida de temperatura.

La siguiente figura 2.9 muestra la representación aproximada de la temperatura de ciertos colores.

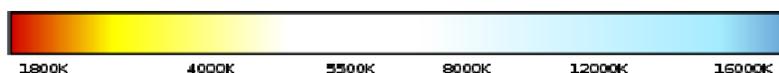


Fig. 2.9 Temperatura Kelvin para una fuente de luz

La clasificación más genérica para la temperatura Kelvin es la siguiente:

- Luz Cálida
- Luz Blanca o Fría
- Luz de Día

La Figura 2.6 muestra los distintos colores de iluminación y las aplicaciones recomendables.

Temperatura de color	Grados Kelvin	Efectos ambientales asociados	Aplicaciones recomendadas
Calido	2600-3400K	Amigable Intimo Personal Exclusivo	Restaurantes Lobbies Boutiques Librerías Tiendas de ropa
Neutral	3500K	Amigable Invitante	Recepciones Salón de exposiciones Librerías Oficinas
Frío	3600-4900K	Fresca Limpia Eficiente	Oficinas Salón de Conferencias Escuelas Hospitales Tiendas comerciales
Luz de día	5000K	Impersonal Dinámico Limpio	Joyerías Consultorios Imprentas Hospitales

Tabla 2.6 Distintos Tonos de iluminación

## 2.11 Consumo de energía eléctrica por iluminación

Un sistema de iluminación está formado básicamente por 4 elementos, lámpara, balastro, luminario y control. Los sistemas más importantes que podemos aplicar actualmente son: incandescente (sin balastro), fluorescente, vapor de mercurio, vapor de aditivos metálicos y vapor de sodio en alta y baja presión. Las características más relevantes que deben considerarse para cualquier sistema son: vida útil, eficacia, mantenimiento de lúmenes, índice de rendimiento de color, temperatura de color, tiempo de encendido y reencendido, costo inicial, costo de operación y disponibilidad en el mercado. Desde el punto de vista de ahorro de energía la eficacia es la característica más importante, pero para cualquier aplicación deben considerarse siempre todos los factores en conjunto.

Cada sistema tiene características propias, por lo que la aplicación de cada uno debe ser cuidadosamente estudiada.

## **2.12 Deficiencias eléctricas al interior de un edificio**

### **2.12.1 Transformadores sobredimensionados**

Esto provoca que se trabaje con bajo factor de potencia y baja eficiencia. El rango óptimo de carga para transformadores es variable, pero generalmente se encuentra entre 50% y 70% de plena carga

### **2.12.2 Transformadores permanentemente conectados**

En ciertas instalaciones el consumo a determinadas horas cae casi a cero, haciendo que el transformador trabaje sin carga. En estas condiciones la eficiencia es cero y el factor de potencia es muy bajo.

### **2.12.3 Tableros con puntos calientes y circuitos compartidos**

En algunos tableros, la falta de mantenimiento provoca malos aprietes que se convierten en puntos calientes y desperdicios de energía. También es común encontrar que la ampericidad los cables y la corriente nominal de los conductores no concuerde, provocando altas temperaturas generadoras de mayores pérdidas y la reducción de la vida de los aislamientos.

Otro problema es encontrar circuitos compartidos para sistemas de fuerza y alumbrado, lo cual dificulta o imposibilita incluso el control y monitoreo de parámetros relevantes para auditoría y control de energía.

### **2.12.4 Sistema de tierra defectuoso**

Un sistema defectuoso acarrea muchos problemas, incluyendo los de seguridad y eficiencia; interfiere en el funcionamiento correcto del equipo de protección, en el encendido confiable de lámparas fluorescentes, en los equipos de cómputo y en los dispositivos de estado sólido en general (balastros electrónicos y sensores de presencia).

### **2.12.5 Factor de Potencia**

Aunque los sistemas de iluminación generalmente no producen bajo FP, una instalación en conjunto si puede hacerlo. La corrección del FP es una de las inversiones más rentables. Sin embargo, es común encontrar edificios que lleven meses pagando multas por bajo factor de potencia por que no existe monitoreo por parte del personal de mantenimiento o por la falta de comunicación entre el departamento de contabilidad y el de mantenimiento.

### **2.12.6 Seccionamiento deficiente de circuitos**

Es común encontrar áreas muy grandes con un número muy reducido de circuitos, lo que se deriva en falta de control sobre la iluminación de áreas específicas, con el consiguiente desperdicio de energía.

### **2.12.7 Regulación de tensión**

Las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo. Legalmente en México, la regulación puede variar  $\pm 10\%$  con respecto a la nominal, sin embargo no será extraño encontrar variaciones de 12% y hasta 15% en algunos casos. En lámparas incandescentes, un aumento del 10% en la tensión, provoca incremento de 21% en el consumo y 70% de reducción de vida útil. Para sistemas HID el efecto no es tan drástico, pero no deja de ser importante. En sistemas fluorescentes la misma variación representa en promedio 12% de incremento en la potencia de línea y para HID se tiene un porcentaje que depende del circuito del balastro, pero fluctúa entre 5% y 18%. Los balastos también se ven afectados por el aumento de tensión. Para balastos fluorescentes, por cada volt, la temperatura en la caja del balastro aumenta  $0.8^{\circ}\text{C}$  y con cada  $^{\circ}\text{C}$  las pérdidas crecen 0.5%, es decir, cada volt hace que las pérdidas aumente aproximadamente 0.4%. El factor de potencia también se ve afectado: 10% de incremento causa que un balastro con alto factor de potencia (90%-100%) caiga a menos del 90% establecido como norma, con los consiguientes perjuicios en todo el circuito.

### **2.12.8 Balastos de baja eficiencia**

Por una errónea política de compra por parte de los contratistas y usuarios basada únicamente en el precio, el mercado nacional se encuentra inundado por balastos fluorescentes de altas pérdidas, mal llamados de baja energía.

### **2.12.9 Incompatibilidad de equipos**

El uso de lámparas ahorradoras con balastos normales provoca un sobrecalentamiento en el balastro y reducción de vida de la lámpara. El uso de balastos de altas pérdidas ó línea económica con lámparas ahorradoras causa además una fuerte incertidumbre en el arranque

### **2.12.10 Balastos ociosos**

Cuando el material es pobre, las lámparas quemadas no son sustituidas en corto tiempo. No hay entonces producción de luz, pero sí consumo de energía. El balastro permanece conectado a la red tomando su potencia nominal del circuito abierto ( $W_o$ ). De acuerdo con el tipo y potencia del balastro  $W_o$  puede tomar entre 6 y 12 watts.

### **2.12.11 Sistemas fluorescentes encendido instantáneo (slim line)**

Los sistemas fluorescentes de encendido instantáneo presentan claras desventajas si se les compara con las de encendido rápido (bipin). Comparándolos sobre la misma base, los balastos de encendido instantáneo son 25% menos eficientes. La lámpara de encendido instantáneo vive 55% menos, y su eficiencia es hasta 15% menor que la de encendido rápido.

### **2.12.12 Mezcla de lámparas con diferente temperatura de color**

A causa de los problemas de disponibilidad en el mercado, de stock y en ocasiones de falta de cuidado por parte del personal de mantenimiento, es común encontrar áreas con lámparas fluorescentes de dos y hasta tres temperaturas de color diferente. Además del aspecto estético, la estimación de las reflectancias para proyecto o auditoria se complica ya que esta depende del color y acabado de la superficie, pero también de la temperatura de color de la fuente utilizada.

### **2.12.13 Mantenimiento**

La falta de un buen mantenimiento es común en edificios. Un sistema de iluminación que no recibe mantenimiento adecuado puede reducir su eficiencia hasta en un 40%. Se debe efectuar revisión eléctrica y limpieza periódica a todos los componentes, especialmente al reflector, al contralente y a la lámpara. Se deben detectar las lámparas en falla sobre sobretodo en circuitos con lámparas de encendido instantáneo, ya que la operación de un balastro para dos lámparas con solo una de ellas produce un sobrecalentamiento excesivo en la bobina tlicker (secundario auxiliar), afectando notablemente la vida y aumentando las pérdidas.

### **2.12.14 Bajo aprovechamiento de la luz natural**

A pesar de que en muchas instalaciones como edificios y comercios, la aportación de luz natural es excelente, la falta de controles manuales o automáticos evita un óptimo aprovechamiento de este recurso. Mediante el control se puede apagar durante ciertas horas del día las lámparas que estén colocadas cerca de las ventanas o bajo domos o laminas traslucidas.

**CAPÍTULO 3**  
**METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO ELÉCTRICO**

### **3.1 Diagnóstico Energético**

Todo proceso productivo o actividad cotidiana requiere un mínimo consumo de energía para llevarse a cabo, por lo que es necesario desarrollar y aplicar sistemas que permitan medirla y controlarla, determinando con esto, si existen alternativas que consigan un uso eficiente de la energía eléctrica y minimizar las pérdidas de la misma. Al conjunto de técnicas que permiten alcanzar estos objetivos se le conoce como Diagnóstico Energético.

Un Diagnóstico Energético es el conjunto de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con que la energía es utilizada. Estudia todas las formas y fuentes de energía por medio de un análisis crítico en una instalación que consume energía, estableciendo el punto de partida para la implementación de un programa de ahorro de energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada.

Desde el punto de vista del usuario de energía eléctrica, el objetivo principal de un Diagnóstico Energético deberá ser el de reducir los costos que implican los consumos de energía eléctrica a través de la racionalización de los mismos y otros cargos impuestos por los suministradores, (demanda, factor de potencia). Así, se define al Diagnóstico Energético y, particularmente para la energía en forma de electricidad, como:

*Un conjunto de técnicas que permiten tener una base para ejecutar medidas que minimicen los costos ocasionados por consumir energía eléctrica, valiéndose de un mejor aprovechamiento de aquellas formas de energía relacionadas con su consumo*

### **3.2 Metodología de Diagnóstico Energético**

La metodología seguida en un estudio de ahorro de energía aplicado a un sistema de iluminación depende en su mayoría del alcance previsto.

No existe por tanto una metodología obligatoria, sin embargo se pueden listar las siguientes actividades como referencia:

- Recopilación de información y antecedentes de la situación
- Recopilación de datos de equipos y mediciones en campo
- Procesamiento y análisis de la información
- Determinación de la situación existente
- Establecimiento de alternativas
- Pruebas eléctricas, fotométricas y simulación
- Determinación de la mejor opción
- Elaboración de especificaciones
- Conclusiones y recomendaciones

### **3.2.1 Recopilación de información y antecedentes de la situación**

- Registro histórico de consumo de energía ya sea por monitoreo o recibos de CFE
- Diagramas unifilares
- Cuadro de cargas
- Descripción de actividades dentro del inmueble
- Determinación de horarios o turnos de trabajo
- Inspección detallada a equipos e instalaciones eléctricas

### **3.2.2 Recopilación de datos de equipos y mediciones en campo**

- Plano estructural o lay-out
- Instalación de equipos de medición para determinar el comportamiento energético de equipos eléctricos, centros de distribución y alumbrado
- Captura en base de datos para su posterior análisis
- Actualización de datos de placa y capacidades de equipos
- Conocimiento de condiciones y prácticas de operación

### **3.2.3 Procesamiento y análisis de la información**

- Captura en formatos adecuados para pronto análisis
- Generación de información
  - Determinación de índices energéticos
  - Tendencia y dispersión del comportamiento histórico
  - Contribución de equipo eléctrico al consumo total de energía del inmueble

### **3.2.4 Determinación de la situación existente**

- Distribución eléctrica al interior del inmueble
- Servicios que se brindan en el inmueble y en los procesos
- Prácticas de operación
- Condiciones de las instalaciones en general
- Observación de la operación
- Entrevista con personal operativo y de mantenimiento

### **3.2.5 Establecimiento de alternativas**

- Eliminación de equipos ineficientes
- Control de alumbrado
- Eliminación de consumo ocioso de equipo eléctrico
- Utilización de energía alterna
- Utilización de luz natural
- Suministro fotovoltaico para alumbrado

- Diseño bioclimático
- Uso de sombras
- Uso de Toldos
- Medición permanente en puntos estratégicos con software de administración energética

### **3.2.6 Pruebas eléctricas, fotométricas y simulación**

- Instalación de equipos de medición para determinar el comportamiento energético de máquinas y equipos eléctricos antes y después de una propuesta de mejora
- Nivel de eficiencia en la utilización de la energía (factor de potencia)
- Uso de luxómetro para determinar niveles de iluminación en las área de trabajo

### **3.2.7 Determinación de la mejor opción**

- Resumen ejecutivo indicando
  - Ahorro de energía eléctrica
  - Ahorro económico
  - Inversión
  - Tiempo de recuperación
  - TIR
  - VPN
  - Descripción general de las medidas
  - Alcance y descripción general de equipos propuestos
  - Tipo de financiamiento en caso de existir
  - Medidas de ahorro
  - Situación actual
  - Situación propuesta detallando acciones
  - Evaluación técnico – económicas
  - Tiempo de realización

### **3.2.8 Elaboración de especificaciones**

#### Conclusiones y recomendaciones

- Evaluación económica
  - Equipos
  - Ingeniería de detalle
  - Instalación
  - Arranque
  - Ahorro económico
    - Energía
    - Mantenimiento
  - Indicadores financieros

- Periodo de recuperación
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Valor presente neto (VPN)
- Indicadores financieros

### **3.3 Información contenida en los formatos**

#### **3.3.1 Información general**

Concentra información de tipo general sobre el usuario, nombre o razón social, tipo de labores ubicación geográfica

#### **3.3.2 Determinación de la situación actual**

Especifica las condiciones en las cuales opera el área de estudio, situaciones técnicas, logísticas y administrativas que sirvan como fundamento para un mejor aprovechamiento del uso de energía eléctrica en el área.

