



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN**

**“DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN EL EDIFICIO DEL CENTRO DE
CÓMPUTO Y ANEXOS DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN”**

TESIS

**QUE PARA RECIBIR EL TÍTULO DE:
INGENIERO MÉCANICO ELECTRICISTA
ÁREA: ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA**

PRESENTAN:

**BARRERA CHAVARRIA MARIO ALBERTO
GUERRERO MACHUCA JOSÉ GABRIEL**

ASESOR:

M. en I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ

SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO, JUNIO DEL 2005

m346819



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Quiero dedicar esta tesis.....

A MI MADRE:

CRISTINA CHAVARRIA MEJÍA

Por su gran dedicación y apoyo tanto económico como moral hasta el día de hoy, por haberme inculcado buenas costumbres y modales, por darme el ejemplo de que trabajando duro puedes alcanzar las metas que te propongas, por ayudarme en los momentos difíciles y por muchas cosas mas que me sería imposible escribir quiero agradecerle a mi madre toda la ayuda incondicional, cariño y comprensión, por lo cual tiene tomo mi respeto y admiración.

A ENRIQUE GONZÁLES CERON:

Por el apoyo brindado durante todos mis estudios universitarios, y por haber sido parte fundamental para que yo llegase a terminar mi carrera.

A MI ABUELITA, ABUELITO Y TIOS:

Por haberme ayudado en tiempos difíciles a no sentirme solo, por brindarme compañía y apoyo.

A MI ASESOR:

DAVID FRANCO MARTÍNEZ

Por la ayuda, el apoyo y el respaldo que de él recibí, para realizar y poder culminar esta tesis.

A LA UNIVERSIDAD Y A TODOS LOS PROFESORES:

Por haberme formado como profesionista y haberme hecho un mejor ser humano, dotándome de todos los conocimientos adquiridos durante mi estancia en ella y con ellos.

A MIS SÍNODOS:

*Ing. Frenando Martínez Iturbe
Ing. Francisco Raúl Ortiz González
Ing. Sergio Padilla Arteaga
Ing. José Luís García Espinosa*

*Por sus aportaciones a este trabajo, muchas gracias.
A mis compañeros y amigos que a lo largo de la carrera estuvimos juntos realizando tareas, proyectos y exámenes, sobre a todo a quines me acompañaron desde el primer semestre como a mi compañero Gabriel por su amistad y por ser uno de mis mejores amigos, que estuvo trabajando conmigo hasta en el final, a Iván Moreno, Rodrigo Vázquez, Alain Pérez, Adrián Ruiz, Iván Méndez, Andrés González, Israel García, a Norma A. Ordóñez por haberme ayudado en momentos difíciles y apoyarme dándome su amor y comprensión y a todos con los que conviví en la escuela y no es que se me olviden pero son un muchos a todos ellos gracias por ser unos grandes amigos.*

BARRERA CHAVARRIA MARIO ALBERTO

"Por mi raza hablara el espíritu"

GRACIAS.

QUIERO DEDICAR ESTA TESIS...

A mis padres. Joaquín Guerrero Aguilar y
Ma. De Jesús Machuca Guerrero:

Una gran dedicación por haber recibido todo el apoyo y cariño que necesite para poder alcanzar esta meta. Por los grandes esfuerzos y sacrificios que realizaron a lo largo de todos estos años, sobre todo en esos momentos difíciles de mi vida en los que no me dejaron caer y me motivaron para que siga adelante.

Este trabajo contiene todo el ejemplo que mis padres me dieron, de que trabajando duro se puede conseguir varias metas en la vida.

Les agradezco su contribución ya que sin ellos no hubiera podido terminar este trabajo.

A mi hermana Yolanda:

Por su ejemplo y consejos que me ayudo, en inicio, a estudiar una licenciatura, y por su apoyo para terminarla, así como su compañía a lo largo de toda mi vida.

A mi asesor David Franco Martínez:

Por su apoyo durante mi servicio social y elaboración de tesis, en el encontré un gran amigo con el que trabaje y aprendí mucho, contribuyendo a mi formación como profesional y persona.

A mis sínodos:

Ing. Frenando Martínez Iturbe
Ing. Francisco Raúl Ortiz González
Ing. Sergio Padilla Arteaga
Ing. José Luís García Espinosa

Por sus aportaciones a este trabajo, muchas gracias.

A mis compañeros y amigos que a lo largo de la carrera estuvimos juntos realizando tareas, proyectos y exámenes, sobre a todo a quines me acompañaron desde el primer semestre como a mi compañero Mario Alberto que estuvo trabajando conmigo hasta en la tesis, a Iván Moreno, Rodrigo Vázquez, Aláin Pérez, Evodio Félix, Adrián Ruiz, Iván Méndez, Andrés González, David Navarro, Guillermo Santiago, mi socio Israel García, Edna Pérez y a todos con los que conviví en la escuela y no es que se me olviden pero son un muchos a todos ellos gracias por ser unos grandes amigos.

Gabriel Guerrero Machuca

"Por mi raza hablara el espíritu"

GRACIAS

ÍNDICE	Pág.
CAPITULO1 CALIDAD DE ENERGÍA	
INTRODUCCIÓN.	2
1.1 CALIDAD DE ENERGÍA	3
1.1.1 ¿Qué es calidad de energía?	3
1.1.2 Hacia donde están enfocados los estudios de la calidad de la energía	4
1.1.3 Repercusiones por mala calidad de energía	4
1.2 NORMAS INTERNACIONALES DE CALIDAD DE LA ENERGÍA	5
1.3 NORMAS EN MÉXICO	6
1.3.1 Impacto de las normas de eficiencia energética en México	6
1.4 FACTOR DE POTENCIA	7
1.4.1 Triángulo de potencias	7
1.4.1.1 Potencia reactiva	8
1.4.1.2 Potencia activa	8
1.4.1.3 Potencia aparente	8
1.4.2 El factor de potencia (FP)	8
1.4.2.1 Desventajas de un bajo factor de potencia	9
1.4.2.2 Ventajas de un buen factor de potencia	10
1.4.2.3 Cargos y bonificaciones por factor de potencia mayor a 0.9	10
1.4.3 Métodos para compensar el FP	11
1.4.3.1 Compensación individual en motores	12
1.4.3.2 Compensación individual en transformadores de distribución	12
1.4.3.3 Compensación en grupo	13
1.4.3.4 Compensación combinada	14
1.5 DISTORSIONES DE ONDA	14
1.5.1 Armónicos	14
1.5.2 La distorsión armónica y sus efectos perjudiciales	14
1.5.3 Filtros de armónicas	15
1.5.2 Ruido eléctrico	16
1.6 TRANSITORIOS ELÉCTRICOS	17
1.6.1 ¿Qué es un transitorio eléctrico?	17
1.6.2 Tipos de transitorios	17

1.6.2.1	Transitorios por conmutación	17
1.6.2.2	Transitorios por descargas atmosféricas	18
1.6.2.3	Transitorios por descargas electrostáticas	18
1.6.3	Clasificación de los transitorios de acuerdo a la frecuencia con que se presentan	18
1.6.3.1	Transitorios repetitivos	18
1.6.3.2	Transitorios al azar	19
1.6.4	Protección contra transitorios	20
1.6.4.1	Supresores de picos de voltaje transitorios	21
1.6.4.2	Selección y ubicación de los supresores	21
1.6.5	Variaciones de voltaje	22
1.6.5.1	Baja-tensión (Sag)	23
1.6.5.2	Sobre-tensión (swell)	24
1.6.5.3	Interrupciones	25
1.6.6	El efecto de parpadeo (FLICKER)	25
1.6.7	Desbalance de tensiones	26
1.6.8	Variaciones de Frecuencia	26
1.7	EQUIPOS UTILIZADOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA	27
1.7.1	Banco de capacitores	
1.7.2	Transformadores de aislamiento o también llamados de Factor K	27
1.7.3	UPS Fuentes de Energía Ininterrumpible (Uninterruptible Power Supply)	27
1.7.3.1	UPS estáticas	27
1.7.3.2	Partes que componen a los UPS	28
1.7.4	Consideraciones para especificar un UPS	29
1.7.5	Inconvenientes de los UPS	29
CAPITULO 2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO		
INTRODUCCIÓN		31
2.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO		33
2.1.1	¿Qué se necesita para llevar a cabo un diagnóstico energético?	34
2.1.2	Diagrama de flujo de la metodología del diagnóstico energético	35
2.2 ADMINISTRACIÓN ENERGÉTICA		36
2.3 CONTROL DE DEMANDA		37
2.4 ESTUDIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA		37
2.5 ASPECTOS A DIAGNOSTICAR		39
2.5 DIAGNÓSTICOS DE PRIMER GRADO		40

2.6 DIAGNÓSTICOS DE SEGUNDO GRADO	40
2.7 DIAGNÓSTICOS DE TERCER GRADO	41
2.8 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DIAGNÓSTICO	41
2.8.1 Operativa	41
2.8.2 Energética	41
2.8.3 Economía	41
2.8.4 Política	41
2.8.5 Instrumentos para las mediciones de campo	42
2.9 ÁREAS DE APLICACIÓN DE LOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS	42
2.10 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA	42
2.10.1 Relación beneficio-coste	42
2.10.2 Método de evaluación económica	42
2.11 RECOMENDACIONES GENERALES PARA AHORRAR ENERGÍA	43
CAPITULO 3 CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN	
INTRODUCCIÓN	48
3.1 DEFINICIONES	49
3.2 LUMINOTECNIA	51
3.2.1 Temperatura de color	52
3.2.2 Unidades de medida para iluminación	53
3.2.2.1 Flujo luminoso	54
3.2.2.2 Nivel de iluminación	54
3.2.2.3 Intensidad luminosa	55
3.2.2.4 Luminancia	56
3.3. MÉTODOS DE CÁLCULO PARA ILUMINACIÓN.	56
3.3.1 Cálculo punto por punto	56
3.3.2 Método de lúmenes	58

3.4 LÁMPARAS Y SUS COMPONENTES	64
3.4.1 La eficacia luminosa	64
3.4.2 Lámparas de incandescencia	65
3.4.3 Lámparas de incandescencia con halogenuros	65
3.4.4 Lámparas fluorescentes	67
3.4.4.1 Consideraciones de funcionamiento sobre los tubos fluorescentes	70
3.4.5 Lámparas fluorescentes compactas	73
3.4.6 Lámparas de vapor de mercurio	74
3.4.7 Lámparas de luz mezcla	76
3.4.8 Lámparas de mercurio con halogenuros o de aditivos metálicos	76
3.4.9 Lámparas de vapor de sodio a baja presión	78
3.4.10 Lámparas de vapor de sodio a alta presión	80
3.5. BALASTROS	82
3.5.1 División de los balastros para lámparas fluorescentes	83
3.5.2 Balastro Electromagnético	84
3.5.3 Balastro híbrido	84
3.5.4 Balastro electrónico	85
3.5.5 Ventajas comparativas del balastro electrónico respecto del convencional	85
3.5.6 La opción de balastro electrónico genérico.	87
3.6 NIVELES DE ILUMINACIÓN	89
3.6.1 Nivel de iluminación recomendados	89
3.6.2 Alumbrado de exteriores y público vial	91
3.6.3 Alumbrado industrial interior y exterior	92
CAPITULO 4 LA PRESENCIA DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS	
INTRODUCCIÓN	96
4.1 LA IMPORTANCIA DE ENTENDER LOS ARMÓNICOS, EN LOS SISTEMAS ACTUALES	97
4.2 COMPONENTES ARMÓNICAS Y CUANTIFICACIÓN DE LA DISTORSIÓN	99
4.3 LA GENERACIÓN DE ARMÓNICAS EN LA ONDA SENOIDAL	100
4.3.1 Armónicos pares	102
4.3.2 Armónicos impares	103

4.4 ARMÓNICAS EN LAS CARGAS MONOFÁSICAS	104
4.4.1 Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS)	104
4.4.2 Balastos de iluminación fluorescente	105
4.5 ARMÓNICAS EN LAS CARGAS TRIFÁSICAS	106
4.6 EFECTOS DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS	107
4.6.1 Efecto en cables y conductores	109
4.6.2 Efecto en transformadores	109
4.6.3 Efecto en interruptores (breakers)	112
4.6.4 Efecto en el neutro	112
4.6.5 Efecto en los bancos de capacitores	113
4.6.5.1 Resonancia paralelo	113
4.6.5.2 Resonancia serie	114
4.6.6 Efecto en los motores de inducción	115
4.6.7 Efectos en otros equipos	116
4.7 EFECTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA	116
4.7.1 Potencia activa y energía en redes con ondas distorsionadas	117
4.7.2 Potencia reactiva en redes con ondas distorsionadas	117
4.7.3 Reactancia en redes con ondas distorsionadas	118
4.8 INTERPRETACIÓN Y APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE-519	119
4.8.1 Caso de Ejemplo	121
4.8.2 Conclusiones	123
CAPITULO 5 METODOLOGÍA DE DIAGNOSTICO	
INTRODUCCIÓN	125
5.1 METODOLOGÍA DE DIAGNOSTICO	126
5.1.2 Características de los Formatos	126
5.1.2.1 Información contenida en los formatos	126
5.1.2.2 Información complementaria	126
5.1.2.3 Determinación de la situación actual	126
5.1.2.4 Localización de áreas	127
5.1.2.5 Dimensiones	127
5.1.2.6 Hábitos de consumo y equipo misceláneo	127
5.1.2.7 Equipo de iluminación instalado	127
5.1.2.8 Interacción con equipo adicional	128

5.1.3 Evaluación económica	128
5.2 LEVANTAMIENTITO DE DATOS	129
5.2.1 Recursos con los que debe contar el personal	129
5.2.2 Procesamiento de la información	132
5.3 FACTURACIÓN ELÉCTRICA	132
5.3.1 Conceptos totales que integran una facturación eléctrica	133
5.4 ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO	134
5.4.1 Equipo de medición utilizado para el diagnostico energético	137
5.4.1.1 Analizador de redes eléctricas	137
5.4.1.2 Terrómetro	138
5.4.1.3 Pirómetro con mira láser	138
5.4.1.4 Analizador de armónicas GENIUS HT 5060	139
5.4.1.5 Luxómetro	140
5.5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN EDIFICIOS	140
5.5.1 Objetivos principales	141
5.5.2 Recopilación de la información	141
5.5.2.1 Reconocimiento de áreas	141
5.5.2.2 Censo de alumbrado	142
5.5.3 Identificación de los horarios de operación	146
5.5.4 Metodología para medición del flujo luminoso	147
5.5.4.1 Ubicación de los puntos de medición	147
5.5.4.2 Instrumentación	149
5.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	149
5.6.1 Equipo de alumbrado	149
5.6.2 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado	149
5.6.3 Niveles de iluminación recomendados	151
5.7 IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES BASADO EN EL DIAGNÓSTICO	151
5.7.1 Contabilidad energética	152

CAPITULO 6 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

INTRODUCCIÓN	154
6.1 DATOS DEL INMUEBLE	154
6.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE TRABAJO Y EL CENSO DE CARGAS EN ILUMINACIÓN	154
6.3 ANÁLISIS DE FACTURACIÓN	155
6.4 DEMANDA FACTURABLE	155
6.5 DIAGNOSTICO GRAFICO PARA EL ANALIZADOR DE REDES	157
6.5.1 Análisis de las armónicas respecto a las mediciones realizadas con el analizador de redes	160
6.6 ANÁLISIS CON EL MEDIDOR DE ARMÓNICAS, GENIUS HT 5060	163
6.6.1 Análisis de Armónicas en el Transformador de 150 KVA	163
6.6.2 Análisis de armónicas en el Transformador de 45 KVA	164
6.6.3 Transformadores reguladores para el centro de cómputo	166
6.7 AUDITORIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA	168
6.8 REVISIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO DEL CENTRO DE CÓMPUTO Y ANEXOS RESPECTO A LA NOM-001-SEDE-1999	171
6.8.1 Evaluación conforme a normas	171
6.8.1.1 Alambrado y protección. Disposiciones generales	173
6.8.1.2 Clasificación de los circuitos derivados	174
6.8.1.3 Alimentadores	176
6.8.1.4 Alimentadores y acometidas	176
6.8.1.5 Cálculos opcionales de cargas adicionales en instalaciones existentes (220-35)	177
6.8.1.6 Acometidas subterráneas	178
6.8.1.7 Conductores de entrada de acometida	178
6.8.1.8 Equipo de acometida	179
6.8.1.9 Equipo de acometida. Protección contra sobre corriente	180
6.8.1.10 Puesta a tierra	180
6.8.1.11 Disposiciones varias	182

6.9 ANÁLISIS PARA LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL PIRÓMETRO Y EL TERRÓMETRO	186
6.9.1 Mediciones del pirómetro	186
6.9.2 Mediciones con el termómetro	187
6.10 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	187
6.10.1 Niveles de iluminación	187
6.10.2 Análisis de la densidad de potencia eléctrica en alumbrado (DPEA)	188
6.10.3 Propuestas para mejorar el sistema de iluminación en el edificio del centro de cómputo y anexos	188
6.11 CAMBIO DE LÁMPARAS	189
CONCLUSIONES	191
BIBLIOGRAFÍA	197
ANEXOS	
ANEXO A Normas de eficiencia energética	I
ANEXO B Densidad de potencia eléctrica	II
ANEXO C Niveles de iluminación recomendados por la I.E.S. y S.M.I.I.	III
ANEXO D Puesta a Tierra	V
ANEXO E Censo de Cargas en iluminación y sistema eléctrico, niveles de iluminación en el edificio del centro de cómputo y anexos	XXIII
ANEXO F Graficas del comportamiento del sistema eléctrico del edificio del centro de cómputo y anexos	XXXIX
ANEXO G Datos básicos del edificio del centro de cómputo y anexos	LXXXVI
ANEXO H Medidas de seguridad en instalaciones eléctricas	LXXXVII
ANEXO I Planos del sistema eléctrico del edificio del centro de cómputo y anexos	CI

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1 CALIDAD DE LA ENERGÍA

Tabla 1.1 Valores de capacitores para compensación individual en transformadores	13
Tabla 1.2 Principales equipos susceptibles a los swell.	24

CAPÍTULO 3 CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN

Tabla 3.1 Ejemplos de temperatura de color.	53
Tabla 3.2 Temperaturas de color características en lámparas.	53
Tabla 3.3 Magnitudes para iluminación.	53
Tabla 3.4 Ejemplos de flujos luminosos.	54
Tabla 3.5 Niveles de iluminación.	54
Tabla 3.6 Ejemplos de intensidad luminosa.	56
Tabla 3.7 Ejemplos de luminancia.	56
Tabla 3.8 Coeficiente de utilización.	59
Tabla 3.9 Reflexiones aproximadas.	61
Tabla 3.10 Factores de depreciación por suciedad acumulada en las superficies del cuarto.	63
Tabla 3.11 Clasificación de balastos de acuerdo a su especificación GEB.	88
Tabla 3.12 Valores máximos permisibles de DPEA.	90
Tabla 3.13 Valores máximos de DPEA para vialidades (W/m ²).	91
Tabla 3.14 Valores máximos de DPEA para estacionamientos.	92
Tabla 3.15 Valores máximos de DPEA para sistemas de iluminación en vialidades con superpostes (arriba de 18 m.).	92
Tabla 3.16 Niveles mínimos de iluminación (NOM-025-STPS-1999).	93

CAPÍTULO 4 LA PRESENCIA DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Tabla 4.1 Múltiplos impares de la corriente fundamental.	103
Tabla 4.2 Principales efectos de las armónicas sobre el sistema eléctrico.	108
Tabla 4.3 Ejemplo de efecto piel en conductores.	109
Tabla 4.4 Transformadores con factor K disponibles comercialmente.	112
Tabla 4.5 (a) IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.	119
Tabla 4.5 (b) IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.	120
Tabla 4.6 Límites de distorsión de Voltaje según IEEE 519	120
Tabla 4.7 Valores medios para armónicas en la corriente.	121
Tabla 4.8 Resultado de los cálculos para datos obtenidos en el caso ejemplo.	121
Tabla 4.9 Cálculos para obtener el valor K.	122

CAPÍTULO 5 METODOLOGÍA DEL DIAGNOSTICO

Tabla 5.1 Formato de datos básicos del inmueble.	135
Tabla 5.2 Formato de zonificación de áreas.	136
Tabla 5.3 Formato de datos de facturación.	136

Tabla 5.4 Sistemas de alumbrado más comunes.	144
Tabla 5.7 Formato para recopilación del censo de alumbrado.	146
Tabla 5.8 Relación entre el índice de área y el número de zonas de medición.	148
Tabla 5.9 Formato para datos de medición de los niveles de iluminación.	148
Tabla 5.10 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA).	150

CAPITULO 6 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Tabla 6.1 Facturación.	155
Tabla 6.2 Factores de reducción de Luz y Fuerza del Centro.	156
Tabla 6.3 Horarios de facturación en el horario de verano.	156
Tabla 6.4 Horarios de facturación en el horario de invierno.	157
Tabla 6.5 Ejemplo de valores para corrientes proporcionados por el analizador de redes.	157
Tabla 6.6 Ejemplo de valores para voltaje proporcionados por el analizador de redes.	157
Tabla 6.7 Ejemplo de valores para porcentaje de armónicas proporcionados por el analizador de redes.	158
Tabla 6.8 IEEE 519 Limites en la distorsión de corriente.	161
Tabla 6.9 Datos obtenidos por el GENIUS para el transformador de 150 KVA.	163
Tabla 6.10 Calculo del factor K para el transformador de 150 KVA.	164
Tabla 6.11 Datos obtenidos por el GENIUS para el transformador de 45 KVA.	164
Tabla 6.12 Calculo del factor K para el transformador de 45 KVA	165
Tabla 6.13 Datos obtenidos por el GENIUS para la salida del transformador regulador.	166
Tabla 6.14. Calculo del factor K para la salida del transformador regulador.	166
Tabla 6.15 Datos obtenidos por el GENIUS para la salida en el transformador regulador.	167
Tabla 6.16 Calculo del factor K para la salida en el transformador regulador.	167
Tabla 6.17 Distancias de trabajo.	172
Tabla 6.18. Carga máxima a un receptáculo para aparatos eléctricos con cordón y clavija.	174
Tabla 6.19 Resumen de los circuitos de los circuitos derivados.	174
Tabla 6.20 Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos.	181
Tabla 6.21 Espacio mínimo para la curvatura de los cables en las terminales y ancho mínimo de los canales para los cables (mm).	184
Tabla 6.22 Características técnicas de lámparas fluorescentes General Electric.	189
Tabla 6.23 Cálculos del costo anual uniforme equivalente.	190

INTRODUCCIÓN

La importancia de la energía eléctrica como insumo estratégico en el desarrollo económico, así como, la demanda de energía implica un cuidadoso diagnóstico a efecto de optimizar el uso de una instalación y poder dar una oferta adecuada a mediano y largo plazo, de esta manera se evitan problemas innecesarios que puedan frenar el desarrollo de la misma.

En los últimos años del siglo XX varias instituciones han hecho estudios encaminados a políticas energéticas, sin embargo, no se ha logrado un plan de ahorro de energía completo y bien definido, en consecuencia, para elaborar un plan de estas características es necesario abrirlo a través de un diagnóstico energético. Para ello se necesita establecer una metodología general que establezca las funciones básicas, (planeación, toma de decisiones, dirección y control) de cualquier área o departamentos donde se administre energía eléctrica y en general al realizar el diagnóstico y formular las políticas que sean deducidas de dicho proceso.

El logro de las funciones básicas y el establecimiento de políticas energéticas adecuadas dependen de la información, ya que entre mejor sea conducido el diagnóstico y la información sea más precisa mejores resultados se obtendrán.

Los diagnósticos energéticos son estudios que permiten determinar donde y como se utilizará la energía, estos no son una solución directa al control de costos en el uso de la energía pero si la herramienta mas útil para lograr esa función.

Durante el diagnóstico se identificarán puntos donde la energía se este desperdiciando y aquellos donde es posible generar un ahorro, además, de brindar el apoyo necesario para futuros procesos y que estos sean conducidos en condiciones óptimas.

El contenido de este trabajo se dividió en siete capítulos, definidos de la siguiente manera.

- CAPÍTULO 1. en el que se encuentran conceptos teóricos fundamentales de calidad de energía, así como equipos relacionados con el tema, se conocerá los disturbios que ocasionan que un sistema eléctrico cuente con una mala calidad de energía, además de la aplicación de las normas en México, normas extranjeras que actualmente están relacionadas con el tema y algunos equipos que ayudan a mejorar la calidad de energía.
- CAPÍTULO 2. Se expone el desarrollo de cómo elaborar un diagnóstico energético, se puede establecer como una guía de exploración para conocer los pasos correctos a seguir para elaborar el diagnóstico desde los procesos de producción hasta los beneficios, además se presentan con sugerencias básicas para lograr ahorrar energía.

- CAPÍTULO 3 Contiene la teoría básica de iluminación necesaria para comprender como la iluminación depende de una buena calidad de luz, así como los distintos dispositivos emisores de luz, dentro de los cuales se remarca de manera significativa la iluminación de tubos fluorescentes. También contiene información necesaria para la identificación de equipo de iluminación y especificaciones técnicas.
- CAPÍTULO 4. Comprende desde la descripción teórica de que es una armónica hasta como se pueden analizar los datos de las corrientes armónicas medidas, se especifican los problemas que pueden ocasionar las corrientes armónicas en el sistema eléctrico en los diferentes equipos que integran a este sistema.
- CAPÍTULO 5. Se describe la metodología empleada en el desarrollo del diagnóstico, donde se conceptualizan los datos necesarios para la elaboración del proyecto, los pasos a seguir, la forma de realizar el diagnóstico y como se puede evaluar los datos obtenidos.
- CAPÍTULO 6. Se integran los datos obtenidos y evaluados del diagnóstico realizado al edificio, donde se describen los problemas encontrados en cada sistema, apoyados en la teoría descrita de los primeros capítulos y en las normas que evalúan tanto las instalaciones eléctricas como los niveles de iluminación, dando también el análisis de correcciones necesarias y propuestas para un cambio en el sistema de iluminación con su respectivo análisis económico y con las mejoras que se pueden obtener.
- CAPÍTULO VII. Aquí se analiza al diagnóstico dando una conclusión general, donde se describe la necesidad de este tipo de trabajos encaminados al ahorro de energía, los problemas principales encontrados y que necesitan más atención, así como los objetivos alcanzados y propuestas de mejoramiento para la calidad de la energía eléctrica basada principalmente en equipos de nueva tecnología.

El objetivo general fue realizar un diagnóstico eléctrico al edificio del centro de cómputo y laboratorios anexos de la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Donde se buscó cumplir con varios objetivos particulares como: investigar y aprender a realizar un diagnóstico energético, conocer los principales problemas involucrados con la calidad de energía, conocer y aplicar las normas establecidas en México referentes a la calidad y ahorro de energía, dar propuestas de ahorro de energía y hacer un estudio a nuevas tecnologías.

CAPÍTULO 1

CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

INTRODUCCIÓN

Para poder hablar de calidad de energía es necesario saber que es energía para ello se define como la: "capacidad que tiene la materia de transformarse y poder desarrollar un trabajo útil", este concepto es uno de los más empleados en la ciencia, lo podemos asociar con cualquier tipo de actividad, y a través de él se explica la inmensa mayoría de los fenómenos naturales y artificiales.

Durante los siglos XVIII y XIX, se hicieron descubrimientos muy importantes en todas las ramas del saber, lo que hizo surgir la necesidad de explicarlos. Una manera es definir el significado de energía. El descubrimiento de la electricidad, la invención de la pila eléctrica o el hecho de que la corriente eléctrica sea capaz de descomponer las sustancias o poner un imán en movimiento, hizo que se pensase que todos estos fenómenos pudieran deberse a una misma causa. Es así como aparece el término de energía como algo que puede producir los cambios. A través de los años, el hombre ha perfeccionado la capacidad de hacer trabajos que requieren grandes esfuerzos físicos, para dejar a las máquinas las tareas pesadas y dedicarse a labores intelectualmente más productivas. Esto ha traído como consecuencia que el consumo de energía por habitante sea cada vez mayor.

El consumo de la energía es vital en las necesidades básicas de la sociedad, por lo que se vuelve una parte importante en la economía, pero desafortunadamente tiene consecuencias negativas en la conservación del medio ambiente, a lo que el desarrollo tecnológico no ha encontrado soluciones satisfactorias.

Cualquier proceso requiere un mínimo de energía, el multiplicarla más allá de este mínimo, necesita una evaluación de los costos adicionales que se tienen, al no haber una buena eficiencia en el proceso, se desperdicia una gran parte de la energía. La energía que no se utiliza tiene costos, los cuales se pueden minimizar al tener un buen plan de ahorro de energía.

La calidad de la energía está condicionada por los desarrollos de un gran número de fabricantes de equipos que luchan por imponer sus productos en el mercado, en la actualidad, las empresas se preocupan por tener una buena política de energía, ya que esto ayuda a reducir riesgos económicos y peligros ecológicos; una de las ventajas que se generan por el ahorro de energía, es desahogar la urgencia presupuestaria de destinar crecientes recursos para la construcción de plantas generadoras.

Las empresas que tienen una buena política de ahorro de energía, tienen una mejor producción y esto ayuda a mejorar sus utilidades, ya que estas pueden ser utilizadas para mejorar el precio de sus productos y servicios para ser más competitivas en el mercado.

1.1 CALIDAD DE ENERGÍA

1.1.1 ¿Qué es calidad de energía eléctrica?

La calidad de energía se refiere a tener un suministro eléctrico limpio con características determinadas de variaciones y ruido. Cuando existe un alto contenido de distorsión, algún transitorio o variaciones pronunciadas en la tensión, se ocasionan problemas en la operación de los equipos eléctricos y electrónicos.

En la actualidad el problema de la calidad de la energía ha cobrado una gran importancia debido al uso cada vez mayor de cargas no lineales operadas por dispositivos electrónicos de potencia o por cargas muy grandes con alto contenido de armónicas como los hornos de arco y de inducción, o equipo electrónico en general, como computadoras personales o equipos de control.

La creciente aplicación de equipos electrónicos acrecentó el interés en la calidad de la energía y ello fue acompañado por el desarrollo de una terminología especial para describir estos fenómenos, desafortunadamente, esta terminología no se emplea de la misma forma en las diferentes actividades de la industria, lo que ocasiona una gran confusión entre proveedores y usuarios acerca de por qué los equipos no funcionan adecuadamente, tal como se esperaba de ellos.

Para poder hablar de este tema es necesario conocer las perturbaciones que pueden afectar a los diferentes sistemas eléctricos, estas categorías de perturbaciones pueden variar según el país o el área de la industria en donde se este trabajando.

Entre los términos de uso más común que debemos conocer para abordar el tema se encuentran:

- Evento de potencia: es una observación o medición de los valores de tensión o de corriente fuera de los límites establecidos para los sistemas de monitoreo.
- Disturbio: es un evento, observado o registrado, que ocasiona una reacción indeseable en el ambiente eléctrico o los sistemas electrónicos.
- Problema de potencia: conjunto de disturbios o condiciones que pueden producir resultados indeseables en las instalaciones, los sistemas o los equipos.

Asimismo, se emplean muchos términos ambiguos que tienen significados poco claros o múltiples.

1.1.2 Hacia donde están enfocados los estudios de la calidad de la energía

- Determinar las variaciones instantáneas (transitorios) o lentas (regulación de voltaje) en la tensión de suministro.
- Determinar la presencia de armónicas en los voltajes y corrientes del sistema.
- Determinar las posibles causas de un mal funcionamiento en el equipo eléctrico.
- Conocer la calidad de energía que se tiene en la instalación eléctrica.
- Conocer las causas que originan el funcionamiento erróneo de equipos de control o de cómputo.
- Determinar la necesidad de instalación de filtros para reducir el contenido de armónicas.
- Instalación de bancos de capacitores sin el riesgo de provocar resonancias, con el consecuente deterioro de la calidad de la energía y con lo cual podemos compensar el factor de potencia.
- Mejorar el factor de potencia sin riesgo de provocar un problema colateral.
- Reducción o eliminación de problemas de mal funcionamiento de equipo debido a la mala calidad de la energía eléctrica.
- Prolongar la vida de dispositivos eléctricos al tener un suministro adecuado.
- De los resultados obtenidos indicar los beneficios que ayuden a mejorar la calidad de energía.

1.1.3 Repercusiones por mala calidad de energía

En una empresa el incremento de su productividad se basa actualmente en procesos continuos y en la producción just-in-time (justo a tiempo, las empresas ya tienen horarios establecidos de su producción, mantenimiento, etc.), pero para esto, la empresa debe de contar con una alimentación confiable, ininterrumpida y que esté libre de perturbaciones, ya que una interrupción del sistema resulta en la interrupción de los procesos y esto representa pérdidas significativas de productos, desperdicios de materiales, aparte de que se deben de reiniciar los procesos, ponerlos en la secuencia a la que se encontraban, etc.

Durante muchos años las cargas de los usuarios eran lineales por naturaleza, cuando una tensión sinusoidal se aplicaba a las mismas, éstas originaban una corriente sinusoidal. Ello ocurría típicamente en aplicaciones tales como iluminación, calefacción y en motores. En general, no eran muy sensibles a las variaciones momentáneas en la tensión de alimentación, tales como sobretensiones y baja-tensiones. Las cargas no se encontraban conectadas en redes y, temas como las puestas a tierra no constituían factores críticos de seguridad.

Estos cambios en las características de las cargas crearon un amplio mercado para los equipos de acondicionamiento de línea que previenen variaciones en la calidad de la energía.

Con la finalidad de utilizar los equipos más efectivos, los usuarios han debido convertirse en expertos sobre estos problemas, conociendo sus causas, su posible impacto y las soluciones para mitigarlos. De la misma forma, dado que algunas de las causas se originan en los sistemas de las distribuidoras de energía, estas también deben entender el amplio rango de estos problemas.

1.2 NORMAS INTERNACIONALES DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA¹

Estas normas nos sirven como guía, recomendación y nos proporcionan los límites para asegurar que los equipos sean compatibles con los equipos y con el sistema de alimentación donde se este aplicando.

La elaboración de normas internacionales esta a cargo del IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), que son los que denominaron las Normas de Compatibilidad Electromagnética (EMC) es decir, las que cubren los problemas de calidad de energía.

Las normas incluyen como mínimo los siguientes aspectos:

- Interrupciones
- Picos de tensión
- Regulación de estados instantáneos de tensión
- Desbalance de tensiones
- Distorsiones armónicas en la tensión
- Transitorios de tensión

Las normas que más se aplican para el tema son las IEC que abarcan seis categorías, las cuales son:

1. Generales: provee definiciones, terminologías, estas se determinan en la IEC 1000-1-x.
2. De entorno: determina las características del lugar en donde se colocarán los equipos, estas se determinan en IEC 1000-2-X.
3. De límites: estas, determinan el mínimo aceptable de perturbaciones que deben de tener los equipos y esta denominada en la IEC 1000-3-X
4. Técnicas de Medición: nos dan a conocer lineamientos para los equipos de medición de tal forma que estos sean compatibles con la instalación, estas, se determinan en la IEC 1000-4-X.
5. Equipos de Acondicionamiento: nos determinan lineamientos para los equipos que solucionan problemas de Calidad de la Energía, como filtros, acondicionadores de línea, supresores de transitorios, etc., estas. se determinan en la IEC 1000-5-X.

¹ Información recabada de la pagina de las IEC

6. Genéricas y de Productos: definen los niveles de inmunidad requeridos para los equipamientos en categorías generales o para tipos específicos de equipos, estas se determinan en las IEC 1000-6-x.

Las normas IEC se utilizan generalmente en los países de la Comunidad Europea, en Estados Unidos de Norteamérica el Departamento de Comercio, publicó en 1983 los lineamientos de sistemas de energía, puestas a tierra y protección de dispositivos sensibles. Este documento se conoce como FIPS 94 (Federal Information Processing Standards Publication). Estos lineamientos fueron consultados con la Asociación de Fabricantes de computadoras (CBMA) para definir el lenguaje común sobre los problemas de Calidad de la Energía.

1.3 NORMAS EN MÉXICO

En la actualidad es inminente el constante incremento en la demanda de energía en México, aproximadamente el 85% de los energéticos provienen de recursos naturales que no son renovables como son los hidrocarburos y el carbón, esto nos obliga a buscar nuevas alternativas que nos ayuden a preservar los recursos naturales, una de las alternativas, fue la creación de las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, las cuales se encargan de regular los consumos de energía de aparatos que por su demanda energética y número de unidades requeridas en el país, ofrezcan un potencial de ahorro cuyo costo-beneficio sea satisfactorio para el país y los sectores de la producción y el consumo.

Las normas contienen especificaciones técnicas accesibles al público, elaboradas con la colaboración y el consenso de los involucrados; de aplicación obligatoria para todos los productos e instalaciones en la República Mexicana comprendidos en su campo de aplicación.

1.3.1 Impacto de las normas de eficiencia energética en México²

El análisis de impacto se llevó a cabo en cinco componentes:

1. Impacto en el producto: se analizaron los productos para saber su consumo energético, su eficiencia y la tecnología involucrada en la elaboración de estos, así como los costos y precios de los productos ya mejorados, para dar la justificación para la elaboración de cada norma.
2. Impacto a los fabricantes: con base en la información suministrada por los fabricantes y de datos de tiendas, se revisaron las variaciones de eficiencia en la producción de equipos, su cumplimiento con la norma y la variación en las ventas por tipo, modelo y capacidad.
3. Impacto a las empresas eléctricas: se enfocó a la estimación de los ahorros energéticos (energía no generada y potencia evitada) y su equivalente económico.

² CONAE.

4. Impacto a los usuarios: se estudió la variación de precios de los productos considerados en el alcance, a partir de la entrada en vigor de las normas de eficiencia y se estimó la reducción de consumo ocasionada por el nuevo producto.
5. Impacto al país: se estimó la reducción de combustible primario evitado y de emisiones contaminantes a la atmósfera con la instrumentación del programa de normalización.

Nota: Se puede encontrar las Normas en el Anexo A

1.4 FACTOR DE POTENCIA

1.4.1 Triángulo de potencias

La Figura 1.1 puede ser usada para ilustrar las diferentes formas de la potencia eléctrica.

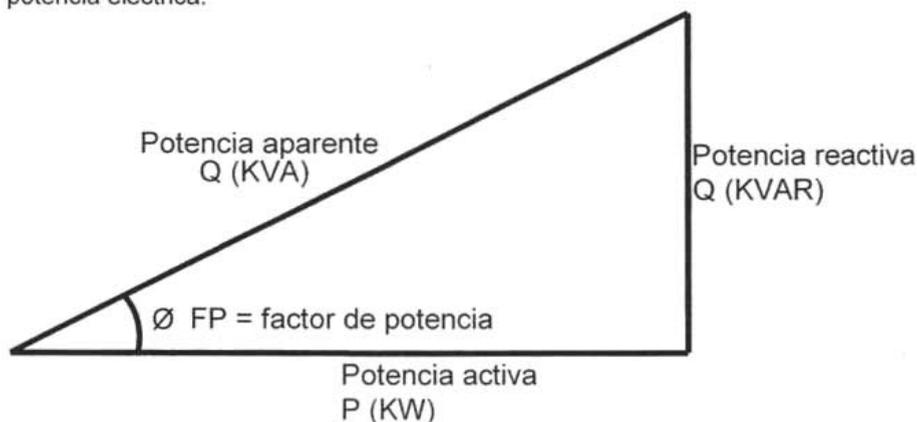


Fig. 1.1 Triángulo de potencias.

De la Fig. 1.1 se observa:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.1)$$

Además:

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (1.1.1)$$

y,

$$\tan \theta = \frac{Q}{P} \quad (1.1.2)$$

1.4.1.1 Potencia reactiva

Además de utilizar potencia activa para producir un trabajo, los motores, transformadores y demás equipos similares requieren un suministro de potencia reactiva para generar el campo magnético necesario para su funcionamiento. La potencia reactiva no produce por sí misma ningún trabajo; se simboliza con la letra Q y sus unidades son los volts-amperes reactivos (VAR).

1.4.1.2 Potencia activa

Los diferentes dispositivos eléctricos convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, luminica, térmica, química, etc. A la energía consumida por dichos dispositivos, que es capaz de producir trabajo útil, se le conoce como potencia activa y es similar a la energía consumida por una resistencia eléctrica; su símbolo es P y sus unidades son los Watts (W).

1.4.1.3 Potencia aparente

La potencia total o aparente es la suma geométrica de las potencias activa y reactiva, o bien, el producto de la corriente y el voltaje; su símbolo es S y sus unidades se expresan en volts-amperes (VA).

1.4.2 El factor de potencia (FP)

El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente; esto es: el factor de potencia ($\cos\theta$) es la relación entre la potencia activa (KW), y la potencia aparente (KVA) y describe la relación entre la potencia de trabajo real y la potencia total consumida.

El FP está definido por la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos\theta \quad (1.1.3)$$

El factor de potencia expresa en términos generales, el defasamiento o no de la corriente con relación al voltaje y es utilizado como indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1.0 siendo la unidad (1.0) el valor máximo de FP y por tanto el mejor aprovechamiento de energía.

El factor de potencia se puede presentar de varias formas como son:

- Factor de potencia en atraso o inductivo: este se presenta en equipos inductivos como motores de inducción, transformadores y bobinas, y estas hacen que la corriente se atrase con respecto al voltaje. Un ejemplo de potencia inductiva se muestra en la Fig. 1.2.

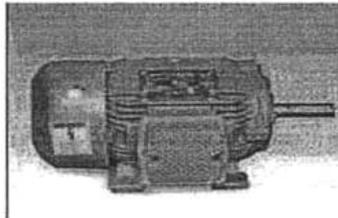


Fig. 1.2 Motor.

- Factor de potencia en adelanto o capacitivo: este se presenta en equipos con capacitores o motores sincrónicos que hacen que la corriente se adelante con respecto al voltaje. Un ejemplo de potencia capacitiva se muestra en la Fig. 1.3

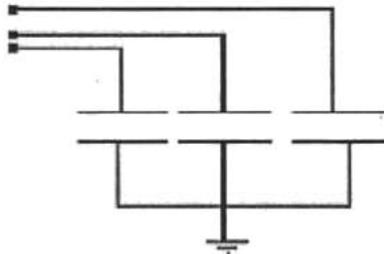


Fig. 1.3 Banco de capacitores.

- Cargas resistivas: se puede presentar en focos, calentadores, etc., es la condición ideal en la que el voltaje sigue a la corriente. Ej. Fig. 1.4.



Fig. 1.4 Foco.

Cuando en algún sistema eléctrico se tienen cargas inductivas y capacitivas puede llegar a no haber defasamiento ya que las cargas inductivas compensan a las capacitivas y viceversa.

1.4.2.1 Desventajas de un bajo factor de potencia

1. Para los usuarios (industrias, etc.).
 - Aumento en la intensidad de corriente
 - Calentamiento en los conductores: esto, provoca la disminución de la vida útil del aislamiento.

- Incrementos de potencia en los transformadores por lo cual existe reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores
 - Penalización de la compañía suministradora.
2. Empresa distribuidora de energía.
- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
 - Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
 - Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.

1.4.2.2 Ventajas de un buen factor de potencia

- Se libera carga de los transformadores y conductores ya que se reduce potencia reactiva.
- Por lo antes mencionado aumenta la capacidad del transformador para el incremento de cargas a futuro.
- Hay menos calentamiento de equipos y conductores.
- Se reducen pérdidas de energía y se ahorra energía.
- Se puede llegar a recibir bonificaciones por factor de potencia arriba del 90%.

1.4.2.3 Cargos y bonificaciones por factor de potencia mayor a 0.9

En México el valor mínimo que debe de tener el factor de potencia es de 0.9, cuando el valor de este tenga un valor inferior al mencionado, la compañía suministradora tiene el derecho a cobrar una penalización o cargo de acuerdo al porcentaje de facturación, también, cuando el valor es mayor a 0.9 la compañía tiene la obligación de bonificar al usuario de acuerdo al porcentaje de facturación.

Para conocer el porcentaje que será cobrado por bajo factor de potencia se utiliza la siguiente ecuación.

$$\text{Penalización (\%)} = \frac{3}{5} \times \left[\frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100 \quad (1.2)$$

Para conocer el porcentaje de bonificación por un buen factor de potencia se utiliza la siguiente ecuación.

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left[1 - \frac{0.9}{FP} \right] \times 100 \quad (1.3)$$

Los valores resultantes de la aplicación de estas fórmulas se redondearán a un solo decimal, por defecto o por exceso, según sea o no menor que 5 (cinco) el segundo decimal. En ningún caso se aplicarán porcentajes de penalización superiores a 120 % (ciento veinte por ciento), ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5 % (dos punto cinco por ciento).

1.4.3 Métodos para compensar el FP

La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir o aún eliminar el costo de energía reactiva en la factura de electricidad. Para lograr esto, es necesario distribuir las unidades capacitivas, dependiendo de su uso, en el lado del usuario del medidor de potencia.

Existen varios métodos para corregir o mejorar el factor de potencia, entre los que destacan la instalación de capacitores eléctricos o bien, la aplicación de motores sincrónicos que finalmente actúan como capacitores.

- Compensación individual en motores
- Compensación por grupo de cargas
- Compensación centralizada
- Compensación combinada

Los capacitores eléctricos o bancos de capacitores, pueden ser instalados en varios puntos en la red de distribución en una planta, y pueden distinguirse cuatro tipos principales de instalación de capacitores para compensar la potencia reactiva véase la Fig. 1.5³.

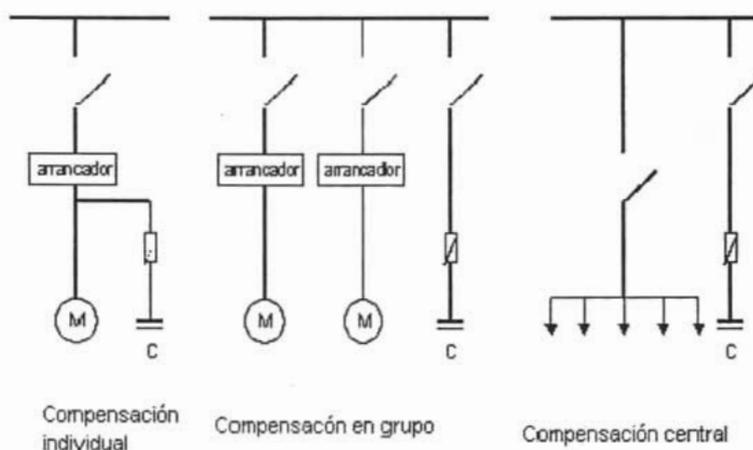


Fig. 1.5 Tipos de instalación de capacitores para corregir el factor de potencia.

³ Imagen tomada de la CONAE.