#### **3.3.3 Clasificación por área tipo**

Se analiza la situación recabada en campo con objeto de establecer las características de cada área y hacer la clasificación correspondiente, incluyendo la geometría (rectangular, elíptica, circular, irregular, etc.). Los criterios de iluminación y por lo tanto de energía son particulares para área tipo, ya que generalmente varía la actividad desarrollada, la limpieza del área y/o peligrosidad del ambiente. También debe considerarse la velocidad, exactitud e importancia de las tareas que se realizan en esa área.

#### **3.3.4 Localización de áreas**

Localización exacta dentro de la instalación, registrando la temperatura ambiente, la humedad relativa y el centro de carga correspondiente. Permite predecir la aportación de luz natural en cada estación, el intercambio de aportaciones entre diferentes áreas.

#### **3.3.5 Dimensiones del área**

Se registra el ancho, largo y alto del área más las cavidades y reflectancias. Se consideran también las particiones, cantidad y lay-out de estaciones de trabajo, mobiliario y luminarios así como el tamaño y ubicación de las ventanas.

#### **3.3.6 Hábitos de consumo y equipo misceláneo**

Se consideran todos los equipos ocupados por los usuarios y las costumbres de uso tomando el tiempo y los ciclos de encendido y apagado, así como su opinión sobre la iluminación y sus propuestas para ahorrar. A través de los hábitos y horarios se calcula el factor de ocupación y el factor de utilización de luz artificial.

Con la información anterior y las mediciones en la subestación y los tableros seleccionados se caracterizan todos los días de la semana para extrapolar posteriormente a base de semana, mes, año cualquier periodo de tiempo que se considere necesario.

### **3.3.7 Equipo de iluminación instalado**

Se obtiene a partir del levantamiento en campo y de la información de los fabricantes, complementándose con los cálculos necesarios en gabinete. Como complemento debe investigarse si el mantenimiento es grupal ó individual y los periodos de limpieza. Los principales datos son los siguientes:

- Lámpara.- Se registra la marca y la designación, tipo de encendido, dimensiones, potencia, color, CRI, mantenimiento de lúmenes, precio en el mercado, numero de lámparas por luminario, temperatura al momento de operar, numero y ubicación de lámparas sin funcionar.
- Balastro.- Se obtiene la marca, catálogo y número de balastos por luminaria, circuito, clasificación por sonido, factor de potencia, protección térmica, temperatura de operación, factor de balastro, potencia de línea, condiciones de instalación, equipos desconectados, quemados u ociosos, compatibilidad con las lámparas.
- Luminario.- Se considera la marca y número de catálogo ó bien el tipo de luminario, su instalación en estado físico, número de unidades instaladas watts reales por luminario, carga total por área tipo y densidad de carga resultante. También se debe registrar el número de unidades fuera de servicio.

#### Tipos de luminario

- Empotrado
  - Sobrepuesto
  - Suspendido o en riel
  - Abierto ó cerrado
  - Con difusor o louver
  - Con reflector pintado o especular
- Control.- Se registra marca y número, si es automático ó manual, de potencia plena ó controlada, ubicación, numero de luminarios controlados y carga por control, horas de uso y ciclos de encendido apagado, área involucrada, etc.

### **3.3.8 Interacción con Equipo Adicional**

Para hacer el cálculo de los ahorros reales deben considerarse los beneficios adicionales que se obtiene al realizar un estudio de ahorro de energía. Calcular el beneficio económico por cada uno es una cuestión compleja pero factible. Por ejemplo, si se trata de un estudio integral, se conocen los datos del equipo de aire acondicionado como consumo de energía, horas de operación. Reducir el consumo por concepto de iluminación beneficia a los equipos de aire acondicionado, porque libera parte de la carga térmica y por lo tanto el consumo de energía.

En la subestación los transformadores bajarán su carga lo que reducirá sus pérdidas por efecto Joule, reduciendo la necesidad de mantenimiento al trabajar más frío, lo que además incrementa su vida útil. Por lo anterior se requiere recopilar toda la información necesaria sobre la instalación eléctrica y los equipos instalados para hacer los cálculos de ahorro por los beneficios adicionales.

### **3.3.9 Administración de la energía en iluminación**

Una administración adecuada de la energía eléctrica para la iluminación de las áreas interiores comprende 5 puntos principales:

- 1.- Realización de la auditoria al sistema de iluminación.
- 2.- Identificación de las opciones para un uso optimo de la iluminación
- 3.- Realización de un programa para el uso optimo de la iluminación
- 4.- Implementación del plan de acción
- 5.- Monitoreo de los resultados obtenidos y actualización permanente de datos

### **3.3.10 Auditoria al sistema de iluminación**

Con la auditoria se conoce el estado real de la instalación, requiriéndose el siguiente equipo:

- Luxómetro
- Multímetro
- Formatos para levantamiento
- Analizador de redes
- Laptop

### **3.3.11 Identificación de opciones para un uso óptimo de la iluminación**

- Reemplazo de lámparas o luminarias
  - Balastos electrónicos
  - Uso de reflectores especulares
- Empleo de controles (manuales o automáticos)
- Mejor aprovechamiento de la luz natural
- Mayor mantenimiento

Es necesario establecer todas las opciones posibles para identificar a través de un análisis aquellas que proporcionen el mayor ahorro de energía sin disminución de la calidad de vida de las actividades. En algunos casos se deben realizar pruebas eléctricas y fotométricas en campo y en laboratorio para garantizar los resultados.

### **3.3.12 Realización de un programa para el uso óptimo de la iluminación**

Un plan bien desarrollado identifica las opciones que pueden ser implementadas, considerando en cada una de las recomendaciones la identificación y cuantificación de los siguientes parámetros:

- Área adecuada
- Cantidad y calidad de la iluminación propuesta
- Consumo de energía actual proyectado y ahorros estimados
- Costo de la energía, mantenimiento actual y ahorros proyectados
- Beneficios generales al implementar modificaciones
- Costo de la implementación
- Valor estimado de los beneficios generales derivados
- Densidad de la carga actual
- Inversión requerida e índices financieros correspondientes

Es importante considerar la interacción que tiene el sistema de iluminación con el aire acondicionado, la decoración y el mobiliario del edificio.

### **3.3.13 Implementación del plan de acción**

Los planes para la administración eficiente de la energía eléctrica se diseñan generalmente para aplicarse en etapas. De las opciones para iniciar la implementación de las acciones, generalmente se seleccionan primero las de mayor relación beneficio-costos (generalmente las de inversión nula ó muy baja); en segundo término se seleccionan aquellas que tengan la mayor tasa de retorno del capital sobre la inversión y en tercer lugar las que requieran de una fuente de inversión inicial.

Es conveniente informar a todos los empleados acerca de los cambios realizados en la iluminación, ya que así aceptaran con gusto las modificaciones al tener una mejora en su entorno, lo cual impacta positivamente en su trabajo.

Al terminar la implementación de cada etapa es necesario efectuar mediciones, con el fin de verificar que se obtienen los resultados proyectados y los ahorros esperados.

### **3.3.14 Monitoreo de los resultados y actualización de datos**

Para el monitoreo del consumo de energía es necesario hacer mediciones y cálculos periódicamente.

La calidad puede determinarse por observación, y evaluación de los comentarios de aquellos que trabajan en el área estudiada. Los cambios en la productividad, el margen de error y otros factores pueden indicar los efectos causados por la implementación de las medidas. El programa para la administración eficiente de la iluminación deberá estar al día y revisarse cada 6 meses como mínimo, haciendo los cambios o ajustes requeridos.

La industria de la iluminación realiza progresos muy rápidamente. Por esta razón, las personas a cargo del programa deberán hacer un esfuerzo para mantenerse actualizados en los últimos adelantos en la tecnología de la iluminación.

### **3.3.15 Uso de formatos en las auditorías energéticas a sistemas de iluminación**

La iluminación consume en promedio el 30% del total de energía eléctrica generada en nuestro país. De acuerdo con las metas propuestas en el Programa Nacional de Ahorro de energía, en iluminación es posible alcanzar una disminución de 12.8 TWh anuales al mejorar en un 45% la eficiencia de los equipos instalados. Una vez tomadas las medidas de ahorro en motores y equipos misceláneos, la iluminación representaría solo el 21% del total nacional, debido a que el potencial de ahorro es mayor que en cualquier otro uso final.

Son cinco los parámetros a considerar cuando se trata de garantizar la calidad de los proyectos de iluminación y las medidas de ahorro.

- 1) Índice de rendimiento de color (CRI)
- 2) Nivel de luminancia
- 3) Relación de uniformidad
- 4) Probabilidad de Confort Visual (PCV)
- 5) Temperatura de color correlacionada (TCC)

El índice de rendimiento de color (CRI) indica con un valor entre 0 y 100 la capacidad de una fuente luminosa para reproducir fielmente los colores.

El segundo se refiere a los luxes o fotocandelas que se encuentran en el plano de trabajo.

La relación de uniformidad nos indica adimensionalmente la relación entre las zonas de una misma área que presentan diferente iluminancia.

La probabilidad de confort visual, nos indica con un valor entre 0 y 100 el grado de control visual proporcionado con cada sistema,

El quinto termino se da en Kelvin e indica la apariencia ó el aspecto (cálido, neutral ó frio) de una fuente luminosa.

Los parámetros anteriores de calidad están íntimamente ligados entre sí, y solo el cumplimiento de todos ellos en paralelo junto con los parámetros energéticos como energía, demanda, factor de potencia, densidad de carga y las variables económicas y de mercado como precio y disponibilidad entre otras. Desde este moderno punto de vista, solo se considera ahorro de energía a aquella reducción en el consumo de energía que no sacrifique la calidad de trabajo o actividades del usuario.

El uso de formatos adecuados es muy útil en todos los estudios de ahorro de energía en iluminación para hacer los cálculos económicos y energéticos, pero lo es más todavía cuando se pretende considerar los parámetros de calidad.

**CAPITULO 4**  
**RESULTADOS**

La propuesta de reestructuración energética para el laboratorio integral de la facultad de ingeniería trata de reducir el impacto ambiental derivado del uso de energía eléctrica. De manera concreta, se busca una reducción en el uso de la electricidad que a su vez derivará en menos emisiones a la atmósfera por la quema de combustibles, acción que es necesaria en plantas termoeléctricas para generar la energía eléctrica que se utiliza de manera cotidiana.

Para el caso del laboratorio integral, el punto con el que se realizarán las evaluaciones y propuestas de mejora es el alumbrado, ya que las luminarias (compréndase lámpara, balastro y gabinete de montaje) que se encuentran actualmente en la mayoría de los laboratorios del laboratorio integral, son poco eficientes y en muchos casos obsoletas.

Para lo anterior, se planteó un esquema de trabajo integral, en el que alumnos de la facultad de ingeniería y personal de la empresa Automatización, Productividad y Calidad SA de CV obtuvieron la información necesaria para la realización de este proyecto siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 3.