Cada una de las instalaciones mencionadas anteriormente corresponden a una aplicación específica, no obstante, es importante mencionar que antes de instalar capacitores eléctricos, se deben tomar en cuenta los siguientes factores: tipos de cargas eléctricas, variación y distribución de las mismas, factor de carga, disposición y longitud de los circuitos, tensión de las líneas de distribución, entre otros.

1.4.3.1 Compensación individual en motores⁴

La compensación individual se refiere a que cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. La compensación individual es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo.

La compensación individual presenta las siguientes ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.
- El arrancador para el motor puede también servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control del capacitor solo.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, por lo que no son necesarios controles complementarios.
- Los capacitores son puestos en servicio, sólo cuando el motor está trabajando.
- Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva.

Desventajas:

- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente.
- Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

1.4.3.2 Compensación individual en transformadores de distribución

Otro método para corregir el factor de potencia es compensar la potencia reactiva en los transformadores de distribución. La potencia total del banco de capacitores se calcula para compensar la potencia reactiva absorbida por el transformador en vacío, que es del orden del 5 al 10% de la potencia nominal.

⁴ CONAE Factor de potencia.

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, con el fin de evitar fenómenos de resonancia y sobretensión en vacío, la potencia total del banco de capacitores no debe exceder el 10% de la potencia nominal (en KVA) del transformador.

Existen tablas con valores recomendados para la compensación individual de la potencia inductiva en los transformadores de distribución, en donde a la potencia nominal de cada transformador se le ha asignado la correspondiente potencia del capacitor requerido, el cual deberá instalarse en el secundario del transformador, verse Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Valores de capacitores para compensación individual en transformadores⁵.

Potencia nominal del transformador	Potencia reactiva del capacitor en KVAR
100	4
160	6
250	15
400	25
630	40
1000	60
1600	100

1.4.3.3 Compensación en grupo

Es aconsejable compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando éstas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diversos grupos de cargas situados en puntos distintos.

La compensación en grupo presenta las siguientes ventajas:

- Se conforman grupos de cargas de diferente potencia pero con un tiempo de operación similar, para que la compensación se realice por medio de un banco de capacitores común con su propio interruptor.
- Los bancos de capacitores pueden ser instalados en el centro de control de motores.
- El banco de capacitores se utilizan únicamente cuando las cargas están en uso.
- Se reducen costos de inversión para la adquisición de bancos de capacitores.
- Es posible descargar de potencia reactiva las diferentes líneas de distribución de energía eléctrica.

⁵ Tabla extraída de la CONAE

La desventaja es que la sobrecarga de potencia reactiva no se reduce en las líneas de alimentación principal, es decir, que seguirá circulando energía reactiva entre el centro de control de motores y los motores.

1.4.3.4 Compensación combinada

La compensación mixta o combinada de potencia reactiva, se refiere a la combinación de dos o más métodos para corregir el factor de potencia, los cuales fueron descritos anteriormente.

1.5 DISTORSIONES DE ONDA

1.5.1 Armónicos

Un armónico es una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Pueden existir armónicos de corriente o de voltaje. Los armónicos de corriente pueden crear armónicos de voltaje. Todos los armónicos tienen un nombre u orden, frecuencia y secuencia. El primer armónico es el de 60Hz se llama armónico fundamental. Otros múltiplos de armónicos son el segundo armónico (120Hz), tercer armónico (180Hz) etc. Algunas forma de onda contienen únicamente al armónico fundamental, estas ondas son senoidales puras. Otras formas de onda pueden incluir armónicos pares, impares o ambos además de la fundamental.

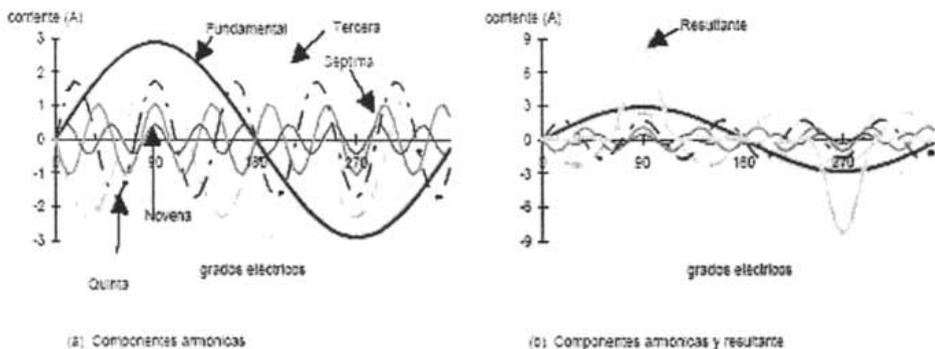


Fig. 1.6 Distorsión armónica.

1.5.2 La distorsión armónica y sus efectos perjudiciales

Actualmente el desarrollo de la tecnología de control por medio de equipos electrónicos de potencia, en su mayoría controlados por tiristores, ha llevado a un incremento de cargas no lineales en los sistemas. Desafortunadamente los convertidores y otras cargas no lineales, tienen efectos perjudiciales en el

suministro de corriente alterna teniendo que recurrir a una considerable cantidad de energía reactiva inductiva con una corriente no senoidal. La red necesita estar libre de esta distorsión armónica para poder prevenir el mal funcionamiento de los equipos.

Una corriente típica esta compuesta por una componente fundamental a la frecuencia de la red y un número de armónicas cuyas frecuencia son múltiplos de esta, en un sistema trifásico las que predominan son la 5, 7,11 y 13, estas armónicas conducen a que la corriente en los capacitores se incremente en la medida que su impedancia desciende al aumentar la frecuencia.

La distorsión armónica puede provocar:

- Exceso de corriente en capacitores y bancos de capacitores, por lo que se acorta la vida útil de estos.
- Disparo intempestivo de interruptores y otros equipos de protección.
- Actuación indebida de los fusibles.
- Aumento en pérdidas y mal aprovechamiento de la instalación.
- Mal funcionamiento de computadoras, equipos de control y cargas sensibles.
- Interferencia con equipos de control o telefónicos.
- Resonancia con otros componentes del sistema.
- Fallas en la instalación.

1.5.3 Filtros de armónicas

Básicamente en la actualidad los equipos de filtrado pueden solucionar los problemas planteados anteriormente. Para seleccionar el equipo apropiado para instalar es necesario hacer un estudio adecuado y minucioso de armónicas, se deben tomar mediciones de voltaje y de corriente, y en base a los resultados obtenidos seleccionar el equipo mas adecuado.

Los filtros de armónicas se pueden emplear para:

- Mejorar el factor de potencia.
- Reducir la presencia de armónicas.
- Reducir el retorno de corriente por el neutro.
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de distribución.
- Aumentar la potencia disponible.

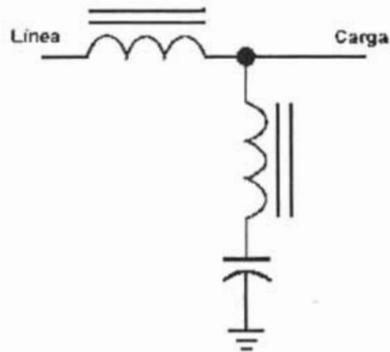


Fig. 1.7 Filtro de armónicas.

1.5.4 Ruido eléctrico

Se puede decir que el ruido eléctrico es una descripción genérica de un problema que no puede ser clasificado como distorsión armónica, ni como transitorio, y que puede ocasionar problema a los equipos. Básicamente consiste en distorsiones no deseadas de la señal de tensión como lo podemos observar en la Fig. 1.7 con un contenido espectral inferior a 200 KHz., que se suponen a las tensiones o corrientes de los sistemas de potencia.

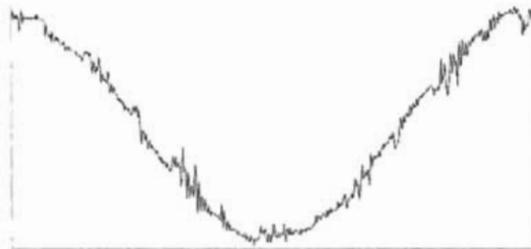


Fig. 1.7 Ruido eléctrico.

El ruido de los sistemas de potencia puede ser causado por:

- Dispositivos electrónicos.
- Circuitos de control.
- Chispas de contactos e interruptores.
- Puestas a tierra pobres.
- Lámparas fluorescentes, etc.

El ruido afecta principalmente a los dispositivos electrónicos tales como microprocesadores y controles programables, y que puede ser mitigado mediante el empleo de filtros, transformadores de aislamiento, etc.

1.6 TRANSITORIOS ELÉCTRICOS

1.6.1 ¿Qué es un transitorio eléctrico?

Los podemos definir como un exceso temporal del voltaje o de corriente en un circuito eléctrico que se ha perturbado, la duración de estos puede ser de milisegundos hasta millonésimas de segundo, se encuentran en todos los tipos de circuitos eléctricos, son causados por el simple hecho de apagar o encender: la luz, el motor, la computadora, la copiadora o cualquier otro dispositivo eléctrico que pueda perturbar el circuito eléctrico y crear transitorios. En general, cuanto más grande es la corriente de carga mayor es el disturbio cuando la carga se enciende y se apaga.

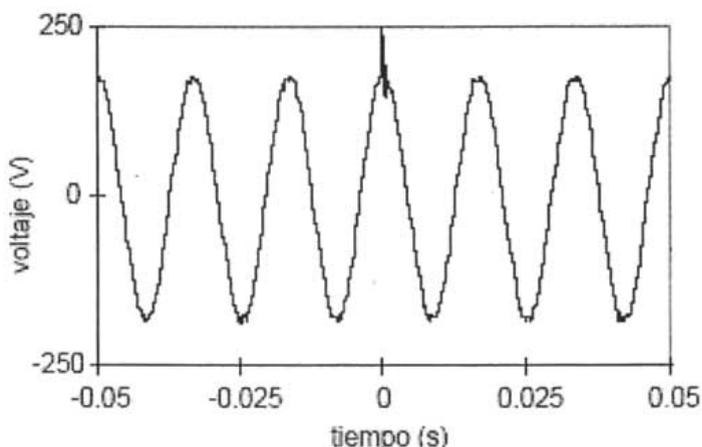


Fig. 1.8 Ejemplo de un transitorio provocado por la conexión de una carga.

1.6.2 Tipos de transitorios

Los transitorios se pueden dividir en:

1. Transitorios por Conmutación.
2. Transitorios por Descargas Atmosféricas.
3. Transitorios por Descargas Electrostáticas.

1.6.2.1 Transitorios por conmutación

Se producen por la desconexión de una inductancia, cuando el campo magnético del inductor llega a su nivel máximo, la energía que se encontraba almacenada dentro de este es liberada causando un pico de tensión que intenta mantener el flujo de corriente.

1.6.2.2 Transitorios por descargas atmosféricas

Son producidos por fenómenos atmosféricos, los rayos cercanos a objetos sobre tierra o entre nubes produce campos electromagnéticos que pueden inducir tensiones en los conductores de circuitos primarios y secundarios. La caída directa de rayos sobre cables de alta tensión genera corrientes en circuitos primarios induciendo Sobre Tensiones.

1.6.2.3 Transitorios por descargas electrostáticas

Se produce cuando se juntan dos elementos cargados electrostáticamente y uno de ellos está más cargado electrostáticamente que el otro, en ese momento se produce una descarga, que puede llegar a dañar el circuito, un ejemplo claro es el cuerpo humano que puede llegar a cargarse hasta 15 KV.

1.6.3 Clasificación de los transitorios de acuerdo a la frecuencia con que se presentan

Los transitorios también se pueden clasificar según la frecuencia con que se presentan en el sistema y los podemos dividir en:

- Transitorios repetitivos.
- Transitorios al azar.

1.6.3.1 Transitorios repetitivos

Son cambios repentinos de las condiciones eléctricas de un circuito, los cuales son producidos por el acumulamiento de energía en inductancias y capacitancias del circuito, este fenómeno se presenta en la mayoría de los casos de sobretensiones y sobre corrientes producidas durante el encendido y apagado.

Como ejemplos de transitorios repetitivos, se pueden señalar los siguientes:

1. Cuando se energiza el primario de un transformador:

Cuando un transformador se energiza, hasta que alcanza el valor máximo de tensión de alimentación, el acoplamiento de esta tensión en ascenso con relación al devanado del secundario, ocasiona un desfase momentáneo en la capacitancia e inductancia del devanado del secundario.

Un transformador de distribución de potencia puede acoplar transitorios de alta velocidad de onda, no mediante su relación de espiras sino a través de su elevada y constante capacitancia entre devanados del primario al secundario. Consecuentemente, un transformador de 13.8 KV a 220 V que recibe en su primario el impacto de un transitorio de 50 KV libera un pico de 8.3 KV en el lado de Baja Tensión, lo cual representa casi 35 veces su tensión nominal.

En la práctica, la gran mayoría de los tendidos eléctricos limitarán el transitorio a un valor de entre 2,500 y 6,000 V. debido a los aislamientos, al espacio entre los propios conductores, etc. Sin embargo, transitorios de este orden son suficientemente grandes para ocasionar daños muy severos en cualquier equipo.

2. Al desconectar el primario de un transformador:

La apertura del circuito primario de un transformador genera transitorios de alta energía, especialmente si el transformador maneja una carga altamente inductiva, los que pueden exceder hasta en diez veces la tensión nominal. La interrupción de la corriente magnetizante y el colapso resultante del flujo magnético en el núcleo acopla un transitorio de alta tensión en el devanado secundario del transformador.

Si la carga está constituida por un dispositivo semiconductor o un capacitor con capacidad de voltaje limitada, tal componente puede fallar. Este tipo de transitorios tiene efectos muy severos.

3. Al presentarse arcos voltaicos en los puntos de contacto de un contactor:

Cuando la corriente en un circuito inductivo (como la bobina de un relé) es interrumpida por un contacto, la inductancia trata de mantener su corriente por lo que se generará un transitorio.

Una acción similar puede ocurrir durante una secuencia de cierre, si los contactos rebotan abriéndose nuevamente, después del cierre inicial, la elevada corriente de carga inicial oscilará en la inductancia y con una alta frecuencia. Cuando la tensión en los contactos se incrementa, resulta posible la ruptura de la separación entre contactos, dado que la distancia entre estos, es aún muy pequeña durante el movimiento de apertura del contacto. El arco del contacto se acabará cuando la corriente de oscilación sea cero, pero reiniciará mientras la tensión de contacto se incrementa nuevamente.

Mientras los contactos se accionan separándose uno del otro, a cada nuevo cierre deberá ocurrir a una tensión cada vez mayor hasta que el contacto finalmente logre la interrupción de la corriente.

1.6.3.2 Transitorios al azar

Con frecuencia, los problemas con los transitorios surgen de la propia fuente de energía que alimenta un circuito, siendo en general más difícil definir su amplitud, duración, y contenido de energía.

Los transitorios, son generalmente ocasionados por conexiones y desconexiones de cargas en paralelo ubicadas en las mismas ramas de un sistema de distribución eléctrico, aunque también son causados por rayos que se introducen en las líneas. Asimismo, los sistemas de comunicaciones, tales como las líneas telefónicas y de telecomunicaciones en general también son afectados por los rayos y fallas en sistemas de potencia.

Para evaluar estos transitorios se recurre a estudios estadísticos, pero aunque se ha recopilado una gran cantidad de información desprendida de numerosos monitoreos realizados, aún nadie puede pronosticar en qué sistema puede ocurrir, por consiguiente, se suele calcular una situación promedio que sirve de referencia, pero que puede llegar a presentar desviaciones importantes.

La conmutación de las altas cargas de amperaje tales como soldadores eléctricos y los motores eléctricos se sabe que crean transitorios. Estudios avanzados han demostrado que una mayoría de los transitorios (aproximadamente 80%) es generada en el interior de la instalación. Las descargas del relámpago de nube a nube o los impactos de relámpago próximas a la instalación son capaces de crear intensidades del campo eléctrico en los centenares a los millares de volts por el metro. Una longitud de dos metros del alambre expuesto a una intensidad del campo eléctrico de 300 volts por metro puede desarrollar un voltaje transitorio inducido de 600 volts (2 metros x 300 volts/metro = 600 volts).

Si este transitorio de 600 volts aparece a través de una energía desprotegida, el teléfono, los datos, o la línea coaxial el resultado pueden ser destrucción del sistema. Un automóvil que choca un poste de luz o aún los acontecimientos considerados menores, tal como una ardilla curiosa explorando un transformador de energía puede ser responsable de crear interrupciones de la energía y disturbios transitorios significativos. Las ramas del árbol e incluso una cometa que tocan líneas de energía han interrumpido el flujo de energía causando transitorios. Los vecinos eléctricos que comparten su sistema eléctrico de distribución, tal como tiendas de soldadura o instalaciones de fabricación pueden también ser una fuente importante de transitorios.

1.6.4 Protección contra transitorios

El primer paso para proteger contra transitorios a computadoras y otras cargas sensitivas, es ejecutar una buena instalación. Se requiere una puesta a tierra cuidadosa, con tierra equipotencial para la sala de computadoras. Con tierras pobres, la acción de supresores de transitorios puede no ser efectiva.

La entrada a los edificios de las líneas de potencia y las de datos debe ser protegidas mediante descargadores. Las líneas de datos telefónicas, en cambio, son protegidas por la concesionaria telefónica.

Los fabricantes de aparatos de televisión han descubierto que del 50 al 70% de las fallas de los televisores en períodos de garantía son ocasionadas por problemas de transitorios. Pero en comparación, existen otros equipos cuyas fallas pueden tener consecuencias mucho más graves, como los de uso hospitalario (por ejemplo una máquina de pulmón artificial). Asimismo, una falla en un control industrial puede detener una línea de producción, lo que representaría grandes pérdidas en producción y costo de salarios.

Siempre que sea posible, los sistemas deberán ser examinados en busca de posibles fuentes potenciales de transitorios, en la intención que estas puedan ser eliminadas de raíz, debido a que una sola fuente puede afectar a muchos componentes.

1.6.4.1 Supresores de picos de voltaje transitorios

Un supresor de picos de voltajes transitorios o también conocidos como supresores de picos, se les define como un dispositivo de desvío de energía, recortando el valor pico de la forma de onda de voltaje, desviando este exceso de energía para no dañar la carga sensible, y mantener el voltaje de la carga libre de transitorios. La finalidad de dichos dispositivos es proteger equipos electrónicos sensibles de daños generados por picos de voltaje y/o descargas atmosféricas.

1.6.4.2 Selección y ubicación de los supresores

De acuerdo a la "IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits" se tienen tres categorías para ubicar a los supresores de voltaje, A, B y C.

Clasificaciones:

1. La categoría C corresponde a las siguientes ubicaciones:
 - Instalación exterior y acometida (tableros principales de la subestación).
 - Circuitos que van del wattímetro al medio de desconexión principal.
 - Líneas aéreas a edificios externos y líneas subterráneas para bombas.
2. La categoría B corresponde a las localidades siguientes:
 - Alimentadores y circuitos derivados cortos.
 - Tableros de distribución.
 - Alimentadores en plantas industriales.
 - Tomacorrientes para aparatos grandes con cableados cercanos a la acometida.

3. La categoría A corresponde a las ubicaciones siguientes:

- Directamente en alimentación a maquinaria ó equipo sensible.
- Tomacorrientes y circuitos derivados largos.
- Todos los tomacorrientes que estén a más de 10 m de categoría B con hilos #14 - #10.
- Todos los tomacorrientes que estén a más de 20 m de categoría C con hilos #14 - #10.

Esta clasificación es el resultado de un compromiso entre dos extremos:

- a. Proteger en forma eficiente sin importar la inversión inicial.
- b. No proteger evitando así la inversión inicial.

Entre estos extremos, el estándar recomienda que los protectores de categoría C deben ser capaces de tolerar mayores corrientes que los de categoría A y B, mientras, que el B debe soportar mayores corrientes que los de categoría A. Es por esto que, en general, los de categoría C son más robustos y más costosos.

La clasificación también sugiere que los de categoría A tengan un voltaje de sujeción menor, de esta manera los de clase B y C se encargan de manejar altas energías y los de categoría A se recargan de restringir las excursiones del sobrevoltaje.

1.6.5 Variaciones de voltaje

En esta categoría encontramos a las denominadas:

- Disminuciones de voltaje a baja tensión (sags).
- Incrementos de voltaje o sobre tensión (swells).
- Pérdidas completas de tensión (interrupciones).

También de acuerdo a su tiempo de duración de cada una las podemos clasificar en:

- Instantáneas.
- De corta duración o momentáneas (menos de un minuto).
- De larga duración o temporarias (mas de un minuto).

Las más comunes son las variaciones de tensión de corta duración, estas son causadas por fallas, cuando energizamos una carga que necesiten corrientes de arranque elevadas o por pérdidas intermitentes de conexión en el cableado. En estos casos el impacto es de corta duración ya que es el periodo que transcurre desde que se detecta la falla hasta que actúan los sistemas de protección.

Estos problemas suelen ser corregidos o compensados con UPS. En los casos donde se debe garantizar la continuidad del suministro es necesario utilizar generadores de emergencia.

1.6.5.1 Baja-tensión (sag)

Los podemos definir como una disminución de entre 10 y 90% en los valores de tensión o corrientes RMS a la frecuencia de la red. Recordemos que pueden ser instantáneas, momentáneas o temporarias, en México el voltaje mínimo permisible es del 5 % (según la norma NMX-J-098-ANCE-1999).

Cuando no se especifica otra cosa, una baja-tensión de 30% debe de considerarse como un evento durante el cual la tensión RMS decrece en un 30%, llegando a 0.7 del valor nominal. Se debe especificar el valor nominal.

La consecuencia de las baja tensiones depende de las cargas a las cuales estén alimentando, a las cuales se les puede producir daños en la memoria y datos en las computadoras y hasta llegar a producir daños físicos en motores ya que estos deben de proporcionar el torque y la velocidad requeridas por las cargas que tienen conectadas.

La mayoría de las veces los sags son asociados a fallas del sistema, pero también pueden ser originadas por el arranque de motores de mucha potencia o un elevado numero de cargas.

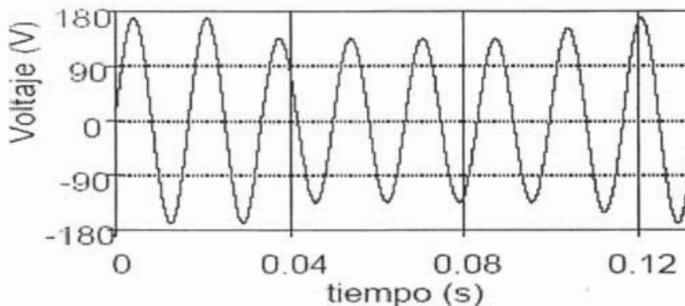


Fig.1.9 Decrementos momentáneos en el voltaje (sags).

Un ejemplo sería el arranque de un motor de inducción el cual requiere de hasta 6 veces su corriente de carga nominal, si la magnitud de corriente es importante en relación con la corriente de corto circuito en ese punto del sistema los sags pueden resultar significativos. En este caso la tensión cae inmediatamente al 20% y retoma gradualmente a la normalidad en alrededor de 3 seg., nótese las diferencias entre estos tiempos y los sags debidos a las fallas en los sistemas de las distribuidoras.

1.6.5.2 Sobre-tensión (swell)

Se define como Sobretensión (swell) a incrementos de entre el 10 y el 80% en la tensión o en la corriente RMS, a la frecuencia de la red. También en este caso podemos clasificarlas en Instantáneas, momentáneas o temporarias.

Las sobretensiones, generalmente pueden estar asociadas con fallas en las condiciones del sistema, como ser la falta de una fase en una falla de línea a tierra, aunque también se pueden producir por la salida de servicio de cargas importantes o por la energización de bancos de capacitores.

Los dispositivos de estado sólido y los controles computarizados son los más sensibles a tensiones superiores a la normal. Esto puede ser particularmente serio en procesos que requieran tiempos considerables para reiniciarse o donde el trabajo en proceso se deteriore.

Los motores, como todos los dispositivos inductivos, tienen una gran capacidad para absorber sobretensiones. Por esta razón, son bastante resistentes a daños físicos por valles, picos y Sobre-tensiones moderadas.

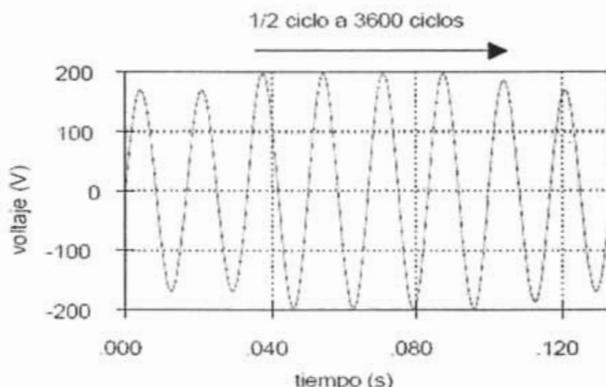


Fig.1.10 La figura nos muestra incrementos momentáneos de voltaje (swells).

Tabla 1.2 Principales equipos susceptibles a los swell.

Ambiente	Tipo de carga
En el hogar	TV, audio, video caseteras, lavaplatos, PC, etc.
En la industria	PLC, aparatos médicos, equipos de monitoreo y registro, etc.
En las telecomunicaciones	Fax, MODEM, contestadores automáticos, etc.
En el procesamiento de datos	Computadoras, máquinas registradoras, etc.

Las sobretensiones se caracterizan por su valor eficaz (RMS) y su duración. La severidad del swell durante una condición de falla es función de la localización de la falla, de la impedancia del sistema y de la puesta a tierra.

1.6.5.3 Interrupciones

Una interrupción acontece cuando la tensión de suministro o las corrientes de carga disminuyen a menos de 10% de la nominal. Si esa Interrupción tiene una duración que no excede de 1 minuto se denominan de "corta duración o momentáneas", si excede de dicho lapso estamos en presencia de una Interrupción de "larga duración o temporaria".

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de alimentación, fallas de equipos o un mal funcionamiento de los sistemas de control.

La duración de una interrupción debida a una falla en el sistema de la distribuidora, está determinada por el tiempo de operación de los dispositivos de protección. Los reenganches instantáneos generalmente limitan las interrupciones causadas por fallas no permanentes, a menos de 30 ciclos.

La demora en el reenganche de las protecciones puede causar una interrupción momentánea o temporaria. La duración de las interrupciones debidas a mal funcionamientos o deficientes conexiones suele ser bastante irregular.

Algunas interrupciones suelen ser precedidas por disminuciones temporarias de tensión.

Las Interrupciones de larga duración, conocidos también como "blackout" por su nombre en inglés, suelen estar causadas por tormentas, por accidentes o por fallas en los equipos de las distribuidoras o de los usuarios. En general, estos cortes totales en la tensión requieren de la intervención humana para la reparación y restablecimiento del sistema.

Si los equipos de nuestra instalación deben permanecer en funcionamiento durante los cortes, se deben prever alimentaciones de soporte mediante generadores de emergencia, baterías, o fuentes de energía ininterrumpible (UPS).

1.6.6 El efecto de parpadeo (FLICKER)

Son variaciones rápidas de voltaje cuyo efecto se manifiesta principalmente en el ojo humano como puede ser fluctuación de la luminancia, ocasionada por una serie de variaciones rápidas de tensión (es de tipo fisiológico), pudiendo presentar molestias a los usuarios del alumbrado.

El problema del flicker es ocasionado por los equipos y aparatos conectados a las propias instalaciones eléctricas, por ejemplo: el arranque de los motores, de los refrigeradores, la acción de los elevadores (arranque-paro), los hornos de arco eléctrico, los arranques de motores y las soldadoras de arco eléctrico.

1.6.7 Desbalance de tensiones

El desbalance de tensiones, es una condición en que la tensión en las tres fases difiere en amplitud y no tienen la separación normal entre fases de 120 grados. Se define como el máximo desvío del promedio de tensión de las tres fases, dividido por el promedio mencionado, expresado en %, esto es:

$$\text{Desbalance} = \frac{\text{Máx. desvío del promedio}}{\text{Prom. de tensión de las 3 fases}} \times 100\% \quad (1.5)$$

Cualquier sistema de potencia, aunque esté bien balanceado, siempre tiene en sus estados instantáneos un desbalance de tensiones del 1 al 1.5 % de su tensión nominal. Esto es causado por la asimetría en la geometría de las líneas de distribución sobrecalentadas, así como por cargas desbalanceadas, tanto en clientes con grandes cargas como por varios clientes monofásicos conectados al sistema de distribución.

La fuente principal de desbalance de tensiones (en general menor que el 2 %) lo constituyen las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos. El desbalance de tensiones puede originarse también por fusibles fundidos en una fase de un circuito trifásico. Los desbalances severos de tensión (superior al 5 %) pueden originarse cuando el sistema queda con una única fase en operación.

Un Desbalance de Tensiones del 5 % es el límite máximo aceptable; valores superiores no son admisibles debido al riesgo de sobrecalentamiento de las líneas. Las empresas de energía suelen controlar constantemente este parámetro debido a su importancia, tanto en lo que se refiere a sus propios generadores como en las cargas de sus clientes.

1.6.8 Variaciones de frecuencia

Las variaciones en la frecuencia de la red se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema (valor nominal especificado), en nuestro país de 60 Hz. La frecuencia del sistema de potencia está directamente relacionada a la velocidad de rotación de los generadores de alimentación del sistema. Siempre existen pequeñas variaciones en la frecuencia como resultado de un balance dinámico entre las cargas y los cambios en la generación. La amplitud de las variaciones de frecuencia y su duración depende de la respuesta a los cambios de cargas de los sistemas de control de la generación.

Las variaciones de frecuencia pueden exceder los límites aceptables para los estados instantáneos en la operación de los sistemas de potencia, pudiendo originar fallas que desconecten gran cantidad de cargas o sacando de línea grupos importantes de generación.

En los sistemas modernos de interconexión de potencia prácticamente no ocurren variaciones significativas de frecuencia; sin embargo, este fenómeno ocurre más frecuentemente en cargas alimentadas por generadores aislados.

1.7 EQUIPOS UTILIZADOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA

1.7.1 Banco de capacitores

Un banco de capacitores es simplemente un arreglo de capacitores conectados en paralelo a la red con conexión estrella o delta y referencia a tierra que cumple con la finalidad de suministrar energía reactiva.

1.7.2 Transformadores de aislamiento o también llamados de Factor K

En nuestros días, la instalación de componentes y sistemas electrónicos en la industria crece aceleradamente. Los circuitos electrónicos que operan con bajo voltaje en corriente directa son muy sensibles. Para todas las aplicaciones "sensibles" la pantalla electroestática se encarga de reducir y controlar la capacitancia, los ruidos, transitorios y armónicas en línea de voltaje, creados por switcheo en arranque y paro de motores, capacitores ó circuitos con "SCR's". Este tipo de transformadores es muy útil y confiable para alimentar instalaciones críticas como computadoras, sistemas médicos y sistemas de telecomunicaciones, procesador de control e instrumentación.

Los diseños de estos equipos se sobredimensionan de acuerdo al nivel de armónicos que presenta la instalación (factor K). Estos transformadores nos sirven para reducir ruido en las líneas de distribución eléctrica, cancela los armónicos enviándolos a tierra, controla el desbalance de cargas, distribuye a todas las fases las fallas a tierra, etc.

1.7.3 UPS Fuentes de Energía Ininterrumpible (Uninterruptible Power Supply)

1.7.3.1 (UPS estáticas)

Constituyen uno de los equipos más populares en las instalaciones actuales; su función es mantener constante la alimentación de energía a una carga determinada, o a un grupo de cargas a la vez. En los casos donde son esperables los cortes de energía, las UPS combinadas con equipos de protección de Sobre Tensiones suelen ser la solución más efectiva al menor costo.

No solo proveen el filtro y acondicionamiento necesario para asegurar la calidad de la energía requerida por los equipos electrónicos sensitivos sino que sirven de fuente de alimentación en caso de salidas de servicio en la alimentación principal.

1.7.3.2 Partes que componen a los UPS

- Rectificador de corriente alterna en continua.
- Un bus de corriente continua con una batería flotante continuamente conectada.
- Un inversor de corriente continua a alterna y un switch de by-pass de estado sólido.

Las UPS estáticas vienen en rangos amplios, desde unos pocos cientos de VA para la protección de cargas individuales hasta 750 KVA (o más) para proteger instalaciones enteras. Cargas mayores se atienden mediante el empleo de unidades en paralelo.

Los sistemas de UPS estáticas están disponibles en tres configuraciones típicas:

1. UPS On line.

Son el tipo más común en las instalaciones para cargas críticas. En estas configuraciones las cargas son continuamente alimentadas por las salidas del inversor. En caso de fallas la alimentación se transfiere a la fuente de backup, generalmente la línea de alimentación de la distribuidora.

La fuente alternativa de potencia sirve para un segundo propósito: provee corriente para limpiar las fallas, una función importante, debido a que muchos inversores no pueden generar las corrientes necesarias para fundir un fusible o abrir un interruptor de una carga crítica. El by pass estático retransfiere la carga a la salida de la UPS cuando el dispositivo de protección limpia la falla.

Una ventaja de las UPS "on-line" es que las cargas críticas continúan recibiendo potencia acondicionada y nunca se quedan sin alimentación.

Un requerimiento importante de estos equipos es que deben ser adecuadamente dimensionados para alimentar las cargas y para mantener en carga a las baterías.

2. UPS Off line.

Son diferentes a las anteriores en la medida que en condiciones normales proveen potencia sin acondicionar. El switch de transferencia solo direcciona al

inversor de corriente alterna (CA) cuando censa una fluctuación o interrupción de la corriente normal.

Esta configuración se suele aplicar para cargas pequeñas y no requiere de otros equipos de acondicionamiento de línea. El tiempo de transferencia de la fuente normal a la alternativa, vía by-pass estático, es del orden de 4 milisegundos.

3. UPS de Línea Interactiva:

La potencia no se convierte en corriente continua (CD) y se envía directamente a las cargas críticas mediante un inductor o transformador. La regulación y alimentación continua a las cargas críticas se obtiene a través de switches de inversión en combinación con inversores magnéticos como inductores, transformadores de línea o transformadores ferro resonantes.

1.7.4 Consideraciones para especificar un UPS

1. Redundancia o no de los sistemas: se debe analizar factores tales como confiabilidad requerida, costo y disponibilidad de espacio. La estrategia usual consiste en implementar sistemas con redundancia en paralelo, con todos los módulos on-line alimentando a las cargas críticas en paralelo.
2. Switch de by-pass: La transferencia de las cargas desde las UPS a los sistemas de las distribuidoras, que ocurren en las fallas de las UPS, deben permitir su mantenimiento sin estar energizados.
3. Selección de baterías: las más comunes son las de plomo - ácido debido a su simplicidad y bajo costo, siendo convenientes las denominadas "sin mantenimiento"; no obstante, existen nuevos tipos de baterías que conviene evaluar por su diseño más novedoso.

1.7.5 Inconvenientes de los UPS

- El factor de potencia en la alimentación de estos equipos suele ser de sólo el 80%, por lo que para llevarlo a los valores deseados (cercaos al 95%) se debe recurrir a capacitores.
- Las UPS estáticas generan armónicas tanto en la línea de alimentación como en la de salida (del orden del 12 y 5% respectivamente), debido a los rectificadores de silicio. Ello puede ocasionar inconvenientes en los sistemas de control y sobrecalentamientos en el neutro, por lo que se requiere colocar filtros que limiten la presencia de armónicas.

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

INTRODUCCIÓN

La operación de toda industria tiene como base la disponibilidad de varios tipos de materias primas, incluidos los energéticos (petróleo, gas, agua, electricidad, etc.). El incremento de los costos de los energéticos ha provocado que los costos del producto se incrementen debido a que una gran parte del total de los gastos son atribuidos al uso de los mismos, el industrial, ante este constante incremento puede reducir sus gastos implementando medidas para evitar el desperdicio y uso innecesario de ellos.

El uso racional de los energéticos ha sido una meta importante del Gobierno Mexicano los últimos 3 lustros del siglo XX, creando para ello algunos organismos (CONAE, FIDE) con la finalidad de generar una conciencia de uso racional de la energía, tanto calorífica como eléctrica, enfocada a consumidores industriales y comerciales.

En los sistemas de distribución se pueden aplicar los conceptos de uso racional de energía, siendo en el sector industrial donde se han presentado las mayores oportunidades de ahorro, ya que generalmente en el diario vivir de una empresa, el administrador o los empleados de la misma no se preocupan de un factor importante que influye directamente en el costo de producción, el desperdicio de energía eléctrica. La finalidad de este tema es fomentar el uso eficiente y racional de la energía eléctrica en los sistemas de distribución de los consumidores grandes y medios, dando para ello algunas medidas básicas de ahorro en los sistemas de distribución de energía eléctrica industriales y para edificios.

A través del organismo encargado en apoyar el programa de ahorro de energía del sector eléctrico, el sector privado puede asesorarse para mejorar la eficiencia del uso de la energía eléctrica, incorporando para ello nuevas tecnologías y técnicas ahorradoras comprobadas, en las instalaciones eléctricas de la industria y el comercio, con la finalidad de hacer más competitivos sus productos.

Con estas acciones se obtienen beneficios, tales como:

- Elevar su productividad y competitividad.
- Reducir el importe de sus consumos de energía eléctrica.
- Disminuir el impacto ambiental.
- Aumentar la disponibilidad de energía eléctrica.
- Preservar o mejorar niveles de bienestar.
- Crear una cultura energética.

Como todo tipo de acciones para poder obtener beneficios de los programas de ahorro de energía, es necesario realizar inversiones de capital, las cuales deben ser recuperables a medio o corto plazo.

- **Diagnósticos**

Se refiere al análisis histórico del consumo de energía relacionado con los niveles de producción y al análisis de las condiciones de diseño y operación de los equipos, a las características de los procesos y tecnologías utilizadas. Con base en este estudio, se fijarán los objetivos y metas a seguir en función de los potenciales de ahorro descubiertos y se investigarán las diversas alternativas para alcanzarlos.

- **Planeación**

Consiste en elegir la alternativa concreta de acción a seguir, las políticas en materia de energía, el tiempo de ejecución, el logro de objetivos y, por último, se determina el monto de recursos financieros para la aplicación del Programa.

- **Organización**

En esta etapa se define la estructura que permita instrumentar el programa establecido. Aquí es necesario especificar las funciones, jerarquías y obligaciones de todos los grupos e individuos que participen en el Programa de Ahorro de Energía.

- **Integración**

Consiste en elegir a la persona o grupos de personas que van a ser los responsables de la ejecución del Programa; así como la adquisición de la instrumentación y el equipo necesario para realizar el diagnóstico y monitorear los avances del Programa.

- **Dirección**

Consiste en delegar la autoridad necesaria al responsable del Programa y especificar su tramo de control y coordinación. Así mismo, se deben definir los mecanismos de supervisión y los medios de comunicación como componentes esenciales del Programa.

- **Control**

En esta etapa se establecen normas de consumo de energía, de mantenimiento y de operación, así como el método que permita dar seguimiento permanente al Programa. Todo ello, mediante monitoreo a través de un sistema integral de información energética y listas de verificación de la aplicación.

2.1 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El Ahorro de Energía, no puede llevarse a cabo, si no se conoce dónde y cómo se está utilizando. En la mayoría de los casos, el establecimiento de este punto de partida requiere de una inspección y de un análisis energético detallado de los consumos y pérdidas de energía, al que generalmente se le conoce como Diagnóstico Energético.

Es la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un Programa de Ahorro de Energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada.

Un Diagnóstico Energético es una herramienta técnica utilizada en la evaluación del uso de la energía, representa una intervención temporal que lleva a conocer claramente el tipo y la cantidad de energía que se utiliza en cada uno de los procesos que conforman la operación industrial.

El objetivo del Diagnóstico Energético es determinar las acciones pertinentes para abatir los costos de producción por concepto de energía sin afectar la cantidad ni la calidad de la producción o a los usuarios de oficinas, salones etc.

1. Objetivos

- Establecer metas de ahorro de energía.
- Diseñar y aplicar un sistema integral para el ahorro de energía.
- Evaluar técnica y económicamente las medidas de conservación y ahorro de energía.
- Disminuir el consumo de energía, sin afectar los niveles de producción.
- Actividades.

Para determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía, se requiere realizar diversas actividades, entre las que se pueden mencionar:

- Medir los distintos flujos energéticos.
- Registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones así como de procesos.
- Efectuar balances de materia y energía.
- Calcular índices energéticos o de productividad, energéticos reales, y actualizar los de diseño.
- Determinar potenciales de ahorro.

- Darle seguimiento al Programa mediante la aplicación de listas de verificación de oportunidades de conservación y ahorro de energía. La inclusión de los balances tiene como finalidad contar con un método sistemático y oportuno de detección de pérdidas y desperdicios de energía.

2. Beneficios

- Recopilación y desarrollo de la base de datos de consumos, costos de energía y definición de los índices energéticos globales del edificio o planta.
- Identificación de los sistemas de mayor consumo de energía a través del balance energético global de la planta.
- Identificación y cuantificación preliminar de medidas de ahorro de energía, especialmente las de baja y nula inversión, mantenimiento y políticas de operación.
- Identificación de todas las posibles medidas de ahorro de energía en una planta y establecimiento de un Programa de Ahorro de Energía.

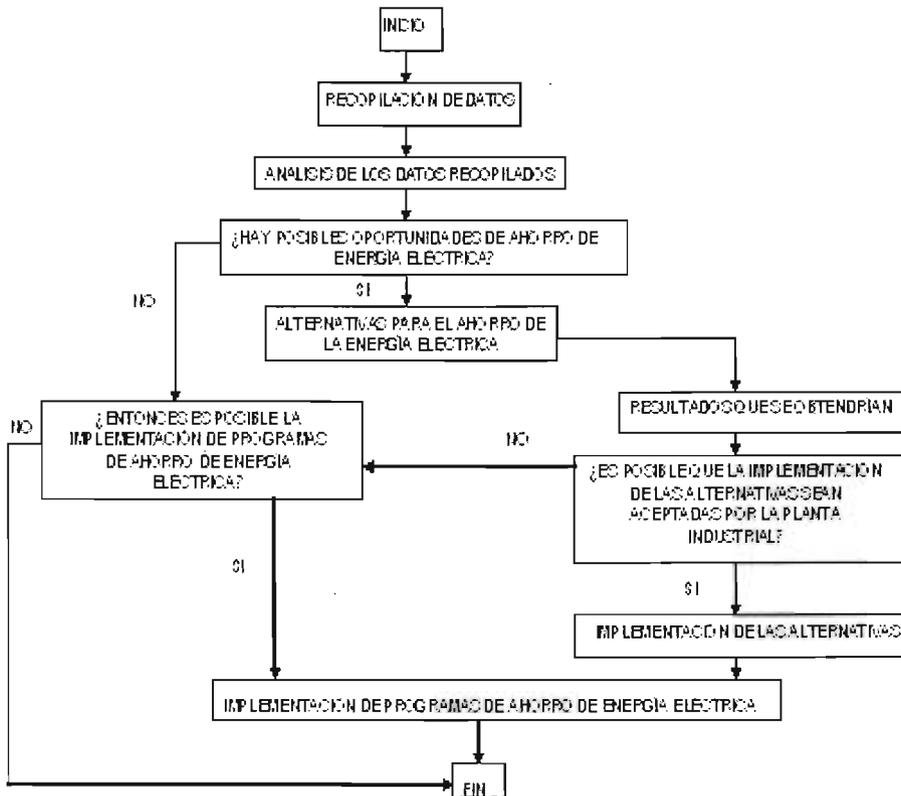
3. Resultados

- La implementación inmediata de medidas de ahorro de energía con baja o nula inversión y por consiguiente ahorros económicos.
- Promover el uso eficiente de energéticos, creando una cultura energética y reduciendo los costos de producción.

2.1.1 ¿Qué se necesita para llevar a cabo un diagnóstico energético?

Para poder llevar a cabo un diagnóstico energético es necesario seguir un patrón, un protocolo, es decir, una secuencia de pasos que sea capaz de llevarnos del inicio del diagnóstico hasta el final del mismo, esto sólo es posible mediante una "metodología", la cual nos propondrá una secuencia de pasos a seguir para poder llevar a cabo la realización o aplicación de un diagnóstico energético.

2.1.2 Diagrama de flujo de la metodología del diagnóstico energético



Recopilación de datos

DATOS BÁSICOS

- > Por el nombre.
- > Por la ubicación.
- > Por la actividad que realiza
- > Tipo de tarifa que se tiene
 - Tarifa OM
 - Tarifa HM
- > Facturaciones pagadas a Luz y Fuerza del Centro durante el periodo de un año

2.2 ADMINISTRACIÓN ENERGÉTICA

Aplicado a la industria, el concepto de Administración se encarga de encaminar los esfuerzos individuales hacia el mejor uso de los recursos. Sin embargo, la energía representa también un recurso vital en la actividad industrial actual.

Se entiende por administración energética todas las acciones que se realizan para conocer, planear, evaluar, organizar, supervisar o dirigir, integrar y controlar los consumos y usos de los energéticos. Es en consecuencia, el mecanismo para el manejo y control de todas las operaciones que involucran el consumo de energía.

Las actividades correspondientes a la administración de la energía son actividades en las que, de alguna forma, todo el personal debe de estar involucrado y eliminar las fronteras entre los distintos departamentos, ya que todos deberán ayudar al comité proporcionando la información que éste necesite, y posteriormente ayudar con las tareas de control de la energía.

La Administración Energética es un programa que se enfoca a mantener en la planta la más alta eficiencia en el consumo, distribución, transformación y conservación de energéticos. El programa de ahorro de energía se realiza mediante la gestión de la administración energética.

1. Beneficios

- La Administración Energética ofrece un soporte de ingeniería externo a la planta en lo referente al manejo de los Energéticos. Esto tiene como ventaja el incorporar esta importante actividad dentro de las funciones de la empresa sin incrementar la carga de trabajo de alguna persona o área, y sin incrementar el personal de la planta para la realización de esta tarea al contar con una empresa de consultoría especializada y actualizada.
- Controlar el consumo de los energéticos mediante un monitoreo continuo.
- Disminuir el costo de los energéticos dentro del esquema de costos de la empresa.
- Lograr una continuidad en el Programa de Ahorro de Energía.
- Detectar nuevas áreas de oportunidad de ahorro de energía.

2. Resultados

- Establecimiento de un programa anual de ahorro de energía sin distraer los recursos propios de la empresa.

- Seguimiento mensual de los resultados del programa de ahorro de energía y elaboración de un reporte que contiene un resumen de los principales resultados del programa de ahorro de energía.
- Asesoría y capacitación profesional para lograr un uso eficiente de los Energéticos.