#### **4.1 Desarrollo de metodología de diagnóstico energético del laboratorio integral**

La metodología seguida en un estudio de ahorro de energía aplicado a un sistema de iluminación depende en su mayoría del alcance previsto.

##### **4.1.1 Recopilación de información y antecedentes de la situación**

- ❖ Diagramas unifilares
- ❖ Cuadro de cargas

Las actividades al interior del laboratorio integral se fundan en dos vertientes, las horas clases que se destinan para cada laboratorio y los proyectos que cada laboratorio tiene según las necesidades y requerimientos de empresas que les solicitan desarrollo, supervisión o certificación de sus productos; por lo que para conocer los horarios de trabajo se tomaron tanto los horarios del ciclo escolar como los descritos por cada responsable de laboratorio, quedando como se describe en la tabla 4.1

Se realizó un recorrido por cada laboratorio en el que se censó el número y tipo de luminarias, su tipo de montaje y la ubicación de sus respectivos centros de carga.

#### 4.1.2 Recopilación de datos de equipos y mediciones in-situ

En la figura 4.1 se muestra el plano del laboratorio integral de la planta baja. La ubicación de los laboratorios en cada nivel es con la que actualmente se dispone, el mobiliario dispuesto en la imagen en su mayoría no corresponde a la ubicación actual.

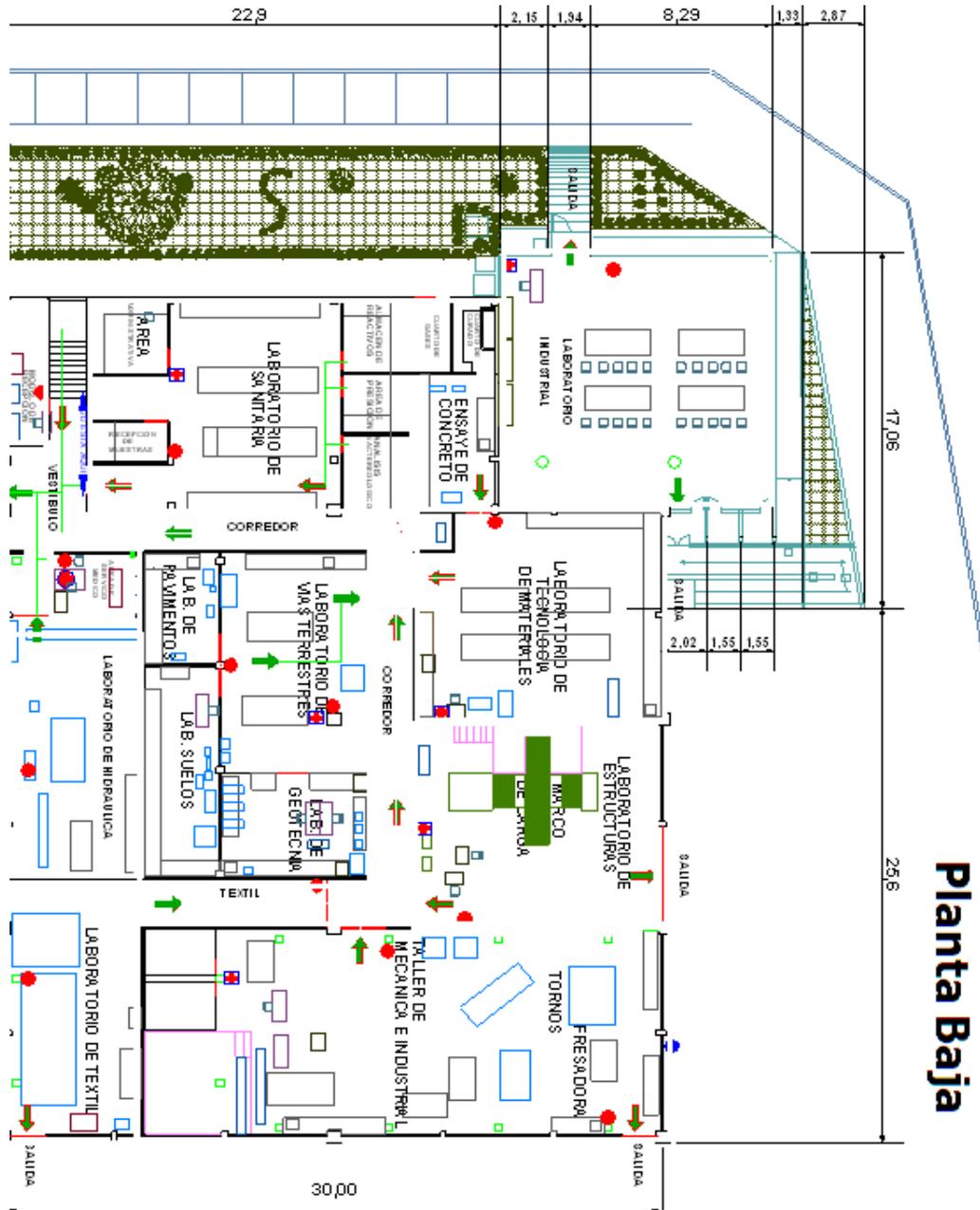


Fig.4.1 Vista de planta baja de Laboratorio Integral

En la figura 4.2 se muestra el plano del laboratorio integral de la planta alta. La ubicación de los laboratorios en cada nivel es con la que actualmente se dispone, el mobiliario dispuesto en la imagen en su mayoría no corresponde a la ubicación actual.

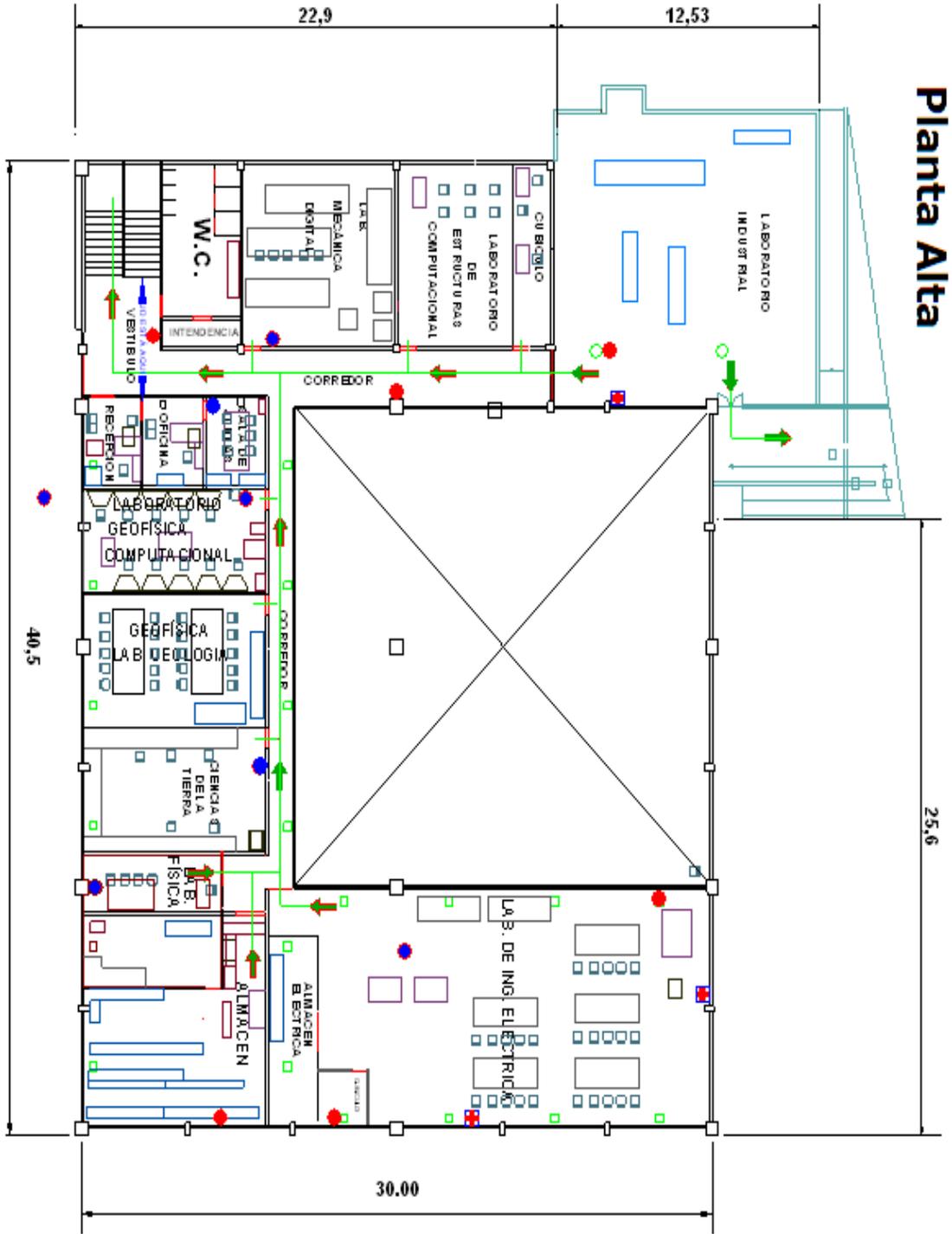


Fig.4.2 Vista de planta alta de Laboratorio Integral





En la figura 4.5 se muestra los planos del laboratorio integral de la planta alta. La ubicación de los laboratorios en cada nivel es con la que actualmente se dispone, el mobiliario dispuesto en la imagen en su mayoría no corresponde a la ubicación actual.

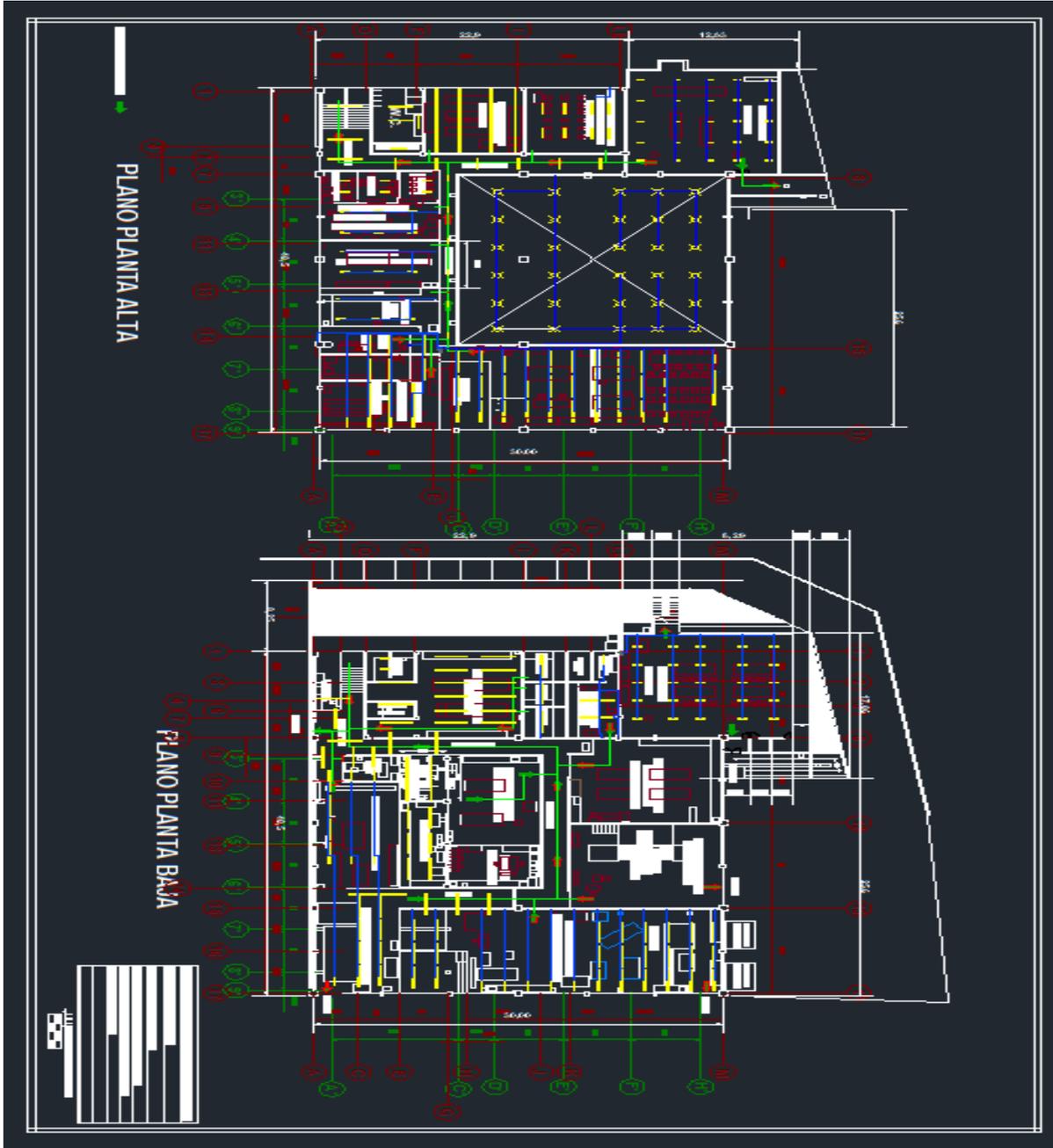


Fig. 4.5 Plano completo del Laboratorio Integral

La colocación de luminarias en el plano de Autocad y la información de luminarias instaladas por cada laboratorio permite conocer los niveles de consumo de energía eléctrica que cada laboratorio realiza.

#### 4.1.3 Procesamiento y análisis de la información

La información colectada se ingresa en formatos que permiten una fácil interpretación, con lo cual se puede conocer el consumo de energía eléctrica por parte de cada laboratorio.

La Tabla 4.1 reporta el número y las características de las luminarias que se encuentran en los laboratorios de la planta baja,

Área	Tipo luminaria	Watts luminaria	Total de luminarias
Ambiental	Cajón canal 2x75	2x75	18
Ambiental	Gabinete empotrar 4x39	4x39	2
Corredor 4	Cajón canal 2x39	2x39	2
Corredor 3	Cajón canal 2x75	2x75	2
Corredor servicio medico	Cajón canal 2x75	2x75	1
Hidráulica	Cajón canal 2x75	2x75	12
Cuarto húmedo	Hermética 2x32		1
Cuarto de curado	Cajón canal 2x75	2x75	2
Suelos	Cajón canal 2x75	2x75	6
Pavimentos	Cajón canal 2x75	2x75	4
Textil	De lux 2x39	2x39	2
Textil	Cajón canal 2x39	2x39	3
Textil	Cajón canal 2x75	2x75	12
Mecánica	Cajón canal 2x75	2x75	39
Industrial	Gabinete sobreponer 4x39	4x39	25
Industrial	Lámpara comercial para pared 1x11	1x11	3

Tabla 4.1 Tipo y número de luminarias de la planta baja del laboratorio integral

En la Tabla 4.2 se reportan el número y las características de las luminarias que se encuentran en los laboratorios de la planta alta.

Área	Tipo Luminaria	Watts Luminaria	Total de luminarias
Lab. Eléctrica	Gabinete industrial	2 x 75	32
Almacén topografía	Gabinete industrial	2 x 75	12
Lab. física	Gabinete industrial	2 x 75	3
Cubo topo-física	Gabinete industrial	2 x 75	1
Corredor 1	Gabinete empotrar	4 x 39	6
Ciencias de la tierra	Gabinete empotrar	4 x 39	6
Geofísica Lab. geología	Gabinete empotrar	4 x 39	6
Lab. geofísica computacional	Gabinete empotrar	4 x 39	6
Lab. industrial CIM	Gabinete sobreponer con louver	4 x 39	25
Corredor 2	Cajón canal	2 x 39	6
Lab. sísmica	Cajón canal	2 x 75	8
Termodinámica y fluidos	Cajón canal	2 x 75	12
Pasillo escalera	Cajón canal	2 x 75	3
Sanitarios	Gabinete sobreponer	2 x 39	3
Intendencia	Gabinete sobreponer	2 x 39	1
Recepción	Gabinete empotrar	4 x 39	2
Oficina	Gabinete empotrar	4 x 39	2
Sala de juntas	Gabinete empotrar	4 x 39	2
Cubo labs. Civil	Aditivos metálicos	400	30

Tabla 4.2 Tipo y número de luminarias de la planta alta del laboratorio integral

#### 4.1.4 Determinación de la situación existente

Las condiciones actuales de operación y después del censo de luminarias reflejan el consumo de energía eléctrica por motivos del alumbrado en cada laboratorio.

Las luminarias son en su mayoría del tipo industrial con dos lámparas de 75W cada una y con balastos magnéticos.

La Tabla 4.3 se reportan el consumo de energía eléctrica de las luminarias que se encuentran en los laboratorios de la planta baja.

Laboratorio	Tipo Luminaria	Cantidad	Watts Nominales	Watts por Laboratorio
Ambiental	Cajón canal 2x75	18	150	2,700
Ambiental	Gabinete empotrar 4x39	2	156	312
Corredor 4	Cajón canal 2x39	2	78	156
Corredor 3	Cajón canal 2x75	2	150	300
Corredor servicio medico	Cajón canal 2x75	1	150	150
Consultorio medico			150	0
Hidráulica	Cajón canal 2x75	12	150	1,800
Cuarto húmedo	Hermética 2x32	1	150	150
Cuarto de curado	Cajón canal 2x75	2	150	300
Suelos	Cajón canal 2x75	6	150	900
Pavimentos	Cajón canal 2x75	4	150	600
Textil	De lux 2x39	2	78	156
Textil	Cajón canal 2x39	3	78	234
Textil	Cajón canal 2x75	12	150	1,800
Mecánica	Cajón canal 2x75	39	150	5,850
Industrial	Gabinete sobreponer 4x14	25	56	1,400
Industrial	Lámpara comercial para pared 1x11	3	11	33
<b>Watts totales planta alta</b>				<b>16,841</b>

Tabla 4.3 Consumo de energía eléctrica por laboratorios de planta baja

La Tabla 4.4 reporta el consumo de energía eléctrica de las luminarias que se encuentran en los laboratorios de la planta alta.

Laboratorio	Tipo Luminaria	Cantidad	Watts Nominales	Watts por Laboratorio
Lab. Eléctrica	Gabinete industrial	32	150	4,800
Almacén topografía	Gabinete industrial	12	150	1,800
Lab. física	Gabinete industrial	3	150	450
Cubo topo-física	Gabinete industrial	1	150	150
Corredor 1	Gabinete empotrar	6	156	936
Ciencias de la tierra	Gabinete empotrar	6	156	936
Geofísica Lab. geología	Gabinete empotrar	6	156	936
Lab. geofísica computacional	Gabinete empotrar	6	156	936
Lab. industrial CIM	Gabinete sobreponer con louver	25	156	3,900
Corredor 2	Cajón canal	6	78	468
Lab. sísmica	Cajón canal	8	150	1,200
Termodinámica y fluidos	Cajón canal	12	150	1,800
Pasillo escalera	Cajón canal	3	150	450
Sanitarios	Gabinete sobreponer	3	78	234
Intendencia	Gabinete sobreponer	1	78	78
Recepción	Gabinete empotrar	2	156	312
Oficina	Gabinete empotrar	2	156	312
Sala de juntas	Gabinete empotrar	2	156	312
Cubo labs. Civil	Aditivos metálicos	30	400	12,000
<b>Watts totales planta alta</b>				<b>32,010</b>

Tabla 4.4 Consumo de energía eléctrica por laboratorios de planta alta

#### **4.1.5 Establecimiento de alternativas**

En la información de las tabla 4.4 y 4.5 se describen los tipos de luminarias para los laboratorios de la planta baja y la planta alta respectivamente, en ese listado se aprecia que la mayoría de las luminarias instaladas son del tipo T12, (cajón canal 2x75 watts, cajón canal 2x39 watts y gabinete empotrar 4x39 watts) siendo luminarias con lámparas de baja eficiencia, por lo que la alternativa para los laboratorios es la de sustituir las luminarias T12 por lámparas T5, siendo estas de menor consumo y mayor luminosidad. Sin embargo, el hecho de sustituir una por la otra no asegura que se consiga el nivel de luminosidad establecido por la norma. Según la STPS, los luxes con que debe de contar un laboratorio van de los 500 a los 750 luxes, por lo que se deberá llegar a estos niveles con las lámparas T5, de ahí que se tenga que hacer un estudio de iluminación en el que se obtengan los niveles deseados de iluminación y que cumplan con lo establecido por la STPS.

La alternativa de sustitución de luminarias se da por el hecho de que las lámparas T5 de 54W tienen un nivel de 5300 luxes, mientras que las lámparas T12 tienen un nivel de 4900 luxes con un consumo de 75W, manteniendo los niveles mínimos de iluminación citados por la STPS e inclusive aumentándolos y disminuyendo el consumo de energía en todos los casos.

#### **4.1.6 Simulación de propuestas, pruebas eléctricas y fotométricas.**

Debido a que la alternativa que se presenta es la de sustitución de luminarias, se realizó la simulación de los laboratorios que tienen un mayor consumo de energía eléctrica. El número de luminarias propuestas se da a partir del cálculo de punto a punto, aunque existen algunos otros criterios para decidir cuantas luminarias se deben sustituir y la distribución que deben de tener.

La colocación de las luminarias en el plano de Autocad permite con la ayuda del software LitePro la simulación del nivel de iluminación al interior de cada laboratorio, aula, pasillo y oficina del laboratorio integral.

El sistema de simulación LitePro permite tener vistas en 3D para observar desde diferentes perspectivas los niveles de iluminación generados sobre las áreas específicas de trabajo.

Los niveles de iluminación que cada laboratorio deberá tener, deben apegarse a los niveles mínimos establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, la cual establece

como objetivo principal, establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

De la Tabla 4.4, donde se muestran los laboratorios ubicados en la planta alta; se toma específicamente el Laboratorio de Ing. Eléctrica donde se observa que es un consumo alto por concepto de iluminación, siendo 32 luminarias de 150 watts cada una, dando un total de 4800 watts al momento de estar todas encendidas, para hacer una comparación, esto implica tener encendidos 48 focos incandescentes de 100 watts o 5 hornos de microondas trabajando por más de una hora.

El Laboratorio de Ing. Eléctrica aún cuando cumple la normativa de iluminación determinada por la NOM 025, que indica un nivel entre 500, siendo que en el laboratorio se alcanzan niveles de entre 480 y 510 luxes, niveles que se determinaron con la ayuda de equipo de medición de intensidad luminosa (Luxómetro), proporcionado para estas mediciones por la empresa Automatización Productividad y Calidad.

Para la realización de la simulación en el sistema LitePro se deben de tener en cuenta algunos parámetros:

- Características del área
  - Dimensiones
  - Color del piso
  - Color de las paredes
  - Color del techo
  - Ubicación de mobiliario
  - Ambiente de trabajo respecto al grado de limpieza
    - Limpio
    - Medio
    - Sucio
- Altura de montaje
- Altura del plano de trabajo
- Cantidad de luxes requeridos
- Tipo de actividad dentro del área

La Tabla 4.7 muestra los niveles mínimos de iluminación que cada área de trabajo deberá de tener de acuerdo a la STPS.

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple:	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado de pulidos finos	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados;</li> <li>• exactas y muy prolongadas, y muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.</li> </ul>	2,000

Tabla 4.13 Niveles mínimos de iluminación dados por la STPS

En la figura 4.11 se aprecian las luminarias del laboratorio de Ingeniería Eléctrica, que según el reporte de la planta baja del laboratorio (Tabla 4.3), son 32 luminarias con 2 lámparas de 75 watts cada una.

La distribución de las luminarias de todos los laboratorios se colocó en el plano de Autocad, tal y como puede apreciarse en la figura 4.4, por lo que podemos utilizar dicha ubicación para colocar las luminarias propuestas. Lo anterior es por el motivo de ocupar la tubería y los materiales de montaje ya existentes en medida de lo posible, pues en muchas de las ocasiones los proyectos de instalaciones eléctricas se encarecen y salen de presupuesto debido a los costos de mano de obra y materiales de montaje.