2.3 CONTROL DE DEMANDA

El costo de la facturación de energía eléctrica está compuesto básicamente por cuatro conceptos: el cargo por energía consumida, el cargo por demanda eléctrica, la penalización o bonificación por factor de potencia y ajustes e Impuestos. Si se desea disminuir el monto de la facturación de Energía Eléctrica se tienen las siguientes opciones:

- Disminuir los consumos de energía, gastar menos KWh. Esto se puede lograr eliminando desperdicios, sustituyendo equipos por otros de mayor eficiencia o bien reducir los niveles de consumos relacionados con la producción. En la mayoría de los casos el consumo está directamente ligado a la producción.
- Mejorar el factor de potencia para lograr bonificaciones que pueden llegar hasta el 2.5% del importe de la facturación antes del ajuste e impuestos.
- Controlar la demanda para reducir el cargo por demanda. Esto se puede lograr coordinando la operación de los equipos consumidores de energía eléctrica, sin afectar ni la calidad ni la cantidad de producción o sin deteriorar los niveles de confort. Esta medida es altamente rentable, ya que los periodos de recuperación suelen ser menores que los de las medidas de disminución de consumo de energía.

Beneficios

- Reducción del monto de la facturación eléctrica por concepto de la Demanda, sin deterioro de la producción o de los niveles de confort.
- Proyecto con periodos de recuperación menores a un año.

Resultados

- Sistema de control de demanda instalado y funcionando.
- Ahorros fácilmente comprobables en la facturación eléctrica.

2.4 ESTUDIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA

En la actualidad el problema de la calidad de la energía ha cobrado una gran importancia debido al uso cada vez mayor de cargas no lineales operadas por dispositivos electrónicos de potencia o por cargas muy grandes con alto contenido de armónicas como los hornos de arco y de inducción, o

equipo electrónico en general, como computadoras personales o equipos de control.

La calidad de energía se refiere a tener un suministro eléctrico limpio con características determinadas de variaciones y ruido. Cuando existe un alto contenido de distorsión, transitorios o variaciones pronunciadas en la tensión, se ocasionan problemas en la operación de los equipos eléctricos alimentados con una energía de calidad diferente.

Los Estudios de Calidad de Energía están encaminados a:

- Determinar las variaciones instantáneas (transitorios) o lentas (regulación de voltaje) en la tensión de suministro.
- Determinar la presencia de armónicas en los voltajes y corrientes de la red.
- Determinar posibles resonancias con bancos de capacitores a instalar para compensar el bajo factor de potencia.
- Determinar las posibles causas de un mal funcionamiento en el equipo eléctrico.
- Reducción o eliminación de problemas de mal funcionamiento de equipo debido a la mala calidad de la energía eléctrica.

Otro requisito muy importante que deberá efectuarse es el de proporcionar una explicación de las cualidades técnicas del diagnóstico energético y de los alcances de las medidas operativas del programa, además de las características relacionadas con los equipos ahorradores de energía; tal actividad tendrá como propósito atraer la atención de todo el personal de la empresa o institución, de forma particular la gerencia de la empresa o la dirección de la institución deberá asegurar que haya comunicación entre los distintos departamentos para que el programa de ahorro de energía funcione correctamente. Independientemente del tipo de giro de la empresa o institución, es necesario dejar claro los alcances que tiene una administración energética y los beneficios que se pueden obtener al implantar un programa de ahorro de energía.

El objetivo del ahorro de energía es la reducción del consumo de este recurso al igual que la disminución en la facturación por este concepto, por lo tanto para que una empresa o institución reconozcan la ventaja de aceptar un programa de este tipo, la compra de nuevos dispositivos para hacer más eficiente el consumo y desarrollar un ahorro de energía a largo y corto plazo deberá de representar una importante inversión de capital. Tal vez haya lugares en los que la inversión en la compra de dispositivos ahorradores no pueda ser elevada, pero aún así se puede desarrollar un programa para mantener un control en su consumo de energía.

Como el plan para desarrollar el diagnóstico energético puede ser una tarea nueva para el personal que labora dentro de una empresa o institución, será necesario contar con un equipo asesor, la empresa o institución tendrá que

evaluar y seleccionar al personal que formará dicho comité encargado de la administración de la energía. Este grupo de personas acompañará al equipo asesor durante todo el trabajo y recorridos dentro de la empresa, por lo que es deseable que la gente que se seleccione tenga conocimientos de ingeniería o alguna rama afín y que este familiarizada con todo el personal y las áreas de la empresa.

2.5 ASPECTOS A DIAGNOSTICAR

a. Operativo

- Inventario de equipo consumidor de energía.
- Inventario de equipo generador de energía.
- Detección y evaluación de fugas y desperdicios.
- Análisis del tipo y frecuencia del mantenimiento.
- Inventario de instrumentación.
- Posibilidades de sustitución de equipos

b. Económico

- Precios actuales y posibles cambios de los precios de los energéticos.
- Costos energéticos y su impacto en costos totales.
- Estimación económica de desperdicios.
- Consumos específicos de energía.
- Elasticidad producto del consumo de energía.
- Evaluación económica de medidas da ahorro.
- Relación beneficio-costos de medidas para eliminar desperdicios.
- Precio de energía eléctrica comprada (\$/KWh.).

c. Energético

- Formas y fuentes de energía utilizadas.
- Posibilidades de sustitución de energéticos.
- Volúmenes consumidos.
- Estructura del consumo.
- Balance en materia y energía.
- Diagramas unifilares.
- Posibilidad de autogeneración y cogeneración.

d. Político

- Tarifas eléctricas.
- Políticas de precios de los energéticos.
- Políticas de comercialización de energéticos.
- Programa nacional de energéticos

- Legislación en materia de autogeneración y cogeneración.

2.5 DIAGNÓSTICOS DE PRIMER GRADO

Mediante los diagnósticos energéticos de primer grado se detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales. Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan a cabo en cada instalación; así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustibles.

Al realizar este tipo de diagnóstico se deben considerar los detalles detectados visualmente y que se consideren como desperdicios de energía, tales como falta de aislamiento o purgas; asimismo se deben detectar y cuantificar los costos y posibles ahorros producto de la administración de la demanda de energía eléctrica y corrección del factor de potencia. Cabe recalcar que en este tipo de estudios no se pretende efectuar un análisis exhaustivo del uso de la energía, sino precisar medidas de aplicación inmediata.

2.6 DIAGNÓSTICOS DE SEGUNDO GRADO

Comprende la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos intensivos en su uso, como son los motores eléctricos y los equipos que éstos accionan, "así" como a aquellos para comprensión y bombeo, los que integran el área de servicios auxiliares entre otros. La aplicación de este tipo de diagnósticos requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, lo que incluye la información sobre volúmenes manejados o procesados y consumos específicos de energía.

La información obtenida directamente en campo se compara con la de diseño, con objeto de obtener las variaciones de eficiencia. El primer paso, es detectar las desviaciones entre las condiciones de operación actuales con las del diseño, para así, jerarquizar el orden de análisis de cada equipo de proceso. El paso siguiente es conocer el flujo de energía, servicio o producto perdido por el equipo en estudios.

Los balances de materia y energía, los planos unifilares, actualizados, así como la disposición de los índices energéticos reales y de diseño complementan el diagnóstico, ya que permiten establecer claramente la distribución de la energía en las instalaciones, las pérdidas y desperdicios globales y así determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía.

Finalmente, se debe evaluar, desde el punto de vista económico, las medidas que se recomienden llevar a cabo, tomando en consideración que se deben pagar con los ahorros que se tengan y en ningún momento deben poner en riesgo la liquidez de la empresa.

2.7 DIAGNÓSTICOS DE TERCER GRADO

Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación, mediante el uso de equipo especializado de medición y control. Debe realizarse con la participación de especialistas de cada área, auxiliados por el personal de ingeniería. En estos diagnósticos, es común el uso de técnicas de simulación de procesos, con la finalidad de estudiar diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos.

Además de que facilitan la evaluación de los efectos de cambio de condiciones de operación y modificaciones del consumo específico de energía, por lo que se requiere información completa de los flujos de materiales, combustibles, energía eléctrica, así como de las variables de presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes.

Las recomendaciones derivadas de estos diagnósticos generalmente son de aplicación a mediano plazo e implican modificaciones a los equipos, procesos e incluso de las tecnologías utilizadas. Además, debido a que las inversiones de estos diagnósticos son altas, la evaluación económica debe ser rigurosa, en cuanto al periodo de recuperación de la inversión.

2.8 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DIAGNÓSTICO

2.8.1 Operativa

- Manuales de operación de equipos consumidores de energía.
- Manuales de operación de equipos generadores de energía.
- Reportes periódicos de mantenimiento.

2.8.2 Energética

- Balances de materia y energía.
- Serie de consumo histórico de energía.
- Información sobre fuentes alternas de energía.
- Planos unifilares actualizados.

2.8.3 Economía

- Serie estadística de producción.
- Serie estadística de ventas.
- Costos de producción.

2.8.4 Política

- Tarifas eléctricas.
- Normalización del consumo de electricidad.

- Relación reservas-producción de hidrocarburos.
- Disposición de fuentes energéticas no provenientes de los hidrocarburos.

2.8.5 Instrumentos para las mediciones de campo

Algunos de los instrumentos portátiles requeridos para la realización de diagnósticos energéticos de segundo y tercer grado, son los siguientes:

- a) Radiómetros ópticos.
- b) Pirómetro digital.
- c) Kilowatt-hourímetro.
- d) Factoripotenciómetro.
- e) Analizadores de redes.
- f) Termómetros.
- g) Luxómetros.
- h) Flexómetro.

2.9 Áreas de aplicación de los diagnósticos energéticos

1. Área industrial

- Calderas y hornos
- Motores y bombas
- Sistemas eléctricos
- Turbinas
- Compresores
- Sistemas de refrigeración

2. Área de oficinas

- Iluminación
- Acondicionamiento ambiental
- Aparatos eléctricos

2.10 Evaluación económica de medidas de ahorro de energía

2.10.1 Relación beneficio-coste

- Costos involucrados en las medidas aplicadas.
- Balance económico de los ahorros logrados.

2.10.2 Método de evaluación económica

- Período de recuperación.
- Rentabilidad media.

- Valor presente.
- Tasa interna de rentabilidad.
- Análisis de sensibilidad.

2.11 RECOMENDACIONES GENERALES PARA AHORRAR ENERGÍA

1. Sistema de Iluminación

- Limpiar periódicamente las luminarias, porque la suciedad disminuye el nivel de iluminación de una lámpara hasta en un 20%.
- Apagar las luces que no necesites, como por ejemplo, cuando el personal está en refrigerio.
- Evaluar la posibilidad de utilizar luz natural, instalando calaminas transparentes o similares. Aprovechar este recurso, siempre que te brinde un nivel adecuado de iluminación.
- Usar colores claros en las paredes, muros y techos, porque los colores oscuros absorben gran cantidad de luz y obligan a utilizar más lámparas.
- Reemplazar tus fluorescentes T-12 convencionales de 40 W por fluorescentes delgados de T-8 de 36 W porque ilumina igual. Este reemplazo significa un ahorro económico de 10% en tu facturación, ya que los T-8 consumen 4W menos, utilizan los mismos sockets y lo más importante es que cuestan igual.
- Independizar y sectorizar los circuitos de iluminación, esto te ayudará iluminar sólo los lugares lo requieran.
- Instalar superficies reflectoras porque incrementan la iluminación y posibilita la reducción de lámparas en la luminaria.
- Seleccionar las lámparas que te suministren los niveles de iluminación requeridos en las normas de acuerdo al tipo de actividad que se desarrolle.
- Utilizar balastos electrónicos, porque te permiten ahorrar energía hasta un 10% y corrige el factor de potencia, así como incrementa la vida útil de los fluorescentes.
- Evaluar la posibilidad de instalar sensores de presencia, timers y dimmers para el control de los sistemas de iluminación de tu empresa.
- Utilizar luminarias apropiadas como las pantallas difusoras con rejillas. No utilizar difusores o pantallas opacas porque generan pérdidas de luz por lo que se tendrán que utilizar más lámparas.

2. Motores eléctricos

- Evitar el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
- Evitar la operación en vacío de los motores.
- Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.

- Corrige la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en los terminales del motor, genera un incremento de la corriente, sobre calentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída de tensión del 5%. Para ellos utiliza conductores correctamente dimensionados.
- Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe exceder en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance, los motores operarán con mayor eficiencia.
- Mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobre calentamiento en los conductores ocasionando significativas pérdidas de energía y en caso extremo la falla del motor.
- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques, con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores y lograrás disminuir las pérdidas durante la aceleración.
- Sustituir en los motores de rotor devanado, los reguladores con resistencias para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes, porque las resistencias llegan a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.
- Instalar equipos de control de temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.
- No se recomienda rebobinar los motores más de 2 veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementaría las pérdidas de energía.

3. Transformadores

- Preocuparse por conocer la carga asociada al transformador para no sobrecargarlo, y así reducir las pérdidas en el cobre.
- Evitar la operación de transformadores a baja carga (menor al 20%), si es posible redistribuye las cargas.
- Revisar el nivel y rigidez dieléctrica del aceite cada 6 meses, con el fin de controlar la capacidad aislante y refrigerante del mismo.
- Realizar una limpieza periódica del transformador, es decir, superficie del tanque, aletas disipadoras de calor, borne, etc.
- Medir con frecuencia la temperatura superficial del transformador, esta, no debe ser superior a 55°C, de ser así, debe revisarse el aceite dieléctrico.

4. Sistemas de Bombeo

- Revisar los filtros de la bomba. Limpiarlos con frecuencia para evitar que las obstrucciones ocasionen sobre cargas que aumenten innecesariamente sus consumos de energía.
- Verificar periódicamente que no haya fugas en los empaques interiores. Estas últimas pueden ocasionar pérdidas de energía.
- Revisa toda la instalación de la tubería para verificar que no existan fugas en especial en las uniones de los tramos de tubería. Los empaques viejos y gastados y las uniones flojas pueden ocasionar fugas las cuales darán por resultado un mayor consumo eléctrico.
- La potencia nominal suministrada por el motor, debe ser igual a la que requiere la bomba para trabajar a su máxima eficiencia. Si es superior está gastando innecesariamente la energía.
- El motor debe estar perfectamente alineado con la bomba y montando sobre una superficie que reduzca las vibraciones.
- Es importante instalar controles automáticos para arrancar y parar el motor de la bomba. Así evitará que éste último siga consumiendo energía eléctrica cuando la bomba haya dejado de funcionar.

5. Sistemas de Refrigeración y Climatización

- El empaque de las puertas de los equipos de refrigeración debe permitir el cierre hermético para impedir la entrada de aire caliente al espacio refrigerado.
- Limpiar con frecuencia los filtros y los condensadores de los equipos de refrigeración.
- En los ambientes climatizados con aire acondicionado o calefacción, asegura el control de la temperatura, regulando el termostato conveniente.
- No exijas mucho frío al aire acondicionado al momento de ponerlo en marcha. No refrescará el ambiente rápidamente, sólo gastará más energía.
- Considerar la posibilidad de usar ventiladores eléctricos para mantener un ambiente cómodamente fresco la mayor parte del tiempo, a una fracción del costo operacional de un equipo de aire acondicionado es de mayor costo.

6. Instalaciones Eléctricas

- Los conductores sobre cargados presentan temperaturas superiores a las normales. Esto produce pérdidas por calentamiento y el riesgo de producirse corto circuitos o incendio; por tal razón se recomienda:
 - a. Revisar la temperatura de operación de los conductores. El calentamiento puede ser causado, entre otras cosas por el calibre inadecuado de los conductores o por empalmes y conexiones mal efectuados.
 - b. La recomendación anterior se hace extensiva a los tableros de distribución, por tanto, debe evitarse sobre cargar los circuitos derivados del mismo.

- c. Las conexiones flojas o inadecuadas aumentan las pérdidas de energía, por lo que se debe efectuar, un programa periódico de ajuste de conexiones y limpieza de contactos, bomeras, barrajes, etc.

7. Compensación de Energía Reactiva

- Los transformadores, motores y reactores consumen energía reactiva, la cual puede compensarse mediante la instalación de bancos de capacitores (de potencia) ó generadores síncronos para mejorar el factor de potencia.
- La compensación de Energía Reactiva tiene los siguientes beneficios:
 - a. Elimina la facturación de energía reactiva.
 - b. Reduce las caídas de tensión.
 - c. Reduce las pérdidas por efecto Joule.
 - d. Protege la vida útil de tus instalaciones.

CAPÍTULO 3

CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN

INTRODUCCIÓN

La iluminación es un aspecto que a menudo no alcanza la atención necesaria por parte de los profesionales del mundo de la construcción. Arquitectos, ingenieros, decoradores y los mismos propietarios o autores de las obras, suelen no reparar en la importancia de la iluminación como elemento que afecta a la globalidad de la obra.

La iluminación representa una de las áreas más importantes y de más desarrollo dentro de las instalaciones eléctricas. En el área de ahorro de energía es la parte en la que se han tenido más avances tecnológicos que han permitido una extraordinaria eficiencia en los equipos que con menos consumo de energía se tiene más y mejor iluminación. Pero no hay que olvidar, en la calidad de energía eléctrica intervienen los dispositivos que se conectan a la red eléctrica, en los circuitos actuales para sistemas de iluminación se utilizan dispositivos electrónicos que generan una gran cantidad de armónicas, pero que actualmente se ha logrado disminuir a valores tolerables.

Las investigaciones se han desarrollado en las empresas privadas que se dedican a la fabricación de equipos de iluminación ha llevado a tener una amplia lista de dispositivos y equipos, como lámparas y balastos que han sustituido a los convencionales. Es necesario conocer las ofertas tecnológicas de cada empresa para poder tomar una decisión más eficiente en la aplicación de un proyecto de iluminación que se pueda tener y saber comparar precios, calidad, y tipo de iluminación deseada.

El conocimiento de sistemas de iluminación para el ingeniero eléctrico va más allá del simple circuito y conexiones, es necesario conocer tipos de lámparas y la forma más adecuada de iluminación de acuerdo a la cantidad de luz, dirección, color, etc. así como nueva tecnología que permite tener mejoras respecto a los sistemas convencionales.

Es necesario conocer cuales son los dispositivos de iluminación más comunes y como han evolucionado, así como conocer los parámetros de iluminación para poder comparar las diferentes ofertas que se tienen. Es imposible dar a conocer en el capítulo los diferentes equipos de iluminación pero se podrá conocer cuales son sus parámetros de niveles de iluminación, eficiencia y tipos de lámparas más comunes y más adelante en el capítulo 6 se presentara un ejemplo en que se utilizaran todos los parámetros necesarios para escoger cual es la mejor opción para un cambio basado principalmente en el estudio del ahorro de energía.

3.1 DEFINICIONES

Luminario: Unidad de iluminación completa que consiste en una o varias lámparas, las partes diseñadas para distribuir la luz (carcasa de luminario) y cualquier componente necesario de arranque (balastros).

Fotométricos: Una prueba fotométrica mide la calidad y la dirección de luz emitida por un luminario. Los fotométricos se refieren a los valores de medición.

Intensidad luminosa: Medida en una prueba fotométrica para describir la intensidad de la luz en una dirección en particular. La intensidad luminosa se mide en candelas.

Flujo luminoso: El flujo de luz de una lámpara o luminario. Se mide en lúmenes.

Iluminancia: El flujo de luz sobre una superficie. La iluminancia se expresa en luxes.

Cociente de eficacia del luminario: Una unidad métrica usada para describir la eficiencia de la energía de los productos de iluminación. Este valor, listado en muchas hojas de especificaciones de producto, consta de un prefijo que indica la categoría del producto y de un número que indica los lúmenes por watt o LER.

Eficiencia Luminosa: la producción total de lúmenes de un luminario expresado como un porcentaje del promedio de lúmenes de lámpara desnuda (como se determina en las pruebas fotométricas). La eficiencia luminosa sólo cuantifica la cantidad de luz emitida de un luminario; no describe la cantidad de luz de un luminario.

Plano de trabajo: superficie horizontal en donde se realizan tareas visuales. El plano de trabajo por lo general está a nivel de piso para aplicaciones en exteriores y de 80 cm. para aplicaciones de oficina (corresponde a la altura del escritorio). En algunos casos, un plano de trabajo puede ser vertical, como un anaquel de biblioteca o un estante de bodega.

Criterio de espaciamento: valor que se utiliza para describir la relación de la distancia recomendada entre luminarios y la altura de montaje sobre el plano de trabajo. Esta relación se utiliza como una guía para asegurar la uniformidad de los niveles de luz.

Distorsión armónica total (THD): Es la relación entre la amplitud de las corrientes armónicas totales y la amplitud de la onda de frecuencia fundamental. También es la relación entre la raíz cuadrática media de todas las armónicas y la raíz cuadrática media de la fundamental.

Coeficiente de utilización (CU): porcentaje de lúmenes nominales de la lámpara desnuda que emite el luminario y llega al plano de trabajo. El CU representa la luz indirectamente del luminario así como la luz reflejada a la superficie de la habitación. Este valor se utiliza para cálculos de iluminación en la estimación de los niveles de luz o cantidad de luminarios necesarios. Se determina por medio de una prueba fotométrica y se publica en los catálogos de los productos en forma de tabla.

La candela (cd) se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es de 1/683 watt por esterradián (16ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1979).

Arranque por precalentamiento: Circuito usado en lámparas fluorescentes en el cual los electrodos son previamente calentados por medio de un interruptor auxiliar o arrancador.

Arranque rápido: Se designan con este nombre a aquellos sistemas en los que las lámparas de cátodo caliente se operan bajo las siguientes condiciones: (1) las lámparas se encienden previo calentamiento de los cátodos hasta una temperatura suficiente y adecuada para la emisión de electrones y sin que se establezca la ionización en la región entre los cátodos, (2) El calentamiento se efectúa, ya sea mediante devanados calentadores de baja tensión del balastro o bien mediante transformadores de baja tensión que se instalan por separado, (3) La aplicación de suficiente tensión a través de la lámpara y entre la lámpara y un auxiliar de encendido (usualmente el mismo luminario) para iniciar la descarga cuando los cátodos llegan a una temperatura lo suficientemente alta para una emisión adecuada, (4) La tensión de calentamiento de los cátodos se mantiene durante todo el ciclo de operación de la lámpara. Hay dos tipos de lámparas para sistemas de encendido rápido: lámparas con cátodos de baja resistencia y lámparas con cátodos de alta resistencia. Este circuito es una versión moderna del sistema de arranque trigger y se requiere que las lámparas hallan sido diseñadas para este circuito.

Arranque "trigger": un circuito utilizado para eliminar el arrancador que comienza a precalentar la lámpara casi de manera instantánea. Este circuito cada electrodo está conectado a cables diferentes del balastro de manera que el electrodo tiene un calentamiento continuo. Este circuito es principalmente utilizado en lámparas de 20 watts y de menor potencia.

Encendido instantáneo: circuito usado para encender cierto tipo de lámparas fluorescentes sin la necesidad de arrancadores o cebadores. Este circuito genera un voltaje elevado equivalente al requerido por una lámpara de arranque por precalentamiento de la misma longitud y poder generar un arco eléctrico sin que previamente se hayan calentado los electrodos.

Índice de rendimiento de color (CRI): Es un método para describir el efecto de una lámpara en el color de los objetos que ilumina. Para fines prácticos sólo puede tomar valores entre 0 y 100, siendo 100 el valor que corresponde a una lámpara que reproduce fielmente todos los colores. Las lámparas con CRI menor a 100 sólo pueden compararse cuando tienen la misma TCC.