Fig. 4.11 Luminarias Lab. Ingeniería Eléctrica

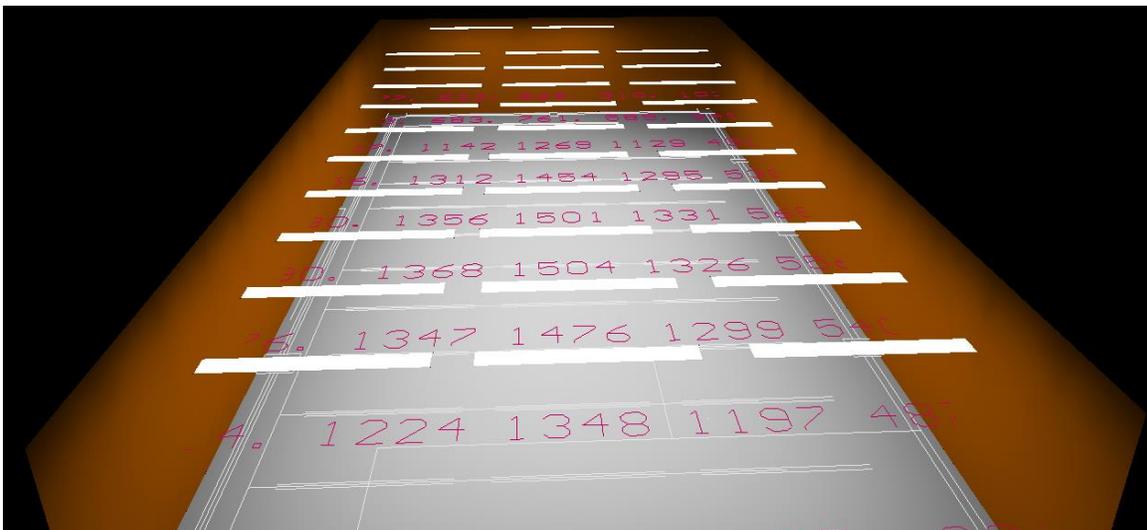


Fig. 4.12 Vista superior de luxes sobre Lab. Ingeniería Eléctrica

La solución para el de consumo de energía se da en la sustitución completa de luminarias, quitando las 32 luminarias tipo industrial 2x75 watts y colocando 27 luminarias de sobreponer con louver con lámparas 2x54 watts. La figura 4.10 muestra la vista superior de la simulación, en donde el área se configuro de acuerdo a las condiciones del laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

Aun cuando se tiene instalado el sistema de monitoreo Opti-dmaX, no es posible determinar el comportamiento del sistema de alumbrado del laboratorio integral, en primera instancia porque no se mide de manera puntual al laboratorio, y en segunda porque la mayoría de los circuitos de alumbrado tienen un comportamiento variable cada día, con excepción de Ing. Eléctrica e Ing. Mecánica, cuyo comportamiento eléctrico es constante día a día.

Por lo anterior, las horas de uso del siguiente ejercicio, son estimadas a partir de los horarios que se emiten para el uso de cada laboratorio. De algunos laboratorios se tomo información de los responsables del área. Por ejemplo, el laboratorio de Ing, Mecánica, que tiene un gran número de luminarias y, a decir de los responsables, solo esta encendido de las 07:00 a las 14:00, con la mayoría de sus luminarias encendidas.

La Figura 4.13 muestra el nivel de iluminación con luminarias 2x54 watts, que sustituyen a las luminarias 2x75 watts.



Fig. 4.13 Vista superior de luxes sobre Lab. Ingeniería Eléctrica con luminarias 2x54 watts

La Figura 4.14 muestra los niveles de iluminación del Lab. de Ing. Eléctrica a nivel de plano de trabajo.

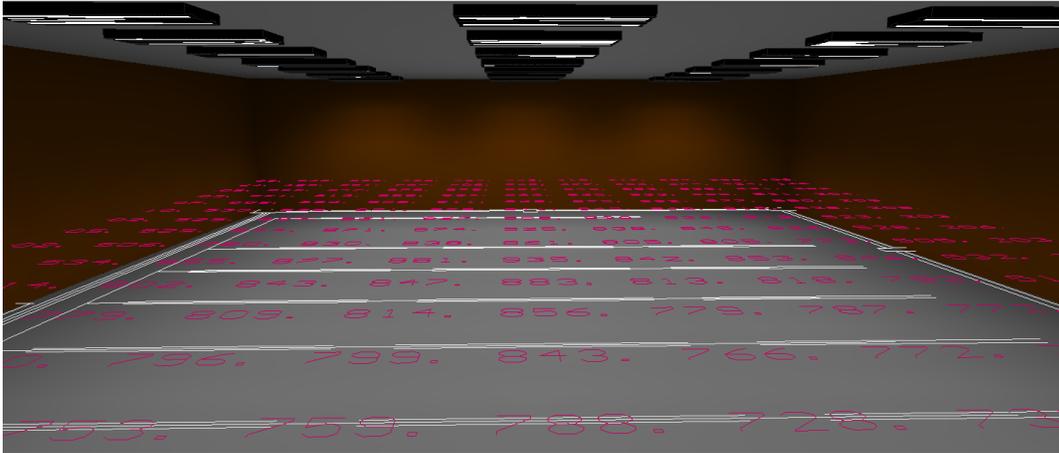


Fig. 4.14 Vista superior de luxes sobre Lab. Ingeniería Eléctrica con luminarias 2x54 watts

La distribución y orientación de las luminarias y equipos con mayor eficiencia en iluminación permite colocar menos luminarias para cubrir una determinada área.

El sistema de iluminación de este laboratorio está formado por tres circuitos, cada uno de ellos enciende determinado número de luminarias. Personal encargado de este laboratorio, menciona que solo un circuito esta siempre encendido, los demás circuitos solo operan cuando hay prácticas, por lo que para el siguiente ejercicio solo tomará en cuenta un circuito con 9 luminarias encendidas desde las 9:00 a las 21:00 hrs.

La Tabla 4.14 muestra el ahorro de energía por sustitución para el circuito de 9 luminarias encendidas durante 12 horas a partir de las 9:00 a.m.

Area	Tipo Luminaria	Watts por Luminaria	Luminarias por circuito	Horas de Uso	Consumo Total kWh
Lab. Ing. Eléctrica	Gabinete Industrial 2x75	150	12	12	21.6
Lab. Ing. Eléctrica	Sobre poner con louver 2x54	104	9	12	11.2
<b>Ahorro de energía (kWh)</b>					<b>10.4</b>

Tabla 4.14 Ahorro de energía kWh para Lab. Ing. Eléctrica

La sustitución resulta en una disminución de 10.4 kWh al día; para conocer el costo por mantener encendidas estas luminarias se tendrá que partir el consumo en los horarios que interviene a lo largo del día.

De la tabla 2.2, donde se muestran los horarios tarifarios para la Cd. de Puebla, se desprende la siguiente distribución de kWh a lo largo del día. Por lo que el consumo energético se desgloza por una tarifa horaria.

La Tabla 4.15a muestra el consumo eléctrico de las luminarias que actualmente están instaladas.

La Tabla 4.15b muestra el consumo de energía eléctrica de las luminarias que se propones como sustitución.

Watts del circuito actual		1800	
Horario	Horas del día	Horas de uso por horario	kWh por horario
Base	00:00 - 06:00	0	0
Intermedia	06:00 - 18:00	9	16.2
Punta	18:00 - 22:00	3	5.4

a)

Watts del circuito propuesto		936	
Horario	Horas del día	Horas de uso por horario	kWh por horario
Base	00:00 - 06:00	0	0.0
Intermedia	06:00 - 18:00	9	8.4
Punta	18:00 - 22:00	3	2.8

b)

Tabla 4.15 Consumo de energía eléctrica del laboratorio de Ing. Eléctrica

La Tabla 4.16a y 4.16b con los valores de kWh para cada horario, se puede conocer el importe por cada horario.

Horario	kWh por horario	\$Energía Nov 2012	Importe
Base	0	1	0
Intermedia	16.2	1	16.2
Punta	5.4	1	5.4
Importe al día			\$21.6

a)

Horario	kWh por horario	\$Energía Nov 2012	Importe
Base	0	1	0.0
Intermedia	8.424	1	8.4
Punta	2.808	1	2.8
Importe al día			\$11.2

b)

Tabla 4.16 Importe al día por consumo de energía eléctrica

El aula de Termodinámica y Fluidos tiene un alto consumo de energía debido a las luminarias en su interior, cuenta con 12 luminarias de 150 watts cada una, arrojando un total en consumo de 1800 watts. Aunado a un alto consumo, la distribución actual de las luminarias no es óptima.

La figura 4.15 muestra los niveles actuales de iluminación en el laboratorio de Termodinámica y Fluidos.



Fig. 4.15 Niveles de iluminación con luminarias nuevas 2x75 watts en Lab. Termodinámica y Fluidos

Los niveles de iluminación proporcionados por el sistema LitePro, arrojan valores arriba de los 1200 luxes, que al igual que el Laboratorio de Ing. Eléctrica, estos valores serían los actuales si todas las lámparas estuvieran nuevas, sin embargo, los datos tomados con el fluxómetro, arrojan valores de entre 350 y 450 luxes, por lo que esta aula ya no cumple con los requerimientos mínimos de la NOM 025.

La Figura 4.16 muestra la simulación del montaje de luminarias 2x54 watts que sustituyen a luminarias 2x75 watts.

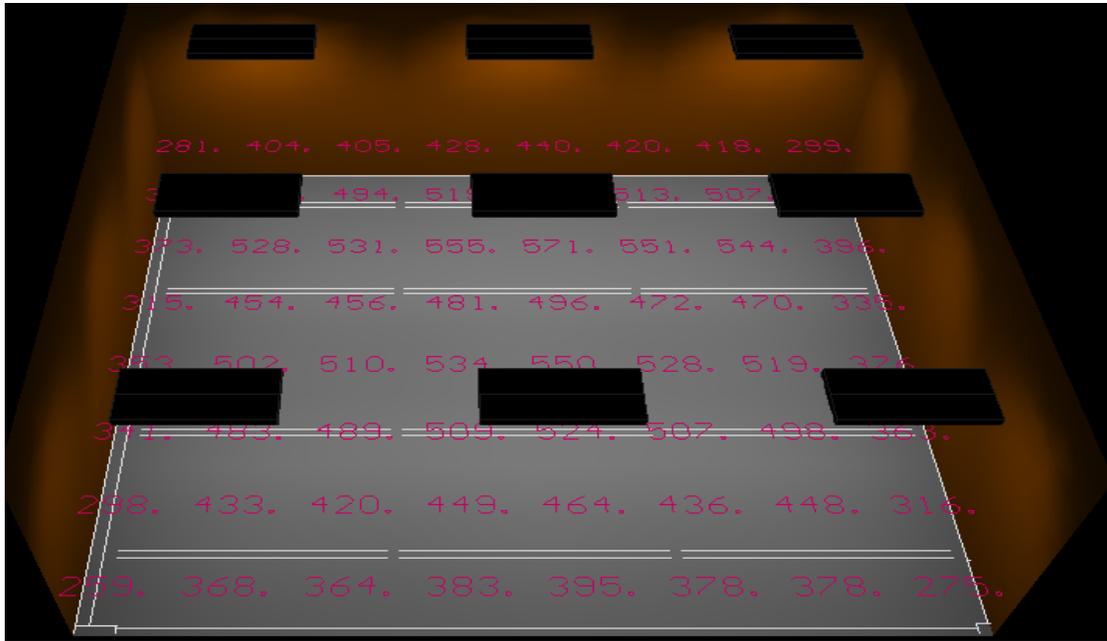


Fig. 4.16 Luxes proporcionados por luminarias 2x54 watts en Lab. de Termodinámica y Fluidos

En la planta baja, uno de los laboratorios con mayor consumo es el de Ing. Ambiental, con 18 luminarias 2x75 watts para las mesas de trabajo, dando una potencia total de 2700 watts y una cantidad de entre 500 y 590 luxes, cantidad aprobada por la norma para el tipo de trabajo que en este laboratorio se realiza.

La Figura 4.17 muestra una imagen de las instalaciones y montaje de las luminarias en el laboratorio de Ing, Ambiental.



Fig. 4.17 Iluminación en Laboratorio de Ingeniería Ambiental

En la figura 4.18 se muestra la simulación de la situación actual del Laboratorio de Ing. Ambiental; aun cuando las labores son continuas no siempre esta encendido el alumbrado, ya que existe un gran aporte de luz natural por una de las ventanas que dan hacia el estacionamiento, por lo que las horas de mayor consumo en el día se dan entre las 18:00 hrs y 21:00 hrs, justo el horario en el que el precio de la energía eléctrica es mayor.

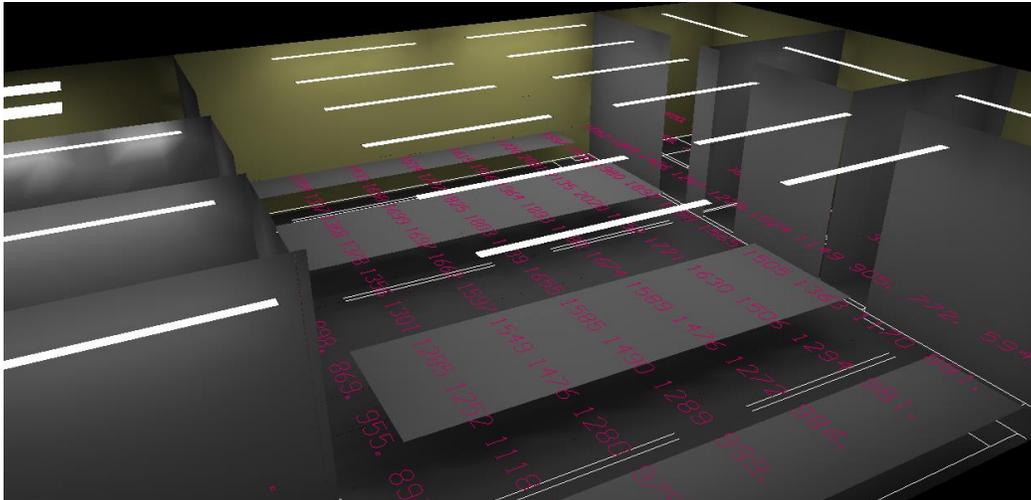


Fig. 4.18 Niveles de iluminación en el caso de que las luminarias tuvieran condiciones ideales

En el siguiente ejemplo, se sustituyen 18 luminarias 2x75 watts por 14 luminarias 2x54 watts, teniendo los siguientes niveles de consumo.

La Tabla 4.17 muestra los resultados de consumo de energía eléctrica para el Lab. de Ing, Ambiental bajo la situación actual y bajo la sustitución de luminarias.

Watts del circuito actual		2700		Watts del circuito propuesto		1456	
Horario	Horas del día	Horas de uso por horario	kWh por horario	Horario	Horas del día	Horas de uso por horario	kWh por horario
Base	00:00 - 06:00	0	0.0	Base	00:00 - 06:00	0	0.0
Intermedia	06:00 - 18:00	0	0.0	Intermedia	08:00 - 18:00	0	0.0
Punta	18:00 - 22:00	3	8.1	Punta	18:00 - 22:00	3	4.4

Tabla 4.17 Consumo de energía eléctrica de 18 luminarias 2x75 watts y de 14 luminarias 2x54 watts

El consumo actual para el laboratorio es de 8.1 kWh al día, mientras que con la propuesta se reduce a 4.4 kWh diarios.

Las Tablas 4.18a y 4.18b muestran una reducción en el importe debido a la sustitución de luminarias 2x75 watts por luminarias 2x54 watts.

Horario	kWh por horario	\$Energía Nov 2012	Importe
Base	0.0	0.9764	0
Intermedia	0.0	1.1735	0
Punta	8.1	2.0207	16.4
Importe al día			\$16.4

a) Costo actual

Horario	kWh por horario	\$Energía Nov 2012	Importe
Base	0.0	0.9764	0.0
Intermedia	0.0	1.1735	0.0
Punta	4.4	2.0207	8.8
Importe al día			\$8.8

b) Costo de propuesta

Tabla 4.18 Reducción de importe por sustitución de 18 luminarias 2x75 watts por 14 luminarias 2x54 watts

La Figura 4.19 muestra los niveles de iluminación sobre el plano de trabajo, en donde se alcanzan valores de entre 700 y 900 luxes, niveles que cumplen la norma para las actividades de este laboratorio. Cabe señalar que en la simulación se agregan el mobiliario y se delimita el área por paredes, puertas y ventanas.

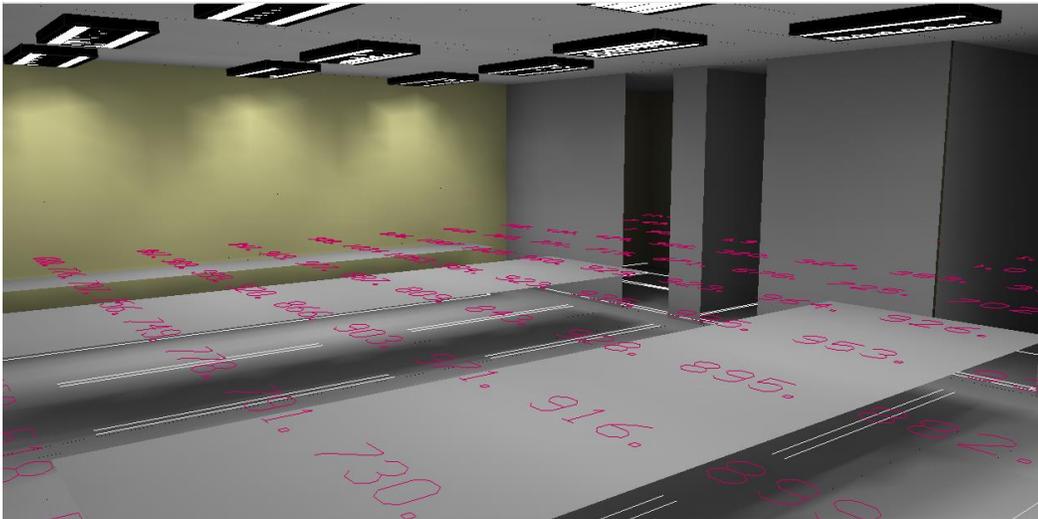


Fig. 4.19 Niveles de iluminación en Lab. Ingeniería Ambiental con vista en plano de trabajo.

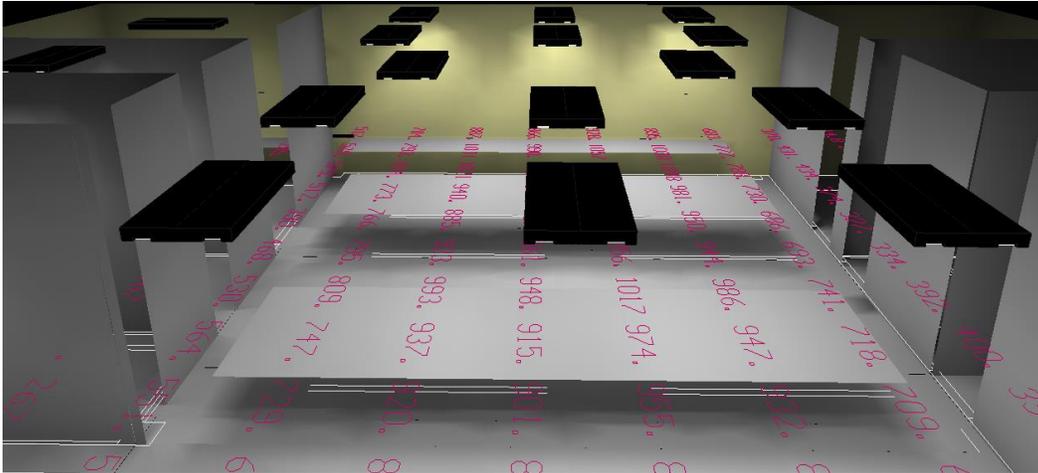


Fig. 4.20 Niveles de iluminación en Laboratorio Ingeniería Ambiental con vista superior

Algo importante a considerar para la sustitución de luminarias, es conocer las horas de uso que cada lámpara tiene a lo largo del día, pues de este dato se conocerá el consumo real de cada luminaria.

#### 4.2 Emisiones a la atmosfera del Laboratorio Integral

Las medidas para la producción de una energía más limpia, están contribuyendo a reducir la emisión de contaminantes por cada kWh producido.

Algunas centrales termoeléctricas tienen índices pequeños de emisión, debido a la tecnología que implementan para la generación de energía: la producción de 1 kWh todavía supone la emisión de 42 gramos de SO<sub>2</sub>, 18 gramos de NO<sub>x</sub> y 1 gramo de partículas en algunas instalaciones. Con datos de la SENER, la emisión de SO<sub>2</sub> pasó de los 10 a los 8 gramos por kWh entre 1995 y 2000.

La emisión de CO<sub>2</sub> aun cuando no es un contaminante, es un gas de efecto invernadero, cuyo impacto para el calentamiento global es de grandes magnitudes.

La tabla 4.19 muestra tanto las emisiones generadas por el uso diario de energía eléctrica del laboratorio integral bajo las condiciones actuales de operación y equipos como bajo una situación propuesta de sustitución de luminarias y apagado de algunas de ellas.

	Emisiones diarias			
	kWh	SO <sub>2</sub> (kg)	Nox (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)
Situación Actual	241	10.1	2.4	156.4
Situación Propuesta	141	5.9	1.4	91.6

Tabla 4.19 Emisiones a la atmosfera bajo condición actual

La tabla 4.15 presenta las emisiones al año con 200 días laborables.

	Emisiones por año			
	kWh	SO2 (kg)	Nox (kg)	CO2 (kg)
Situación Actual	241	2,021	481	26,951
Situación Propuesta	141	1,184	282	15,791

Tabla 4.20 Emisiones a la atmosfera bajo propuesta

Con las tablas 4.14 y 4.15 se puede apreciar que a partir de una sustitución por equipo eficiente (que haga el mismo trabajo con un menor consumo de energía), el consumo de energía se reduce, produciendo que las emisiones a la atmosfera también presenten una reducción.

En los ejemplos anteriores, se citaron únicamente a laboratorios con niveles altos en consumo de energía eléctrica derivado de su uso para iluminación, sin embargo, para las demás aulas y laboratorios también se hace una propuesta para sustituir lámparas de tamaño T12 por lámparas de mayor eficiencia de tamaño T5, brindando así los niveles de iluminación establecidos por la norma y reduciendo el consumo de energía eléctrica.

### 4.3 Monitoreo de energía eléctrica

Fue necesaria la instalación de equipo de monitoreo eléctrico, el cual registra la potencia que demandan las actividades cotidianas de la Facultad de Ingeniería; el sistema de monitoreo permite conocer los consumos de energía eléctrica y el costo monetario que implica el uso de la energía eléctrica al interior del Laboratorio Integral.

El equipo de monitoreo se engloba en el sistema de administración de energía Opti-dmaX, que comprende software y equipos de medición colocados en puntos estratégicos que permiten tener una buena referencia para el comportamiento eléctrico del laboratorio integral.

El sistema de monitoreo y administración de energía Opti-dmaX, es un software que en uno de sus módulos registra el consumo de energéticos dentro de un proceso o servicio. Puede medir y registrar variables como aire comprimido, flujo de agua, energía eléctrica y flujo de gas.

Para la Facultad de Ingeniería, la medición de consumo de energéticos se limita únicamente a la energía eléctrica, siendo que con el monitoreo de esta variable, se

podrá conocer el consumo por día, por horas clase, por semana o en cualquier periodo que el usuario considere conveniente. Aunado a esto, los costos que implica el uso de energía por las labores cotidianas de la Facultad de Ingeniería también son presentados por el sistema Opti-dmaX.

En la figura 4.6 se muestra la pantalla de todos los módulos del sistema.