Temperatura de color correlacionada (TCC): La TCC es un parámetro que se expresa en kelvin, usado para clasificar a las lámparas de acuerdo con su aspecto cromático; es decir, para evaluar su "calidez" o "frescura". Las lámparas con TCC de 3,000 K o menos se consideran cálidas, las de 3,500 K neutrales o tibias y las de 4,000 K en adelante frías. La selección de una lámpara por su TCC depende de la aplicación.

Reflectancia e specular: Es la relación entre el flujo luminoso que sale de una superficie por reflexión regular o especular con un ángulo igual al ángulo del flujo incidente (a diferencia del reflejo difuso)

Reflectancia de una superficie: Es la relación entre el flujo luminoso que sale de una superficie o medio y el flujo luminoso incidente. La reflectancia depende del ángulo de visión.

Transmitancia total: Es la relación entre la luz visible transmitida por un material y la luz incidente sobre él. Depende de la dirección y calidad de la luz incidente.

3.2 LUMINOTECNIA

Luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación. Iniciemos su estudio examinando las variaciones electromagnéticas simples, que pueden clasificarse bien por su forma de generarse, por sus manifestaciones o efectos, o simplemente por su longitud de onda.

Las radiaciones visibles se caracterizan por ser capaces de estimular el sentido de la vista y estar comprendidas dentro de una franja de longitud de onda muy estrecha, comprendida aproximadamente entre 380 y 780 nm. Esta franja de radiaciones visibles, está limitada de un lado por las radiaciones ultravioleta y de otro, por las radiaciones infrarrojas, que naturalmente no son perceptibles por el ojo humano.

Una de las características más importantes de las radiaciones visibles, es el color. Estas radiaciones, además de suministrar una impresión luminosa, proporcionan una sensación del color de los objetos que nos rodean. Dentro del espectro visible, pueden clasificarse una serie de franjas, cada una de las cuales se caracteriza por producir una impresión distinta, característica peculiar de cada color.

No todas las longitudes de onda producen la misma impresión luminosa y que la radiación que más impresión causa es la correspondiente a una longitud de onda de 550 nm propia del color amarillo-verde. Esta impresión va decreciendo a derecha e izquierda del valor máximo característico, siendo para los colores rojo y violeta los que dan una menor impresión. De estos resultados se tiene la "Curva Internacional de Sensibilidad del ojo humano" elaborada por la C.I.E.¹, tal y como se representa en la Fig. 3.1.

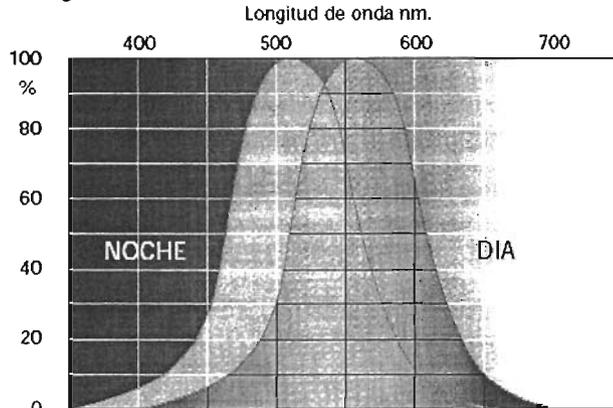


Fig. 3.1 Curva Internacional de Sensibilidad del ojo humano.

3.2.1 Temperatura de color

Otro dato digno de tener presente en luminotecnia es el conocido con el nombre de "Temperatura del Color". Considerado el cuerpo negro como radiante teóricamente perfecto, este va cambiando de color a medida que vamos aumentando su temperatura, adquiriendo al principio el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo, el blanco, el blanco azulado, y finalmente el azul.

De esta idea nace la "Temperatura del Color", y se utiliza para indicar el color de una fuente de luz, por comparación de esta con el color del cuerpo negro a una determinada temperatura. Así, por ejemplo, el color de la llama de una vela es similar al de un cuerpo negro calentado a 1,800 °K, por lo que se dice que la temperatura de color de la llama de una vela es de 1,800 °K (Tabla 3.1 y 3.2).

La temperatura de color solamente puede ser aplicada a aquellas fuentes de luz que tengan una semejanza con el color del cuerpo negro, como por ejemplo la luz del día, la luz de las lámparas incandescentes, la luz de las lámparas fluorescentes, etc. El color de las lámparas de vapor de sodio, no coincide con el color del cuerpo negro a ninguna temperatura, por lo que ni pueden ser comparadas con él, ni se les puede asignar ninguna temperatura de color (Fig. 3.2).

¹ C.I.E.: Comisión Internacional de Iluminación (Commission Internationale de l'Eclairage).

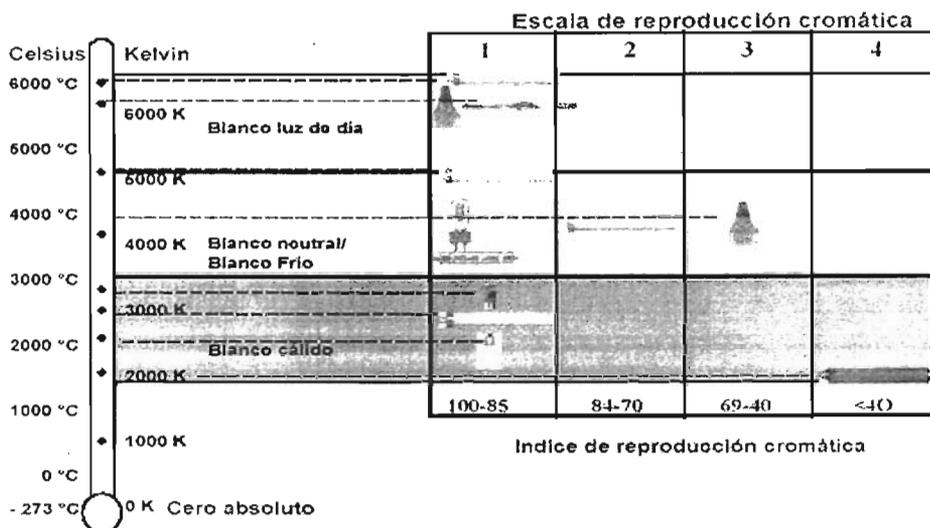


Fig. 3.2 Temperaturas de color para diferentes tipos de lámparas.

Tabla 3.1 Ejemplos de temperatura de color.

Cielo azul 20,000 °K	Cielo nublado 7,000 °K
Luz solar directa 5,000 °K	Luz de velas 1,800 °K

Tabla 3.2. Temperaturas de color características en lámparas.

Lámparas fluorescentes	Lámparas incandescentes
Blanco cálido 3,000 °K	Normales 2,700 °K
Luz día 6,500 °K	Halógenas 3,100 °K

Existe una cierta relación entre la temperatura de color y el nivel de iluminación, de tal forma que a mayor temperatura de color, la iluminación ha de ser también mayor para conseguir una sensación agradable.

3.2.2 Unidades de medida para iluminación

Partiendo de la base de que para poder hablar de iluminación es preciso contar con la existencia de una fuente productora de luz y de un objeto a iluminar, las magnitudes que deben conocerse y definirse son las siguientes:

Tabla 3.3 Magnitudes para iluminación.

MAGNITUD	UNIDAD	SIMBOLO
Flujo luminoso	Lumen	Φ
Nivel de iluminación (Iluminancia)	Lumen / m ² = Lux	E
Intensidad luminosa	Candela	I
Luminancia	Candela / m ²	L

3.2.2.1 Flujo luminoso

Es la magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa y se puede definir de la siguiente manera:

Flujo luminoso es la cantidad total de luz radiada o emitida por una fuente durante un segundo, formula 3.1.

$$\phi = \frac{Q}{t} = \frac{\text{Lumenes/seg}}{\text{seg}} = \text{Lumen} \quad (3.1)$$

El Lumen como unidad de potencia corresponde a 1/680 W emitidos a la longitud de onda de 550 nm.

Tabla 3.4 Ejemplos de flujos luminosos aproximados.

Lámpara de incandescencia de 60 W.	730 Lm.
Lámpara fluorescente de 65 W. "blanca"	5.100 Lm.
Lámpara halógena de 1000 W.	22.000 Lm.
Lámpara de vapor de mercurio 125 W.	5.600 Lm.
Lámpara de sodio de 1000 W.	120.000 Lm.

3.2.2.2 Nivel de iluminación

En nivel de iluminación o iluminancia se define como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie, formula 3.2.

$$E = \frac{\phi}{S} = \frac{\text{Lumen}}{\text{m}^2} = \text{Lux} \quad (3.2)$$

A su vez, el Lux se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 m² cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de 1 Lumen. Ejemplos de iluminación aproximados en casos específicos Tabla 3.5:

Tabla 3.5 Niveles de iluminación aproximados.

Mediodía en verano	100.000 Lux.
Mediodía en invierno	20.000 Lux.
Oficina bien iluminada	400 a 800 Lux.
Calle bien iluminada	20 Lux.
Luna llena con cielo claro	0,25 a 0,50 Lux.

3.2.2.3 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada, es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes, formula 3.3.

$$I = \frac{\phi}{\omega} = \text{Candelas} \quad (3.3)$$

I = Intensidad luminosa en candelas.

ϕ = Flujo luminoso en lúmenes.

ω = Ángulo sólido en estereorradianes.

La candela se define también como 1/60 de la intensidad luminosa por cm^2 del "cuerpo negro" a la temperatura de solidificación del platino (2,042 °K).

Con el fin de aclarar el concepto de ángulo sólido, imaginemos una esfera de radio unidad y en su superficie delimitemos un casquete esférico de 1 m^2 de superficie. Uniendo el centro de la esfera con todos los puntos de la circunferencia que limitan dicho casquete, se nos formará un cono con la base esférica; el valor del ángulo sólido determinado por el vértice de este cono, es igual a un estereorradián, o lo que es lo mismo, un ángulo sólido de valor unidad.

En general, definiremos el estereorradián como el valor de un ángulo sólido que determina sobre la superficie de una esfera un casquete cuya área es igual al cuadrado del radio de la esfera considerada, formula 3.4.

$$\omega = \frac{S}{r^2} = \text{Estereorradián} \quad (3.4)$$

Según podemos apreciar en la Fig. 3.3, la definición de ángulo sólido nos da idea de la relación existente entre flujo luminoso, nivel de iluminación e intensidad luminosa.

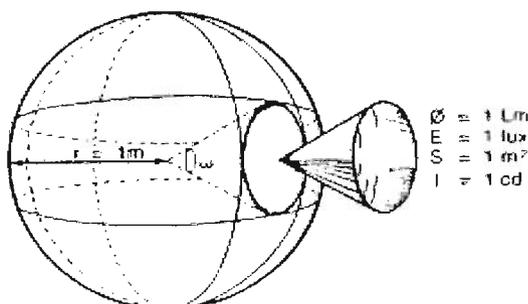


Fig. 3.3 Ángulo sólido.

Tabla 3.6 Ejemplos de intensidad luminosa aproximada.

Lámpara para faro de bicicleta sin reflector	1 cd.
Lámpara PAR-64 muy concentrada	200,000 cd.
Faro marítimo (Centro del haz)	2'000,000 cd.

3.2.2.4 Luminancia

Luminancia es la intensidad luminosa por unidad de superficie perpendicular a la dirección de la luz (Fig. 3.5).

$$L = \frac{I}{S} = \quad (3.5)$$

La luminancia L suele expresarse indistintamente en candelas/cm² o en candelas/m².

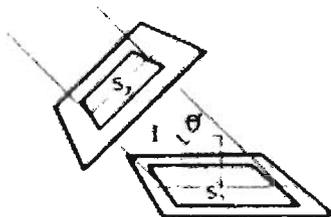


Fig. 3.4 Superficie iluminada.

Cuando la superficie considerada S₁ no es perpendicular a la dirección de la luz, habrá que considerar la superficie real S₂, que resulta de proyectar S₁ sobre dicha perpendicular. S₂ = S₁ cos θ, formula 3.6.

Por lo tanto:
$$L = \frac{I}{S_2} = \frac{I}{S_1 \cos \theta} \quad (3.6)$$

Tabla 3.7 Ejemplos de luminancia aproximada.

Filamento de lámpara incandescente	10'000,000 cd/m ²
Arco voltaico	160'000,000 cd/m ²
Luna llena	2,500 cd/m ²

3.3 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA ILUMINACIÓN

3.3.1 Cálculo punto por punto

Este método es útil en la determinación de variación de niveles de iluminación y la uniformidad de un diseño de iluminación. Se usa con mucha frecuencia en áreas industriales y en donde no se consideran las interreflexiones. Calcula con exactitud el nivel de iluminación hacia un punto, no toma consideraciones de otras fuentes.

Es uno de los más utilizados para calcular el flujo luminoso en áreas exteriores. Con ayuda de la Fig. 3.5 y algunas de las fórmulas anteriormente expuestas, podemos llegar a interesantes conclusiones, que más adelante nos servirán.

Siendo:

$$\phi = ES \quad (3.2); \quad \omega = \frac{S}{r^2} \quad (3.4)$$

Tendremos que

$$I = \frac{\phi}{\omega} = \frac{ES}{\omega} = Er^2 \quad (3.7)$$

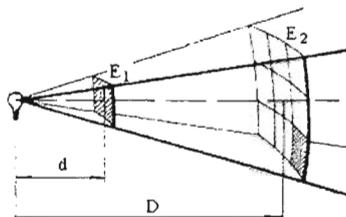


Fig. 3.5 Flujo luminoso.

Si tenemos en cuenta que los flujos luminosos y las intensidades luminosas son iguales en ambas superficies, tendremos que:

$$I = E_1 d^2 \quad ; \quad I = E_2 D^2 \quad (3.8, 3.9)$$

De donde:

$$E_1 d^2 = E_2 D^2 \quad ; \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{d^2} \quad (3.10, 3.11)$$

Según estas fórmulas observamos como una fuente de luz con una intensidad luminosa de 200 candelas en la dirección del eje de la figura determina sobre un punto situado a 1 metro de distancia, un nivel de iluminación de:

$$E = \frac{I}{d^2} = \frac{200}{1^2} = 200 \text{lux} \quad (3.12)$$

Si ahora suponemos que el punto está situado a 3 metros, el nivel de iluminación se verá reducido en una novena parte.

$$E = \frac{200}{3^2} = \frac{200}{9} = 22.2 \text{lux} \quad (3.13)$$

Cuando la superficie iluminada no es perpendicular a la dirección del rayo luminoso, la iluminancia o nivel de iluminación, viene modificado por el coseno del ángulo de incidencia, que es el ángulo formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto considerado Fig. 3.6.

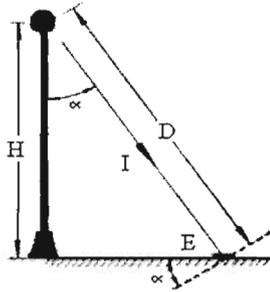


Fig. 3.6 Angulo de iluminación.

Así tendremos que:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{D^2} \quad (3.14)$$

Suponiendo que el punto de luz se encuentra a una altura \$H\$, sobre la horizontal.

$$\cos \alpha = \frac{H}{D} \quad ; \quad D = \frac{H}{\cos \alpha} \quad (3.15, 3.16)$$

Y, por tanto

$$E = \frac{I \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (3.17)$$

Por ejemplo, si suponemos una fuente de luz a una altura de 8 metros, con una intensidad luminosa de 200 candelas (este dato se obtiene de la curva de distribución de candela del fabricante para cada luminario), en un punto que forma \$20^\circ\$ con la vertical, el nivel de iluminación en dicho punto será:

$$E = \frac{200 \cos^3 20}{8^2} = 2.59 \text{ lux} \quad (3.18)$$

3.3.2 Método de lúmenes

El método lumen se utiliza cuando se desea un nivel de iluminación horizontal promedio. Se basa en la ecuación fundamental promedio, formula 3.19.

$$\text{Iluminancia} = \frac{\text{Flujo luminoso en lúmenes}}{\text{Área en } m^2} \quad (3.19)$$

A) Coeficiente de Utilización

Se basa en la distribución fotométrica del luminario y la geometría y las reflectancias de las superficies del área a iluminar. Por lo general en menos que 1.0 y representa el porcentaje del total de lúmenes de lámpara que finalmente alcanza el plano de trabajo horizontal. Los valores precalculados se pueden encontrar en la lista de especificaciones del producto correspondiente, ejemplo la tabla siguiente de un luminario fluorescente de un catalogo de fabricante.

Tabla 3.8 Coeficiente de utilización.

P _{cc}	80			70			60			30			10			0
P _w	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	
RCR	COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN PARA 20 % DE REFLECTANCIA EFECTIVA DE PISO (P _{fc}) = 20															
0	.91	.91	.91	.89	.89	.89	.85	.85	.85	.81	.81	.81	.78	.78	.78	.76
1	.82	.80	.77	.80	.78	.76	.77	.75	.74	.74	.73	.71	.72	.70	.69	.68
2	.73	.69	.66	.72	.68	.65	.69	.66	.63	.67	.64	.62	.65	.63	.61	.59
3	.66	.60	.56	.65	.60	.56	.62	.58	.55	.60	.57	.54	.59	.56	.53	.52
4	.59	.53	.49	.58	.53	.48	.56	.51	.48	.55	.50	.47	.53	.49	.47	.45
5	.53	.47	.43	.52	.47	.42	.51	.46	.42	.49	.45	.41	.48	.44	.41	.40
6	.48	.42	.38	.47	.42	.37	.46	.41	.37	.45	.40	.37	.44	.40	.36	.35
7	.44	.38	.33	.43	.37	.33	.42	.37	.33	.41	.36	.33	.40	.36	.33	.31
8	.40	.34	.30	.40	.34	.30	.39	.33	.30	.38	.33	.29	.37	.33	.29	.28
9	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.36	.30	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.26	.25
10	.34	.28	.24	.34	.28	.24	.33	.28	.24	.32	.27	.24	.31	.27	.24	.23

En el caso de la tabla anterior P_{cc} corresponde a la reflexión del techo, el P_w a la de la pared, el del piso se maneja como fijo para 20 % y el RCR que en otras tablas la podríamos encontrar como coeficiente espacial (K), las formulas para el calculo de esta incógnita son las siguientes:

Método de indice de cuarto:

$$I_c = \frac{AREA}{Hcc(largo + ancho)} \tag{3.20}$$

Método de cavidad zonal:

Áreas regulares:

$$RCR = \frac{5 \times Hcc(largo + ancho)}{AREA} \tag{3.21}$$

Áreas irregulares:

$$RCR = \frac{2.5 \times Hcc \times perimetro}{AREA} \tag{3.22}$$

Las dimensiones del local también juegan un papel importante sobre el valor del coeficiente de utilización. Esto se pone en evidencia con lo expresado anteriormente, "la proporción de flujo luminoso que llega a la superficie de trabajo depende de la relación que exista entre el flujo directo y el reflejado".

Un local estrecho y alto desperdicia mucho más flujo luminoso que otro que en proporción sea más ancho y más bajo. Esto equivale a decir que la cantidad de flujo enviado al plano útil de trabajo es directamente proporcional a la superficie e inversamente proporcional a la altura Fig. 3.7.

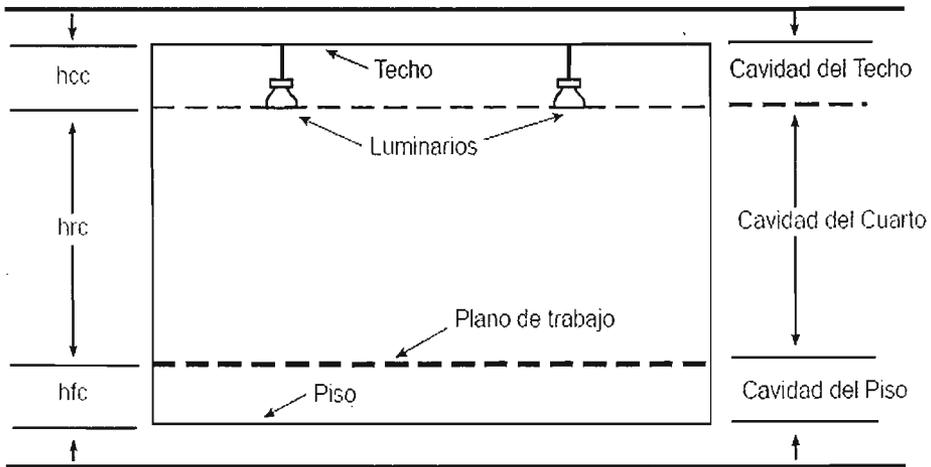


Fig. 3.7 Método de lumen.

La reflexión de la luz (Tabla 3.9) sobre las paredes del local juega un importante papel sobre el coeficiente de utilización. De la totalidad del flujo luminoso que incide sobre las paredes, una parte se refleja, mientras que otra es absorbida y anulada, dependiendo la proporción de una y otra, del color de las paredes.

Así, el comportamiento del flujo total emitido por las lámparas de un local, es el siguiente: del flujo luminoso total emitido por las lámparas, solamente una parte llega directamente a la superficie de trabajo; otra parte del flujo emitido, se dirige a las paredes, donde, como ya sabemos, una fracción se absorbe y otra llega a la superficie de trabajo después de una o varias reflexiones; finalmente, otra parte del flujo luminoso se emite hacia el techo donde, como antes, una porción se absorbe y otra llega a la superficie de trabajo.

Tabla 3.9 Reflexiones aproximadas.

TONO	COLOR	REFLEXIÓN EN %
Muy claro	Blanco nuevo	88
	Blanco viejo	76
	Azul verde	76
	Crema	81
	Azul	65
	Miel	76
	Gris	83
Claro	Azul verde	72
	Crema	79
	Azul	55
	Miel	70
	Gris	73
Mediano	Azul verde	54
	Amarillo	65
	Miel	63
	Gris	61
Obscuro	Azul	8
	Amarillo	50
	Café	10
	Gris	25
	Verde	7
	Negro	3
Superficies de madera	Maple	43
	Nogal	16
	Caoba	12
	Pino	48
Acabados metálicos	Blanco polarizado	70-85
	Esmalte horneado	75
	Aluminio pulido	75
	Aluminio mate	79
	Aluminio claro	59
Acabados de paredes	Roca basáltica	18
	Canela clara	18
	Tabique muy pulido	48
	Tabique rojo vidriado	30
	Tabique pulido	40
	Tabique rojo barnizado	30
	Cemento	27
	Concreto	40
	Mármol blanco	45
	Vegetación	25
	Asfalto limpio	7
	Adoquín de roca ígnea	17
	Grava	13
	Pasto (verde oscuro)	6
Pizarra	8	

B) Factor de mantenimiento

Una instalación de alumbrado no mantiene indefinidamente las características luminosas iniciales. Ello se debe a dos factores, principalmente:

1º. A la pérdida de flujo luminoso de las lámparas, motivada tanto por el envejecimiento natural como por el polvo y suciedad que se deposita en ellas.

2º. A la pérdida de reflexión del reflector o de transmisión del difusor o refractor, motivada asimismo por la suciedad.

La estimación de este coeficiente debe hacerse teniendo en cuenta diversos factores relativos a la instalación, tales como el tipo de luminaria (Fig. 3.6), grado de polvo y suciedad existente en la nave a iluminar, tipo de lámparas utilizadas, número de limpiezas anuales y asiduidad en la reposición de lámparas defectuosas (Fig. 3.8 y Tabla 3.10). Todo ello y con la experiencia acumulada a lo largo de los años, hace posible situar el factor de mantenimiento dentro de límites comprendidos entre el 80 y el 50%, tal y como se indica en la tabla de factores de depreciación por suciedad acumulada en las superficies del cuarto.