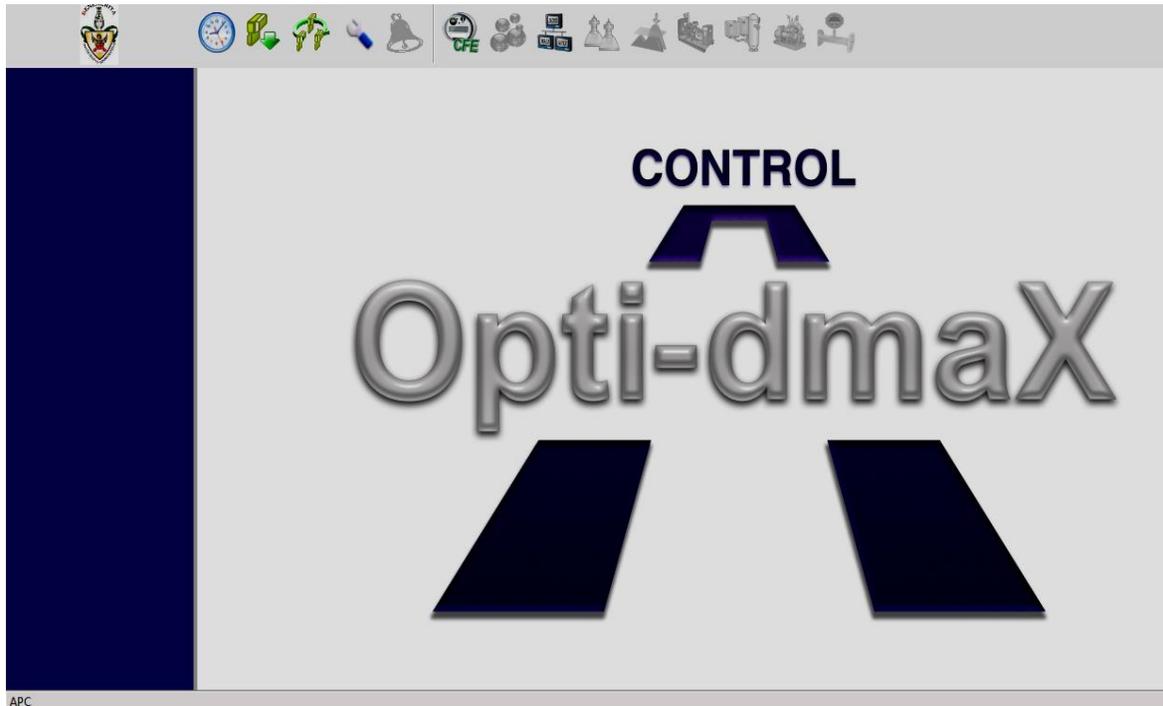


Figura 4.6 Pantalla del Sistema de Administración de Energía Opti-dmaX instalado en Facultad de Ingeniería

#### 4.3.1 Instalación de equipos de medición

La interfaz entre cualquier sistema eléctrico y el sistema Opti-dmaX es un medidor de energía, cuyo tipo dependerá de las variables eléctricas que se requieran medir y registrar.

Para el caso del Laboratorio Integral, se colocaron dos medidores de energía eléctrica Elnet (Fig. 4.7), los cuales fueron conectados como se muestra en el diagrama de la Figura 4.8.



Figura 4.7 Equipo de medición Elnet

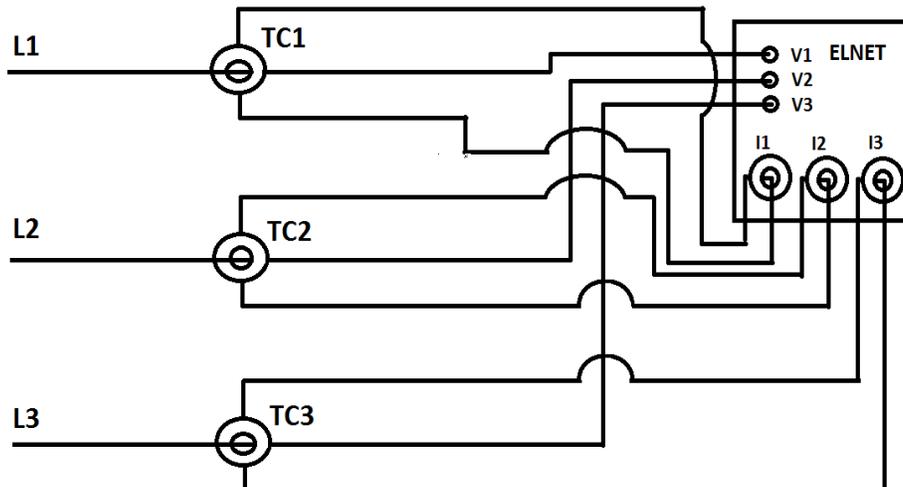


Figura 4.8 Conexión de medidor Elnet a sistema eléctrico

Como puede observarse en la figura 4.8, el equipo de medición Elnet necesita 3 señales de corriente y 3 señales de voltaje; las señales de corriente fueron tomadas con 3 TC's (transformadores de corriente), que son transductores que reciben una corriente de entre 0 y 200 Amperes y entregan a su salida valores de entre 0 y 5 amperes, suficientes para que el medidor Elnet (Fig. 4.7) interprete la señal y muestre la información en su display.

Las señales de voltaje deberán ser tomadas de preferencia del mismo punto de medición, por lo que para la implementación de este sistema, fue necesaria una maniobra de libranza, es decir, quitar el suministro de energía eléctrica del laboratorio integral por alrededor de una hora, con la finalidad de quitar el voltaje,

abrir las conexiones del interruptor principal e insertar los cables que darán una señal de voltaje línea-línea de 240 volts al medidor Elnet

Los TC's (transformadores de corriente) medirán únicamente los equipos eléctricos (lámparas, motores, equipo de cómputo) que se encuentren conectados a ese circuito, por lo que para esta acción fue necesario el uso del diagrama unifilar y ubicar eléctricamente los puntos correctos de medición.

Algo importante a señalar para la conexión de los TC's (transformadores de corriente) es que la salida de estos, no puede estar a más de cinco metros del medidor Elnet, siendo que el punto de medición ideal para el Laboratorio Integral se ubica casi a 15 metros, los que daría señales erróneas y la interpretación por el medidor y posteriormente por el Sistema Opti-dmaX sería incorrecta.

El medidor Elnet tiene las siguientes variables configuradas para ser mostradas en el sistema Opti-dmaX:

- Potencia activa total (kW)
- Potencia reactiva total (kVAR)
- Corriente Fase 1
- Corriente Fase 2
- Corriente Fase 3
- Voltaje Fase 1
- Voltaje Fase 2
- Voltaje Fase 3



Fig. 4.9 Equipos de medición junto a tablero principal de distribución

Para decidir en donde colocar los equipos de monitoreo, se deben contemplar factores como, distancias de cableado, espacio para ubicar los equipos, alto riesgo de descarga eléctrica tanto para el equipo como para usuarios o personal de instalación, disposición para montaje de equipos, seguridad de los equipos, etc. Sin embargo, algo imprescindible para colocar el equipo de monitoreo es conocer la distribución eléctrica, pues de esto depende que las mediciones sean representativas, es decir, que las lecturas correspondan al proceso o servicio que se desea evaluar. De esto, que sea necesario obtener o realizar un diagrama unifilar que represente la distribución eléctrica del inmueble.

Un diagrama unifilar es un plano en el que se describe la distribución del sistema eléctrico, el cual deberá contener la siguiente información:

- Acometida, indicando la tensión del suministro
- Alimentadores hasta los centros de carga, tableros de fuerza, alumbrado, etc., indicando en cada caso su longitud y caída de tensión representada en porcentaje.
- Circuitos alimentadores y circuitos derivados
- Tipo y capacidad de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos alimentadores y circuitos derivados
- Tamaño nominal, tipo de material y tipo de aislamiento de los conductores de fase y neutros de los circuitos alimentadores y derivados

#### **4.3.2 Configuración del sistema de administración de energía Opti-dmaX**

La configuración del software para recibir la información deberá incluir los siguientes datos.

- Región
- Tarifa
- Horarios Tarifarios
- Precios vigentes de energía eléctrica para la zona y tarifa en la cual se encuentra la Universidad
- Días festivos
- Nombres de los puntos de medición
- Tipo del medidor con el que se están registrando los valores de consumo

### 4.3.2.1 Región

La configuración de este valor en el sistema Opti-dmaX depende de la zona del país en el cual se instale, La CFE tienen dispuestas 7 regiones tarifarias, Baja California, Baja California Sur, Norte, Noreste, Noroeste, Sur, Central y Peninsular. Para el caso de la Cd. de Puebla, la región correspondiente es la zona Sur.

### 4.3.2.2 Tarifa

La tarifa depende de factores como nivel de tensión de suministro (voltaje), la potencia requerida para la operación de una planta industrial, comercio (demanda en kW) y el tipo de funcionamiento que tendrá o servicios que brindara el lugar donde CFE entregue la electricidad, (comercio, industria, agrícola, riego, etc)

Para el caso de la BUAP, la tarifa en la cual se encuentra inscrita es en la tarifa HM (tarifa horaria de media tensión), lo anterior significa que la BUAP recibe de CFE un voltaje de 13,200 volts y los transformadores de cada facultad, reducen ese voltaje a 440, 220 o 127 volts dependiendo de las necesidades del sitio.

### 4.3.2.3 Horarios Tarifarios

Se ha definido que la BUAP se encuentra en una tarifa HM y según la CFE, se ubica en la zona Sur, por lo que los horarios en los cuales se consume la energía al interior del laboratorio integral son los que se presentan en los periodos de las tablas 4.6a y 4.6b.

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00	20:00 - 22:00
		22:00 - 24:00	
Sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
Domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

a) Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00	18:00 - 22:00
		22:00 - 24:00	
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00	19:00 - 21:00
		21:00 - 24:00	
Domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

b) Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

Tabla 4.5 Horarios Tarifarios para regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

#### 4.3.2.4 Precios vigentes

Los precios de energía eléctrica son emitidos por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, para que la Secretaría de Energía a través de la CFE los haga efectivos hacia los usuarios con tarifas horarias cada mes y el resto de manera bimestral.

Como puede verse en las tablas de horarios para tarifa HM, los horarios también son determinados a partir del día de la semana en el cual se consume la energía. Es importante conocer estos horarios ya que cada uno de ellos tiene un costo diferente, Base es el más económico, siguiéndole Intermedio y siendo más caro el horario Punta, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

REGIÓN	CARGO POR KILOWATT DE DEMANDA FACTURABLE	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE PUNTA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA INTERMEDIA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE BASE
Baja California	\$ 298.75	\$ 2.0696	\$ 0.8177	\$ 0.6423
Baja California Sur	\$ 287.13	\$ 1.6604	\$ 1.1345	\$ 0.8030
Central	\$ 206.99	\$ 1.9835	\$ 0.9054	\$ 0.7569
Noreste	\$ 190.31	\$ 1.8321	\$ 0.8408	\$ 0.6888
Noroeste	\$ 194.36	\$ 1.8428	\$ 0.8343	\$ 0.6986
Norte	\$ 191.20	\$ 1.8451	\$ 0.8487	\$ 0.6899
Peninsular	\$ 213.91	\$ 1.9400	\$ 0.8507	\$ 0.7006
Sur	\$ 206.99	\$ 1.9426	\$ 0.8650	\$ 0.7198

Tabla 4.6 Tarifas para regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

#### 4.3.2.5 Días Festivos

Los días festivos son importantes a considerar debido a que como se puede observar en la Tabla 4.6, los horarios tarifarios varían en tres periodos cada semana, de Lunes a Viernes, Sábados y Domingos. Los días festivos son considerados al igual que un día domingo, en donde la mayor parte del tiempo es horario base, con el menor precio de energía,

Una vez configuradas las variables anteriores, el sistema de administración de energía Opti-dmaX está listo para poder mostrar datos en la pantalla del equipo de cómputo, el cual fue suministrado por la Dra. Margarita Teutli.

La Figura 4.10 muestra la ubicación del equipo de computo al interior del cuarto donde se aloja el tablero de distribución principal



Fig. 4.10 Medidores Elnet conectados y comunicados con equipo de cómputo

Al ser un sistema de monitoreo, tanto los medidores como el equipo de cómputo donde se recibe y procesa la información deberá estar encendido todo el tiempo, por lo que si por cualquier razón la PC se apaga, el tiempo que dure este evento será el tiempo en el que se perderá información.

Como se mencionó anteriormente, una de las variables que registra el sistema Opti-dmaX es la potencia activa (kW); con esta variable se observa de manera clara y sencilla cual es el comportamiento eléctrico de un sistema eléctrico y cual es su demanda de potencia ante el suministrador de energía (CFE).

La figura 4.11 muestra el comportamiento eléctrico del transformador de la Facultad de Ingeniería en un periodo de lunes a domingo. Se muestran los tres horarios tarifarios de la tarifa HM en la cual está inscrita la Universidad.

Verde -- Horario base  
Azul -- Horario intermedio  
Rojo -- Horario punta

El perfil eléctrico del transformador muestra las actividades cotidianas de toda la Facultad de Ingeniería,

Los días lunes, martes y miércoles se observa un comportamiento parecido entre ellos, los días jueves y viernes se presentan condiciones muy diferentes al resto de la semana, y el día sábado el consumo de energía es aproximadamente la mitad de cualquier día entre semana.