Por consiguiente, al calcular el flujo total necesario para obtener un nivel medio de iluminación, será preciso tener en cuenta este factor, ya que de lo contrario obtendríamos el flujo luminoso del primer día de puesta en funcionamiento de la instalación, el cual iría degradándose poco a poco hasta llegar a ser insuficiente.

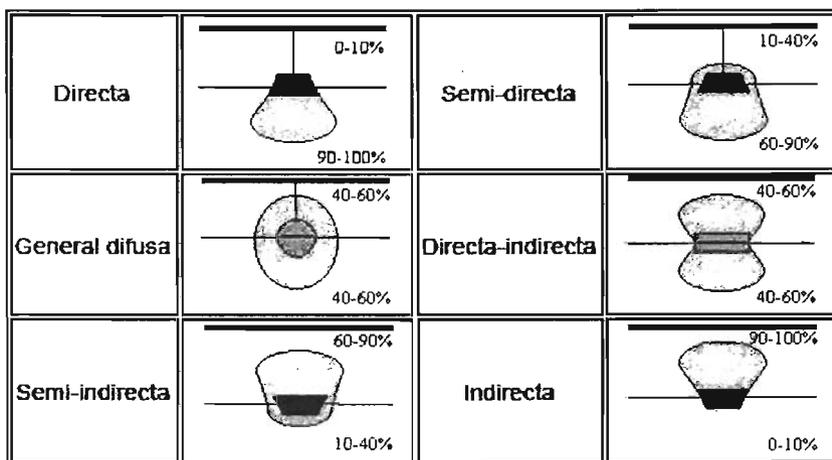


Fig. 3.8 Clasificación de luminarias de acuerdo a su curva de distribución.

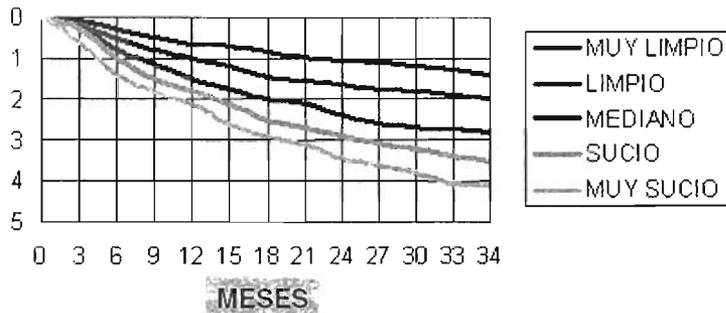


Fig. 3.9 Porcentaje de depreciación por suciedad esperada.

Tabla 3.10 Factores de depreciación por suciedad acumulada en las superficies del cuarto.

MESES	TIPO DE DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIOS																			
	DIRECTO				SEMI-DIRECTO				DIRECTO-INDIRECTO				SEMIINDIRECTO				INDIRECTO			
% de depreciación por suciedad esperada	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.86	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

C) Cálculo de los lúmenes instalados

Con los cálculos realizados para la obtención de los datos de coeficiente de utilización y factor de mantenimiento se procede a aplicar las siguientes formulas 3.23, 3.24:

Interiores:

$$E = \frac{(\# \text{ de luminarios})(\# \text{ de lámparas})(\text{Lúmenes})(\text{CU})(\text{FM})}{\text{AREA}} \quad (3.23)$$

Exteriores:

$$E = \frac{(\# \text{ de luminarios})(\# \text{ de lámparas})(\text{Lúmenes})(\text{CU})(\text{FM})}{(\text{esp.entre lum.})(\text{ancho de la calle})} \quad (3.24)$$

3.4 LÁMPARAS Y SUS COMPONENTES

Desde la primera lámpara de Edison, hace ya más de 100 años, se ha ido acumulando una gran experiencia en el campo de la iluminación, que supone una parte muy importante en el conjunto de la electricidad moderna.

A lo largo de estos años se han descubierto nuevos tipos de lámparas a las que se han ido adaptando una serie de componentes y aparatos auxiliares, tales como casquillos, portalámparas, reactancias, etc. La introducción de sistemas electrónicos a mejorado la eficiencia en el consumo y en la emisión de luz, así como, permite la disminución de las dimensiones, peso y calor generado principalmente, sin a necesidad de tener que limitar el flujo que se tenía.

3.4.1 La eficacia luminosa

La eficacia luminosa o rendimiento de una lámpara se expresa como el cociente entre el flujo luminoso producido (formula 3.25) y la potencia eléctrica consumida (Fig. 3.10).

$$R = \frac{\phi}{W} = \frac{Lm}{W} \quad (3.25)$$

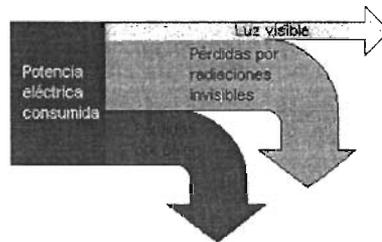


Fig. 3.10 Eficacia luminosa.

La eficacia de las lámparas de incandescencia es la más baja de todas las lámparas y es del orden de 8 Lm/W para lámparas de pequeña potencia y del orden de 20 Lm/W para las de gran potencia. Por ejemplo una lámpara de 1,000 watts que emite 1,750 lúmenes tiene una eficiencia de 17.5 lúmenes por watt.

No se debe confundir la eficacia de una lámpara con el rendimiento de la transformación "energía eléctrica energía luminosa". Casi la totalidad de la energía eléctrica aplicada a las lámparas se transforma en calor, y solamente una pequeñísima parte se transforma en luz, es difícil encontrar rendimientos peores.

La vida media de una lámpara de incandescencia se estima en unas 1,000 horas, es decir, que parte de ellas durarán menos, mientras que otras sobrepasarán esta cifra. La vida media de las lámparas de incandescencia es la menor de todas las lámparas, no obstante, por sus características es la que más se utiliza en el alumbrado de viviendas.

3.4.2 Lámparas de incandescencia

La incandescencia es un sistema en el que la luz se genera como consecuencia del paso de una corriente eléctrica a través de un filamento conductor. Su forma no está supeditada fundamentalmente a ningún concepto técnico, siguiendo generalmente criterios estéticos o decorativos, por lo que se fabrican según una extensa variedad de formas (Fig. 3.11). El modelo estándar es el más corrientemente utilizado.

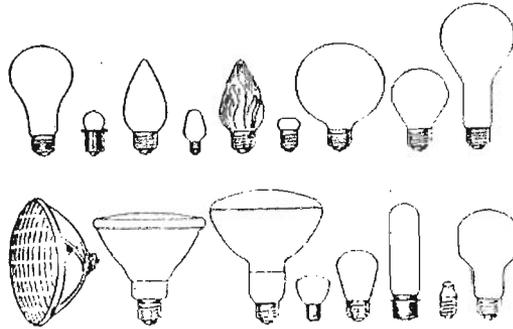


Fig. 3.11 Formas comúnmente utilizadas en lámparas incandescentes.

La energía radiada por estas lámparas tiene un carácter continuo y que gran parte de la energía se encuentra en la zona de los colores rojos, mientras que solamente una pequeña parte lo hace en la zona del color violeta. De esto se deduce que la luz radiada por este tipo de lámparas se asemeja a la luz solar.

3.4.3 Lámparas de incandescencia con halogenuros

Las lámparas de incandescencia con halogenuros o simplemente lámparas halógenas no son más que lámparas de incandescencia perfeccionadas.

En las lámparas de incandescencia tiene lugar el ya conocido fenómeno de evaporación del filamento, que consiste en el desprendimiento de partículas de tungsteno que siguiendo las corrientes de convección del gas en el interior de la lámpara, acaban por depositarse sobre la pared interior de la ampolla, ennegreciéndola.

El extremadamente pequeño volumen de estas lámparas, permite realizar ampollas de cuarzo de gran resistencia, admitiendo un relleno de gas a mayor presión.

Todo lo dicho sobre las lámparas halógenas nos permite citar las siguientes ventajas sobre las lámparas de incandescencia convencionales:

- El flujo luminoso es mayor, debido a que el filamento puede trabajar a mayores temperaturas. Esto es posible gracias a la regeneración del tungsteno.
- La vida media resulta mayor, 2,000 h., debido también a la regeneración del tungsteno.
- La ampolla de cuarzo apenas se ennegrece, puesto que no se deposita tungsteno sobre ella, lo que se traduce en una menor depreciación del flujo luminoso, que permanece casi inalterable a lo largo de su vida.
- Debido a sus reducidas dimensiones es posible conseguir un control más preciso del haz luminoso.
- Para la manipulación de estas lámparas hay que tener presentes dos cuestiones muy importantes:
 - Evitar la presencia de grasa sobre la ampolla de cuarzo, es decir, no deben tocarse con las manos, ya que a altas temperaturas se puede originar la desvitrificación del cuarzo con las anomalías consiguientes.
 - Su posición de trabajo debe de ser siempre horizontal con una tolerancia máxima de unos 4° . Una mayor inclinación altera el equilibrio térmico de la regeneración, afectando seriamente a la vida de la lámpara.

La temperatura de color de estas lámparas resulta ser de $3,100^\circ\text{C}$ y la eficacia luminosa es del orden de 22 Lm/W , algo mayor que la correspondiente a lámparas de incandescencia convencionales.

En la actualidad se fabrican dos tipos de lámparas halógenas, las llamadas de casquillos cerámicos y las de doble envoltura, tal y como se muestra en la Fig. 3.12.

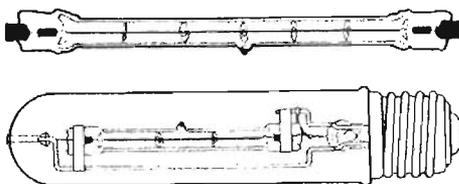


Fig. 3.12 Lámparas alógenas.

La posibilidad de un encendido y reencendido instantáneo, la gran facilidad de controlar el haz luminoso y una muy buena reproducción cromática, hace de estas lámparas un medio excelente para el alumbrado de pistas deportivas, carteles publicitarios, edificios y monumentos. No obstante, debido a la corta vida media de estas lámparas, se trata de un alumbrado bueno pero muy caro.

Además de los dos tipos de lámparas halógenas que acabamos de describir y cuya aplicación se centra principalmente en el alumbrado industrial, existen otras lámparas halógenas para aplicaciones diversas, tales como pequeñas lámparas de sobremesa, lámparas para faros de automóviles, lámparas para proyectores de transparencias y diapositivas, etc. Este tipo de lámparas se pueden alimentar con bajos voltajes de 6, 12 y 24, y también pequeñas lámparas halógenas con alimentación de tensión de red.

En algunas lámparas se ha incluido la tecnología IRC significa que tiene una capa reflectora de infrarrojos en el bulbo de la lámpara. Es una tecnología de ahorro de energía. Consiste en la recuperación térmica convirtiendo el calor en luz, la capa especial refleja el calor hacia el filamento para que permanezca dentro y de esta forma se requiere de menor energía para mantener el filamento a su temperatura de operación.

3.4.4 Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son fuentes luminosas originadas como consecuencia de una descarga eléctrica en atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, en las que la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia. Este fenómeno consiste en que determinadas sustancias luminiscentes, al ser excitadas por la radiación ultravioleta del vapor de mercurio a baja presión, transforman esta radiación invisible en otra de onda más larga y que se encuentra dentro del espectro visible.

La lámpara fluorescente normal consta de un tubo de vidrio de un cierto diámetro y longitud variable según la potencia, recubierto internamente de una capa de sustancia fluorescente. En los extremos de este tubo se encuentran los cátodos de wolframio impregnados en una pasta formada por óxidos alcalinotérreos que facilitan la emisión de electrones. El tubo está relleno de gas argón a baja presión y una pequeña cantidad de mercurio.

Conectada la lámpara en su correspondiente circuito, la corriente eléctrica que atraviesa los electrodos, los calienta y les hace emitir electrones, iniciándose la descarga si la tensión aplicada entre los extremos es suficiente. El calor producido, evapora rápidamente el mercurio por lo que la descarga se mantiene en una atmósfera de mayor conductividad, mezcla de gas argón y del vapor de mercurio, Fig. 3.13.

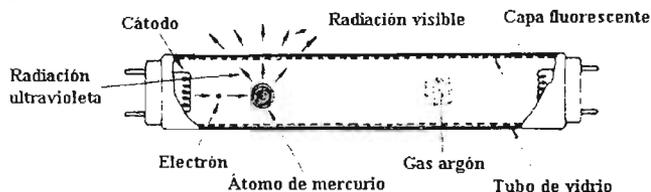


Fig. 3.13 Componentes de una lámpara fluorescente.

Los electrones así obtenidos, en su recorrido de un extremo a otro del tubo, chocan con los átomos de mercurio y la energía desprendida en el choque se transforma en radiaciones ultravioleta y por lo tanto invisibles, pero capaces de excitar la capa fluorescente que recubre el interior del tubo, con lo que se transforman en luz visible.

Las lámparas fluorescentes, como todas las de descarga, presentan una resistencia al paso de la corriente que disminuye a medida que esta se incrementa. Este efecto las llevaría a la autodestrucción si no les colocáramos algún elemento que controle la intensidad que circula por ellas; este elemento es una reactancia cuyo nombre específico para este caso es "balasto".

Las funciones que debe cumplir una reactancia, en el orden en que se realizan al poner en funcionamiento un tubo fluorescente, son:

- Proporcionar la corriente de arranque o precalentamiento de los filamentos para conseguir de éstos la emisión inicial de electrones.
- Suministrar la tensión de salida en vacío suficiente para hacer saltar el arco en el interior de la lámpara.
- Limitar la corriente en la lámpara a los valores adecuados para un correcto funcionamiento.

Las investigaciones llevadas a cabo en el campo de la química han permitido descubrir nuevos materiales fluorescentes que mejoran sensiblemente la transformación de las radiaciones ultravioleta en luz visible, al mismo tiempo que permiten la obtención de tonalidades diversas de luz.

La adecuada dosificación en la mezcla de estas nuevas materias ha permitido la fabricación de una amplia gama de lámparas fluorescentes, con unas características de emisión a diferentes temperaturas de color y con índices de reflexión cromática mejores.

La extensa gama de tonalidades aparecidas en el mercado, y después de una lógica racionalización, ha quedado establecida en tres categorías básicas, según la temperatura de color:

- 1ª) Tonalidades cálidas (2,700 - 3,100 °K)
- 2ª) Tonalidades frías (3,800 - 4,500 °K)
- 3ª) Tonalidades luz de día (6,500 - 7,500 °K)

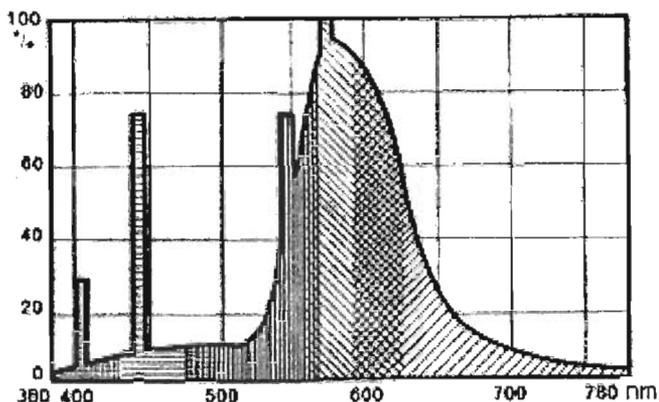


Fig. 3.14 Curva de distribución espectral relativa de una lámpara fluorescente de tono "Blanco cálido".

Hasta no hace mucho los modelos que normalmente se fabricaban correspondían a las potencias de 20 W, 40 W, y 65 W, con una longitud variable con la potencia y un diámetro de 3.6 cm. (T12). En la actualidad estos modelos están siendo sustituidos por otros tres tipos de mayor rendimiento luminoso, de potencias 13, 15, 20, 28, 30, 32, 34, 35, 39, 40, 56, etc., Watts, con un diámetro de 2.54 (T8), 1.5875 (T5) cm. y longitudes iguales o distintas para diversas aplicaciones.

El funcionamiento de las lámparas fluorescentes puede verse sensiblemente afectado por diversos factores tales como temperatura y humedad ambiente, número de encendidos y tensión de alimentación. El tiempo estimado de vida es de 9,000 a 30,000 horas de vida dependiendo de la marca del fabricante y las condiciones de operación.

La presencia de aire húmedo en las proximidades de un tubo fluorescente puede formar una película de humedad sobre el mismo, variando la carga electrostática de la superficie del tubo y haciendo necesarias unas tensiones de arranque superiores a las normales. Este efecto puede eliminarse en gran parte disponiendo sobre la pared externa del tubo una delgada capa de silicona que dispersa la película de agua permitiendo el arranque en mejores condiciones.

La "muerte" de un tubo fluorescente, es casi siempre consecuencia del agotamiento de sus electrodos. El momento más perjudicial para su integridad es siempre el arranque, de lo que puede deducirse que existirá una relación entre el número de encendidos y la vida del tubo. La duración de la vida de los tubos fluorescentes suele indicarse para una frecuencia de encendidos de uno cada tres horas.

La eficacia de una lámpara fluorescente, tomada como la relación entre el flujo luminoso y la potencia de la lámpara, es del orden de 55 a 85 Lm/W. Esta es la eficacia que suelen dar los fabricantes, aunque en realidad la eficacia real resultará ser la relación entre el flujo luminoso y la potencia activa total consumida; en este caso tendremos que la eficacia será notablemente menor, de 33 a 68 Lm/W. Con los nuevos balastos electrónicos aplicado a las nuevas lámparas se obtiene una eficacia del 82 la cual no disminuye mucho con el paso del tiempo al ser más durables ya que la disminución de energía aplicada ha permitido un menor desgaste de las lámparas, sumando que el balastro ya no desperdicia mucha energía en su funcionamiento, por lo que se obtiene un considerable ahorro de energía.

Finalmente diremos que la luz de los fluorescentes es especialmente indicada en todos aquellos lugares donde se necesite una iluminación de calidad. Así, es imprescindible en oficinas, tiendas, y salas y salones de actos.

La forma de identificar el tipo de lámpara por medio de su clave es la siguiente:

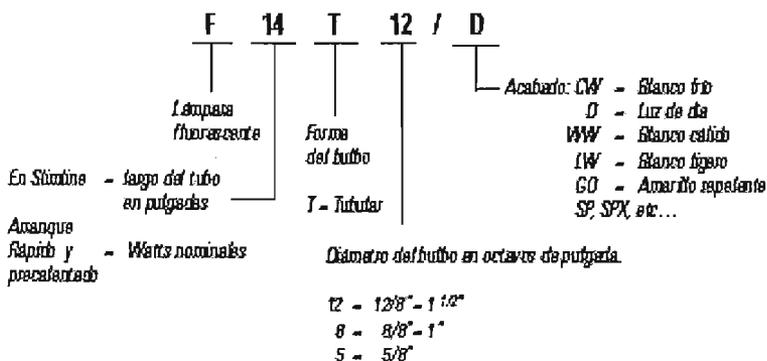


Fig. 3.15 Clave para lámpara fluorescente.

3.4.4.1 Consideraciones de funcionamiento sobre los tubos fluorescentes

Un fenómeno de especial importancia se produce durante el funcionamiento de las lámparas fluorescentes: se trata del llamado "efecto estroboscópico" (o flicker). Puesto que el arco de una lámpara funciona con corriente alterna de 60 ciclos por segundo, las corrientes de las lámparas se anulan 100 veces por segundo, disminuyendo su intensidad luminosa casi a cero en esos momentos.

Por este motivo aparece el llamado efecto estroboscópico que produce la sensación de que los cuerpos en movimiento lo hacen a velocidad menor que la real, aparece una especie de sombra a su alrededor, y el parpadeo luminoso aumenta la fatiga visual.

Naturalmente es necesario compensar o corregir este fenómeno si queremos tener un alumbrado en perfectas condiciones. Para ello será necesario desfasar las tensiones de unas lámparas con respecto a otras, de forma que cuando un grupo de ellas pase por cero haya otras que se encuentren en un máximo. La forma más simple de conseguir esto es alimentar las lámparas en grupos de tres, a una red trifásica, de forma que las lámparas, conectadas entre cada una de las fases y el neutro, se encontrarán siempre con un desfase de 120°.

En la actualidad el uso de balastos electrónicos ayuda con este problema, al suministrar energía a altas frecuencias (alrededor de 40 KHz.) ayudando mucho incluso en el suministro de luz y mejorando la eficacia luminosa (Fig. 3.16).

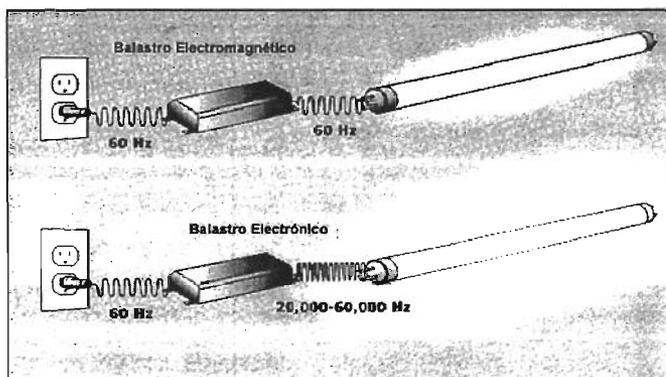


Fig. 3.16 Efecto de la frecuencia en iluminación.

Alta eficiencia en sistema T8 que son del 20% a 40% de ahorro en costos de energía. Las lámparas T8 de 32 watts (48") utilizan un 22% menos energía que las lámparas de 39 standard, incluso estas lámparas son 6% más eficientes que las ahorradoras de energía de 34 watts. Cuando son utilizadas con un balastro electrónico determinado y aceptado por el fabricante, la eficiencia se eleva de un 7% a un 10% adicional. Las lámparas T8 de 59 watts (96") utilizan un 33% menos watts totales del sistema, comparadas con las lámparas Standard 75 watts operadas con un balastro electromagnético de alta eficiencia, incluso son un 14% más eficiente que las ahorradoras de energía de 60 watts².

Las lámparas T8 de 32 watts (48") le brindan aproximadamente 20,000 horas de vida, lo que significa un 122% adicional que las lámparas de 39 watts standard. Las lámparas de 59 watts tienen una vida promedio de 15,000 horas. Esto significa un 25% más de vida que las lámparas de 75 estándar. Una larga vida de las lámparas significa menos reemplazos de las lámparas y bajos costos en mano de obra. Flexibilidad de diseño por su tamaño compacto. Con tan solo 1" de diámetro, las lámparas T8 permiten utilizar nuevos luminarios innovadores y compactos, manteniendo un nivel de iluminación adecuado.

² Catalogo de lámparas fluorescentes T8 de General Electric. www.geiluminacion.com.

El empleo de lámparas T5 ha permitido que se tengan grandes ventajas de ahorro de energía y ahorro de espacio, beneficiando el desarrollo en el campo eléctrico y arquitectónico. Aunque se tiene la desventaja del costo de instalación que es muy alta a comparación de los otros sistemas.

- La eficiencia luminosa del sistema FH (T5) es 5 % superior a la de las lámparas T8.
- La reducción del 40% del diámetro del tubo posibilita un 5 % más de rendimiento de la luminaria, ya que disminuye el efecto de sombra de la lámpara (figura 3.4.6).
- Una reducción en los costos de electricidad del 20 %.

La Fig. 3.17 compara los efectos de sombra de las lámparas T8 y T5 en un reflector para T8. La nueva lámpara FH con un diámetro de sólo 16 mm representa un obstáculo mucho menor para los rayos de luz que la lámpara de 26 mm, ya que de esta forma menor cantidad de luz queda atrapada dentro de la luminaria.