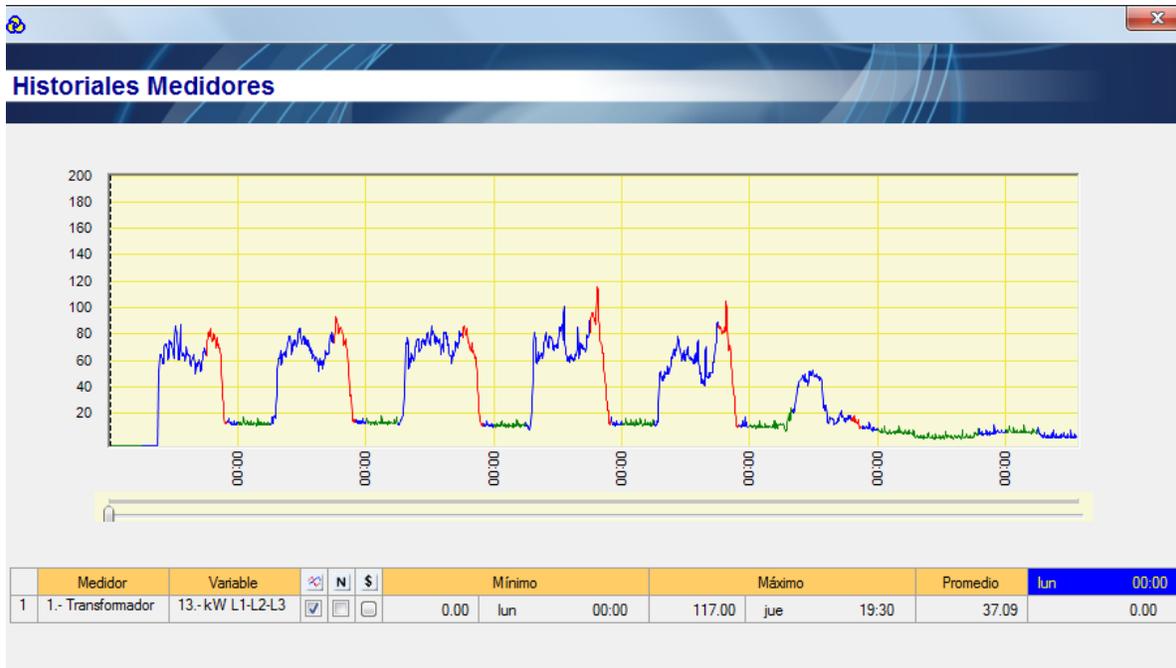


Fig. 4.11 Perfil de consumo de energía de la Facultad de Ingeniería de lunes a domingo

La figura 4.12 muestra el consumo de energía para la Facultad de Ingeniería en un día lunes, en donde se observa como el consumo de energía se incrementa a partir de las 07:00 hrs, descendiendo entre las 14:00 y 16:00 hrs, presumiblemente el horario en el que personal docente toma alimentos y, finalmente, empieza a disminuir a partir de las 20:00 hrs.



Fig. 4.12 Perfil de consumo de energía de la Facultad de Ingeniería

También se observa que al momento de empezar el horario punta (color rojo), se incrementa el nivel de consumo, teniendo un nivel máximo en el periodo de 95 kW, lo que refleja la demanda de energía derivada del uso del alumbrado al interior de las aulas o los laboratorios.

Tanto el costo por el uso de esta energía como los cargos o bonificaciones aplicables también se muestran en el Sistema Opti-dmaX,

La Figura 4.13 muestra los consumos de energía tanto para el laboratorio integral como para el resto de la Facultad, además del consumo se muestra el importe que se tendrá que pagar por el uso de esa energía.

Medidores Consumos										
No.	Nombre Medidor	kWh Base	kWh Inter	kWh Punta	kWh Tot	kVARh	FP	kWh Display	kVARh Disp...	
1	General	812	4,470	1,316	6,598	889	0.991	330,530	47,922	
2	Laboratorio Integral	565	3,384	966	4,915	899	0.9837	221,918	43,986	

Fig. 4.13 Consumos de energía e importe por el uso de la misma

La propuesta en específico para esta aula es la siguiente:

- Eliminar las luminarias actuales con lámparas T12 y consumo de 150 watts.
- Colocar luminarias con mejor eficiencia con lámparas T5 y consumo de 108 watts.
- Hacer una redistribución de las luminarias al interior del aula para alcanzar los 700 luxes establecido por la norma.

Con las anteriores propuestas, se consigue reducir el consumo de energía, de 1800 a 972 watts al momento de estar todas las luminarias encendidas. Los niveles de iluminación no se ven perjudicados al reducir el número de luminarias, por el contrario, supera lo actualmente instalado de entre 350 y 450 luxes a valores de entre 370 y 530 luxes determinados por la simulación, siendo que según la norma, los valores mínimos para un aula de estudio son 300 luxes. En la Fig. 22 se muestra la vista superior.

La tabla 4.7 muestra el consumo actual de energía de la planta baja.

Área	Watts luminaria	Total de luminarias	Watts totales	Horas Uso	Consumo Total
Ambiental	150	18	2,700	3	8,100
Ambiental	156	2	312	5	1,560
Corredor 4	78	2	156	14	2,184
Corredor 3	150	2	300	14	4,200
Corredor servicio medico	150	1	150	14	2,100
Hidráulica	150	12	1,800	4	7,200
Cuarto de curado	150	2	300	6	1,800
Suelos	150	6	900	3	2,700
Pavimentos	150	4	600	3	1,800
Textil	78	2	156	8	1,248
Textil	78	3	234	8	1,872
Textil	150	12	1,800	8	14,400
Mecánica	150	39	5,850	7	40,950
Industrial	156	25	3,900	2	7,800
<b>Consumo Total kWh</b>					<b>97,914</b>

Tabla 4.7 Consumo en KWh de laboratorios en la planta baja con situación actual

La tabla 4.8 muestra la energía consumida en la planta baja en el caso de contar con las nuevas luminarias para cada laboratorio.

Área	Watts luminaria	Total de luminarias	Watts totales	Horas Uso	Consumo Total
Ambiental	108	14	1,512	3	4,536
Ambiental	108	2	216	5	1,080
Corredor 4	54	2	108	14	1,512
Corredor 3	54	2	108	14	1,512
Corredor servicio medico	54	1	54	14	756
Hidráulica	108	12	1,296	4	5,184
Cuarto de curado	108	2	216	6	1,296
Suelos	108	6	648	3	1,944
Pavimentos	108	4	432	3	1,296
Textil	54	2	108	8	864
Textil	54	3	162	8	1,296
Textil	108	12	1,296	8	10,368
Mecánica	54	63	3,402	7	23,814
Industrial	108	25	2,700	2	5,400
<b>Consumo Total kWh</b>					<b>60,858</b>

Tabla 4.8 consumo en KWh de laboratorios en la planta baja con propuesta de iluminación

La tabla 4.9 muestra el consumo actual de energía de la planta baja.

Área	Watts luminaria	Total de luminarias	Watts totales	Horas Uso	Consumo Total
Lab. Eléctrica	150	32	4,800	4	19,200
Almacén topografía	150	12	1,800	8	14,400
Lab. física	150	3	450	4	1,800
Cubo topo-física	150	1	150	4	600
Corredor 1	156	6	936	14	13,104
Ciencias de la tierra	156	6	936	4	3,744
Geofísica Lab. geología	156	6	936	4	3,744
Lab. geofísica computacional	156	6	936	4	3,744
Lab. industrial CIM	156	25	3,900	4	15,600
Corredor 2	78	6	468	14	6,552
Lab. sísmica	150	8	1,200	4	4,800
Termodinámica y fluidos	150	12	1,800	4	7,200
Pasillo escalera	150	3	450	14	6,300
Sanitarios	78	3	234	1	234
Intendencia	78	1	78	1	78
Recepción	156	2	312	8	2,496
Oficina	156	2	312	8	2,496
Sala de juntas	156	2	312	2	624
Cubo labs. Civil	400	30	12,000	3	36,000
<b>Consumo Total</b>					<b>142,716</b>

Tabla 4.9 consumo en KWh de laboratorios en la planta alta con situación actual

La tabla 4.8 muestra la energía consumida en la planta alta en el caso de contar con las nuevas luminarias para cada laboratorio.

Área	Watts luminaria	Total de luminarias	Watts totales	Horas Uso	Consumo Total
Lab. Eléctrica	108	27	2,916	4	11,664
Almacén topografía	54	12	648	8	5,184
Lab. física	108	3	324	4	1,296
Cubo topo-física	108	1	108	4	432
Corredor 1	54	6	324	14	4,536
Ciencias de la tierra	108	6	648	4	2,592
Geofísica Lab. geología	108	6	648	4	2,592
Lab. geofísica computacional	108	6	648	4	2,592
Lab. industrial CIM	108	25	2,700	4	10,800
Corredor 2	54	6	324	14	4,536
Lab. sísmica	108	8	864	4	3,456
Termodinámica y fluidos	108	9	972	4	3,888
Pasillo escalera	54	4	216	14	3,024
Sanitarios	54	3	162	1	162
Intendencia	54	1	54	1	54
Recepción	108	2	216	8	1,728
Oficina	108	2	216	8	1,728
Sala de juntas	108	2	216	2	432
Cubo labs. Civil	216	30	6,480	3	19,440
<b>Consumo Total</b>					<b>80,136</b>

Tabla 4.10 Consumo en KWh de laboratorios en la planta alta con propuesta de iluminación

El consumo total de energía con las instalaciones actuales es de 240.63 kWh al día, mientras que con el reemplazo de luminarias el consumo será de 140.55 kWh, lo que representa un ahorro de 100 kWh diarios, impactando tanto en el costo de la energía como en las emisiones a la atmosfera.

La sustitución y reubicación en algunos casos de luminarias, permite obtener los niveles solicitados por la NOM 025 en materia de iluminación, consumiendo menos energía y produciendo mayores niveles de iluminación.

El costo por mantener encendido el alumbrado con equipo eficiente es menor, por lo que a la compañía suministradora CFE se le demanda menos potencia, resultando en una baja en la quema de combustóleo.

## **CONCLUSIONES**

**Adicional a esto, cuando se activa el interruptor de la sección de alumbrado, se encienden 18 luminarias, por lo que aparte de la sustitución de luminarias, deberán existir al menos dos circuitos de alumbrado para las mesas de trabajo.**

**La elaboración del diagrama unifilar del tablero de distribución principal de la Facultad de Ingeniería permitió conocer derivaciones eléctricas no apropiadas, con tableros de distribución ubicados en zonas con un difícil acceso para el caso de mantenimiento, reubicación, o para alguna contingencia.**

**Uno de los puntos de medición es el transformador de la Facultad de Ingeniería, con una capacidad de 500 kVA; la ubicación de los TC's no representa problema en cuanto a la distancia de cableado. Sin embargo, la distancia para medir el laboratorio integral, superaba los diez metros, motivo por el cual se tuvo que instalar en un interruptor que alimenta a Cubículos Vestíbulo, Edif. 124, Auditorio, Tablero  $\Omega$  y Ambiental, tablero que se encuentra dentro del Laboratorio Integral.**

**Con esta conexión, se mide el comportamiento eléctrico de las áreas antes mencionadas, motivo por el cual no se tiene una medición puntal del Laboratorio Integral.**

Reemplazar las lámparas deterioradas por unas del mismo tipo resolvería el problema de iluminación, ya que por el tipo de luminarias que se tienen actualmente, el nivel de iluminación se reduce con el deterioro normal de las lámparas, sin embargo, el consumo seguiría siendo alto, aunado al hecho de que las lámparas son del tipo T12, lámparas que son obsoletas y solo son distribuidas para algunos países de Centro y Sud América, entre los cuales se encuentra México.

Con esta sustitución mejora la iluminación al interior, disminuye el consumo de energía eléctrica y le da al laboratorio de Ing. Eléctrica una mejor estética debido al acabado que presentan las luminarias propuestas.

Es de destacar, que todas las noches entre semana se queda operando carga viciosa o equipos de alumbrado. Para cualquiera que fuera el caso, carga viciosa, alumbrado o ambos, el consumo de energía es elevado.

Desafortunadamente, necesitaríamos un equipo de monitoreo por cada circuito de alumbrado para conocer con mayor aproximación las horas en las que se encuentra encendido.