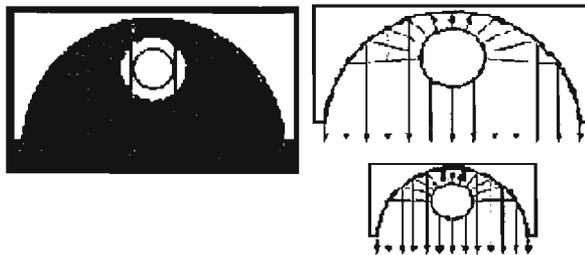


Fig. 3.17 Efecto de sombras en luminarias.

Las pequeñas luminarias, muy elegantes y vistosas, son las preferidas de arquitectos, especialistas en iluminación y usuarios. Varios factores se destacan en estas luminarias: el mismo efecto de sombra, a pesar del tamaño más reducido del reflector (un 40%) un incremento de la temperatura ambiente para el flujo luminoso máximo de 25 °C a 35 °C, lo que permite emplear reflectores aún más pequeños y balastos electrónicos más compactos, que complementan las dimensiones de la luminaria. El balasto electrónico para dos lámparas es tan compacto como el empleado para una sola lámpara³.

Como la temperatura ambiente para el máximo del flujo luminoso ha variado de 25°C a 35°C, la lámpara T5 brinda más luz que la T8 a la misma temperatura en la luminaria, que normalmente es mayor a 40°C (Fig. 3.18).

³ Catalogo de lámparas fluorescentes T5 de General Electric, www.geiluminacion.com.

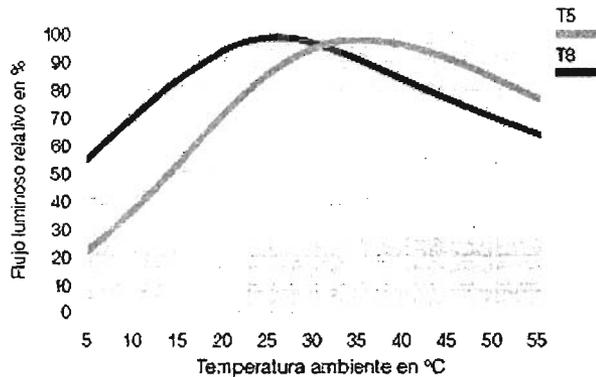


Fig. 3.18 Flujo luminoso dependiendo de la temperatura.

3.4.5 Lámparas fluorescentes compactas

Este tipo de lámparas denominadas (el nombre es de acuerdo al fabricante) Dulux, PL, Ecotone, etc., están basadas en el principio de descarga en vapor de mercurio a baja presión, similar al de las lámparas fluorescentes convencionales (figura 3.19). Su principal atributo es su reducido tamaño, comparable al de las lámparas de incandescencia. Tienen de cuatro a cinco más eficiencia que las lámparas incandescentes con idénticas temperaturas de color, 10 veces más tiempo de duración y mejoras como son la regulabilidad, avanzada capacidad térmica y la flexibilidad de aplicaciones térmicas.

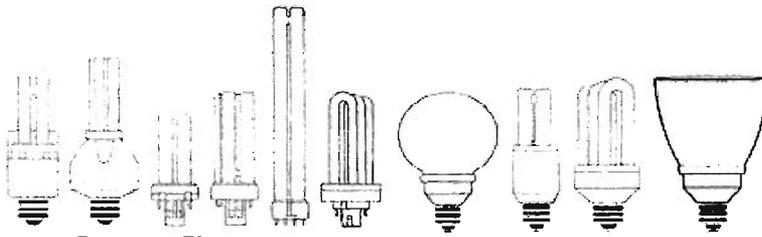


Fig. 3.19 Formas de lámparas fluorescentes compactas.

La eficacia luminosa es del orden de 82 Lm/W, su vida media de unas 6,000 horas hasta 20,000 dependiendo de tipo de lámpara y marca, la temperatura de color de 2,700 °K hasta 5,000. La depreciación del flujo luminoso para su vida media es del 20%.

Se fabrican potencias de 5, 7, 9, 14, 15, 20, 23, 25 etc., Watts, y tienen la particularidad de que el cebador va incorporado en la base de la lámpara. El balasto es común para las cuatro lámparas y su conexión es, naturalmente, en serie. Se producen varios modelos y tamaños dependiendo de la marca y serie de lámpara.

3.4.6 Lámparas de vapor de mercurio

El funcionamiento de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, conocidas simplemente como de vapor de mercurio, se basa en el mismo principio que el de las lámparas fluorescentes. Así como una lámpara fluorescente de descarga en mercurio a baja presión genera casi exclusivamente radiaciones ultravioleta, con altas presiones de vapor el espectro cambia notablemente, emitiendo varias bandas que corresponden a las sensaciones de color violeta (405 nm), azul (435 nm), verde (546 nm) y amarillo (570 nm), emitiendo también una pequeña cantidad de radiaciones ultravioleta.

Como las cualidades cromáticas de estas radiaciones no resultan muy buenas, debido en gran parte a la ausencia de radiaciones rojas, las radiaciones ultravioleta se transforman, mediante sustancias fluorescentes, en radiaciones comprendidas dentro del espectro rojo, dando como resultado una lámpara con un mejor rendimiento cromático.

Las lámparas de vapor de mercurio están constituidas por una pequeña ampolla de cuarzo, provista de dos electrodos principales y uno o dos auxiliares, en cuyo interior se encuentra una cierta cantidad de argón y unas gotas de mercurio (Fig. 3.20). Los electrodos auxiliares llevan una resistencia en serie que limita la intensidad que por ellos puede circular.

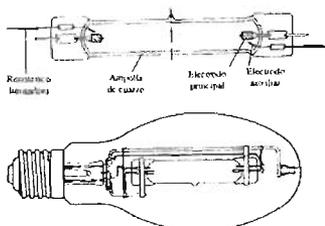


Fig. 3.20 Formas de lámparas de vapor de mercurio.

La pequeña ampolla de cuarzo está contenida dentro de otra de mucho mayor tamaño, de vidrio, cuya misión es la de proteger a la pequeña ampolla, establecer un cierto equilibrio térmico, así como también la de ser depositaria en su interior de sustancias fluorescentes encargadas de darle una cierta tonalidad roja.

Como todas las lámparas de descarga, la lámpara de vapor de mercurio debe llevar un elemento limitador de corriente, balasto. Cuando la conectemos a la red de alimentación, se producirá inicialmente una descarga entre el electrodo principal y el auxiliar, que se encuentran muy próximos, lo que ioniza el argón, haciéndolo conductor y estableciendo un tenue arco entre los dos electrodos principales; el calor generado por esta descarga va progresivamente evaporando el mercurio del interior de la ampolla, y poco a poco se va convirtiendo en el conductor principal.

Si por algún motivo se apaga la lámpara, y seguidamente queremos volver a encenderla, ello no resulta posible debido a que el vapor de mercurio no se habrá enfriado y estará con una presión elevada. Transcurridos tres o cuatro minutos, la lámpara se habrá enfriado y reanudará el periodo de encendido; esto supone un serio inconveniente para este tipo de lámparas.

La curva de distribución espectral viene representada en la siguiente Fig. 3.21 pudiendo observar los cuatro colores predominantes, así como también la zona del rojo que genera la capa fluorescente.

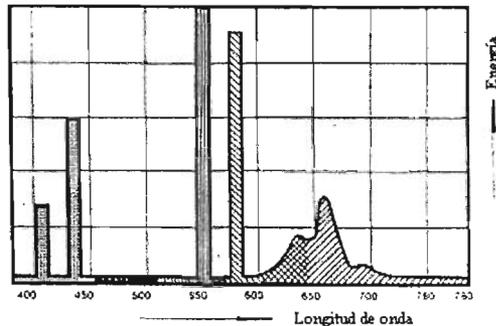


Fig. 3.21 Curva de distribución espectral para lámpara de vapor de mercurio.

La temperatura de color de estas lámparas, depende del tipo de recubrimiento fluorescente que lleve, pero suele estar comprendida entre 3,800 y 4,000 °K, y tiene un rendimiento luminoso que oscila entre 40 y 60 Lm/W.

La depreciación del flujo luminoso depende naturalmente de las horas de funcionamiento de la lámpara. La depreciación suele ser del 12 % a las 8,000 horas de funcionamiento y del 35 % a las 15,000 horas.

La vida media de la lámpara es extraordinariamente elevada, del orden de 24,000 horas, aunque para estas horas de funcionamiento la depreciación del flujo luminoso sea del orden del 50 %. Los fabricantes aconsejan cambiar la lámpara antes de las 15,000 horas de funcionamiento, cuando la depreciación del flujo no es superior al 25 %.

Precauciones en el uso de lámparas de vapor de mercurio. Estas lámparas pueden causar serias quemaduras en la piel e inflamación de ojos debido a la radiación ultravioleta, si la cubierta exterior se rompe o se perfora, el tubo de descarga continua su operación. No se utilice donde la gente permanezca por algunos minutos, a menos que estén protegidas o se tomen otras precauciones de seguridad. Algunos tipos de lámparas que se apagan automáticamente cuando la cubierta exterior se rompe están disponibles en el mercado.

3.4.7 Lámparas de luz mezcla

Las lámparas de luz mezcla son una variante de las de vapor de mercurio. El control de la intensidad que normalmente se consigue con una reactancia, en las lámparas de vapor de mercurio, en el caso de las lámparas de luz mezcla se hace mediante una resistencia en forma de filamento de tungsteno colocado en su interior (Fig. 3.22), contribuyendo además a la emisión luminosa.

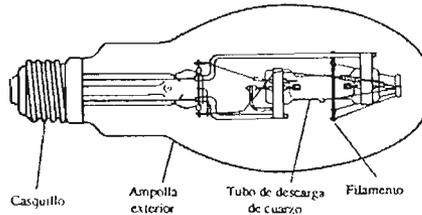


Fig. 3.22 Lámpara de luz mezcla.

Como consecuencia de la aportación luminosa del filamento de incandescencia, el espectro de la radiación es el resultado de la adición al espectro típico de la lámpara de vapor de mercurio, el espectro de una lámpara de incandescencia rica en radiaciones rojas e infrarrojas.

La eficacia de estas lámparas es del orden de 25 Lm/W., y tienen una depreciación del flujo luminoso muy pequeña, no llega al 20 %, para la vida media de la lámpara, que es del orden de 6,000 h., para un encendido cada tres horas.

Es importante resaltar en estas lámparas que, durante el periodo de arranque, el exceso de tensión no absorbido por el tubo de descarga sobrecarga considerablemente el filamento, motivo por el que la vida media se ve en gran medida afectada por el número de encendidos.

Debido a la posibilidad de sustitución directa de estas lámparas por las de incandescencia, resultan adecuadas en aquellos casos en los que se pretende mejorar la iluminación sin grandes complicaciones.

3.4.8 Lámparas de mercurio con halógenos o de aditivos metálicos

La constitución de las lámparas de halógenos metálicos es similar a la de las de vapor de mercurio, de las que se diferencia en que, además de mercurio, contienen halógenos de tierras raras, tales como disprosio, talio, indio, holmio o tulio, con lo que se obtienen mayores rendimientos luminosos y sobre todo una mejor reproducción cromática.

El tubo de descarga es de cuarzo con un electrodo de wolframio en cada extremo, recubierto de un material emisor de electrones. El bulbo exterior es de vidrio duro y sirve para el equilibrio térmico del tubo de descarga y para su aislamiento (Fig. 3.23).

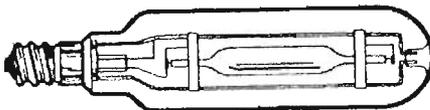


Fig. 3.23 Lámpara de aditivos metálicos.

Aunque las condiciones de funcionamiento son similares a las de las lámparas de vapor de mercurio, la adición de halogenuros hace necesaria una tensión de encendido muy superior a la de una red de alimentación, 127/220 V., por lo que necesita un arrancador que proporcione tensiones de pico del orden de 1.5 a 5 kV. Las lámparas de halogenuros metálicos, como todas las de descarga se deben conectar a la red a través de una reactancia que controle la intensidad, debiendo tener especial cuidado de que la combinación reactancia-arrancador sea la adecuada.

El período de arranque es de 3 a 5 minutos, hasta que la lámpara da el flujo luminoso previsto y el reencendido de 10 a 20 minutos, dependiendo del tipo de luminaria y de la potencia de la lámpara. La tensión entre sus extremos, necesaria para mantener la descarga, es del orden de 100 a 200 V., depende de la potencia.

Dado que estas lámparas no emiten radiaciones ultravioleta, eliminan la necesidad de la capa fluorescente, por lo que se suelen construir en ampollas cilíndricas y transparentes. Los tipos de lámparas existentes en el mercado son muy diversos y dependen principalmente del tipo de halogenuro introducido. Tanto la temperatura de color proporcionada, como la eficacia luminosa obtenida dependen de este concepto.

Así, cuando se utilizan aditivos de sodio, talio e indio, se obtiene una eficacia luminosa del orden de 95 Lm/W. y una temperatura de color de unos 4,200 °C. Cuando se utilizan aditivos a base de estaño, el rendimiento luminoso es de unos 45 Lm/W. y la temperatura de color del orden de 5,000 °C.

Las lámparas de aditivos metálicos están disponibles en dos versiones: lámparas con electrodo auxiliar que basan su funcionamiento en una corriente de lámpara con alto factor de cresta, una tensión de circuito abierto elevada y un electrodo de arranque para iniciar el arco; y lámparas "PULSE STAR" (Phillips) que no contiene electrodos de arranque y dependen de un ignitor en el balastro para iniciar el arco además ofrecen 20 mil horas promedio de vida con bajos costos de mantenimiento. Operan en luminarios abiertos, con un tiempo de 5 a 7 minutos de reencendido en caliente en comparación de 10 a 12 minutos con las lámparas estándar.

Algunas lámparas de aditivos metálicos requieren el uso de un luminario cerrado apropiado. Las lámparas de aditivos metálicos se construyen de un bulbo exterior con un tubo de descarga hecho de cuarzo, el tubo de cuarzo opera. En la siguiente figura podemos ver la curva de distribución espectral de una lámpara típica de halogenuros metálicos. De todas las que hemos visto es la que tiene un espectro más continuo, y solamente tiene una cresta importante en la zona de los verdes (Fig. 3.24).

Tampoco se puede concretar nada sobre la vida media de estas lámparas cuyo valor puede decirse que se encuentra entre 2,000 y 8,000 horas, dependiendo muy directamente del tipo y del fabricante.

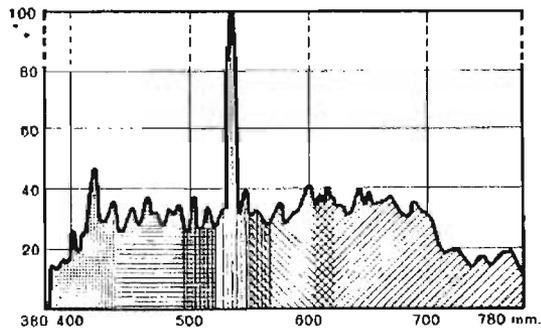


Fig. 3.24. Espectro para lámpara de aditivos metálicos.

3.4.9 Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Constructivamente las lámparas de vapor de sodio a baja presión están formadas por dos ampollas de vidrio tubulares. La ampolla interna o tubo de descarga tiene forma de U y en su interior se encuentra una pequeña cantidad de gas neón a baja presión y sodio puro en forma de gotas, cuando está frío; a sí mismo, en los extremos del tubo de descarga se encuentran dos electrodos de filamento de wolframio, sobre los que se ha depositado un material emisor de electrones (Fig. 3.25).

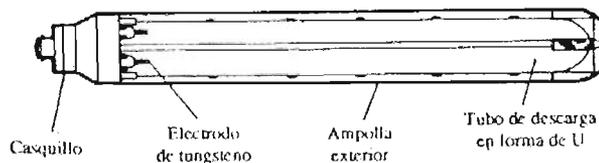


Fig. 3.25 Lámpara de vapor de sodio a baja presión.

La ampolla exterior envolvente, tiene como misión la protección térmica y mecánica del tubo de descarga, y entre las dos se ha hecho el vacío.

Al aplicar tensión entre los electrodos, se produce la descarga a través del gas neón, la cual determina la emisión de una luz roja característica de este gas. El calor generado por la descarga produce la vaporización progresiva del sodio y, como consecuencia, la descarga pasa a efectuarse en una atmósfera en la que la concentración de sodio es cada vez mayor, produciendo una luz cada vez más amarilla.

El proceso de encendido de una lámpara de vapor de sodio a baja presión dura unos 10 minutos y al final se obtiene una luz amarilla monocromática de una longitud de onda de 589 nm. (Fig. 3.26). El rendimiento de estas lámparas es óptimo cuando la temperatura interna alcanza los 270 °C, por lo que la pared interna del tubo exterior lleva una fina capa de óxido de indio, el cual permite el paso de las radiaciones visibles, pero detiene el 90 % de las radiaciones infrarrojas, que se invierten en calentar el tubo.

La curva de distribución espectral es monocromática, de color amarillo, situado en la zona donde la sensibilidad del ojo humano es de un 75% con respecto a la máxima. Por tal motivo estas lámparas resultan adecuadas en aquellos lugares en donde la reproducción de los colores es secundaria como, por ejemplo, en vías de tránsito urbano, en donde lo principal es la percepción del movimiento; también es aplicable este tipo de luz en grandes espacios industriales de carga, descarga y estacionamiento.

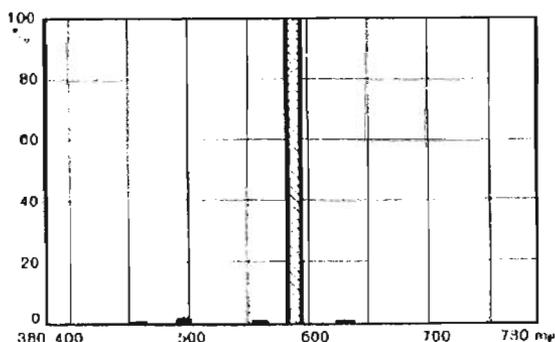


Fig. 3.26 Espectro para lámpara de vapor de sodio a baja presión.

La eficacia luminosa de las lámparas de vapor de sodio a baja presión es la más elevada de todas las existentes, llega a ser de 190 Lm/W. La vida media resulta ser de unas 15,000 horas, con una depreciación que no llega al 20%.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

La tensión mínima de arranque que necesitan estas lámparas es del orden de los 390 V. para potencias de lámpara pequeñas (35 W.) y del orden de los 600 V. para las de gran potencia (180 W.). Por tal motivo, se hace imprescindible en el circuito un elemento que además de controlar la intensidad, como en todas las lámparas de descarga, eleve la tensión de la red al valor necesario; esto se consigue mediante reactancias autotransformadoras de dispersión.

Para algunas potencias de lámparas, cuya tensión de arranque es del orden de 390 volts y la tensión de funcionamiento del arco de unos 100 volts, es posible utilizar reactancias de choque en lugar del autotransformador.

Cuando se utilicen reactancias de choque es imprescindible utilizar también un arrancador capaz de producir unos impulsos de tensión elevada que inicie la descarga en el interior de la lámpara. Este sistema de encendido permite utilizar reactancias más simples y ligeras, para las que el condensador de corrección del factor de potencia es de menor capacidad que en el caso de las reactancias autotransformadoras.

3.4.10 Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las lámparas de sodio a baja presión tienen una inmejorable eficacia luminosa, pero su reproducción cromática es muy deficiente. Para mejorar este tipo de lámparas hay que hacerles una serie de modificaciones, tales como aumentar la presión del vapor de sodio, a costa de trabajar a temperaturas más elevadas, y agregar además del gas inerte, xenón, una pequeña cantidad de mercurio que ayude a mejorar el espectro.

Para que estas dos modificaciones se puedan hacer realidad hay que vencer una seria dificultad, dado que el sodio a alta presión y temperatura, ataca seriamente al vidrio y al cuarzo, materiales utilizados hasta ahora para estos cometidos (Fig. 3.27).

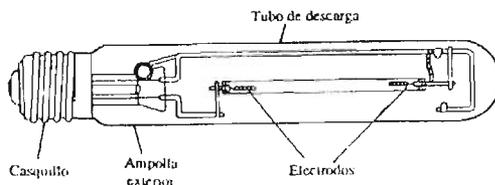


Fig. 3.27 Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Para cumplir este cometido se han creado tubos de descarga a base de óxido de aluminio sinterizado, capaces de soportar la acción del sodio a temperaturas superiores a los 1,000 °C y al mismo tiempo transmitir el 90% de la luz visible producida por la descarga eléctrica en su interior. Este tubo está cerrado mediante tapones de corindón sintético, en los que se soportan los electrodos.

El tubo de descarga se aloja en el interior de una ampolla de vidrio duro, resistente a la intemperie que le sirve de protección y aislamiento eléctrico y térmico. La despreciable cantidad de radiaciones ultravioleta que generan estas lámparas, hace innecesario el empleo de material fluorescente, por lo que esta ampolla es totalmente transparente.

Debido a la presión elevada del sodio en el tubo de descarga, para el encendido de estas lámparas es preciso aplicar tensiones de pico comprendidas entre 2,800 y 5,500 volts., por lo que además de la imprescindible reactancia hay que colocar arrancadores especiales capaces de generar los impulsos de encendido. El modelo de lámpara de 70 W. lleva incorporado dicho arrancador (Fig. 3.28).

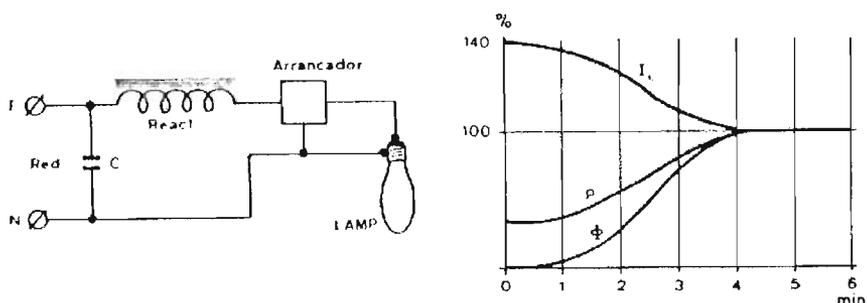


Fig. 3.28 Arrancador para lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Al conectar el circuito a la red de alimentación, el arrancador proporcionará los impulsos de tensión necesarios para iniciar la descarga en el gas xenón. La elevación de temperatura producida por la descarga, va evaporando el mercurio y el sodio, que pasan a ser conductores principales, con lo que la iluminación irá aumentando hasta que al cabo de unos 5 minutos se alcance el valor nominal.

La intensidad de arranque de estas lámparas es del orden del 40 al 50% superior al valor nominal que se alcanza una vez transcurrido el tiempo de encendido. La potencia activa consumida por la lámpara va aumentando hasta alcanzar su valor nominal máximo, que junto con la potencia aparente nos determinará el factor de potencia típico de estos circuitos y que como en los demás casos resultará ser del orden de 0.5.

Al igual que las otras lámparas de descarga, si por alguna circunstancia se desconectan, no pueden volver a encenderse hasta transcurrido el tiempo necesario para que la presión del sodio descienda a valores inferiores. Así, el tiempo de reencendido suele ser del orden de 2 a 3 minutos. La curva de distribución espectral de una lámpara de vapor de sodio a alta presión resulta sensiblemente mejorada con respecto a las de baja presión, pudiendo apreciar en ellas una mejor reproducción cromática (Fig. 3.29).

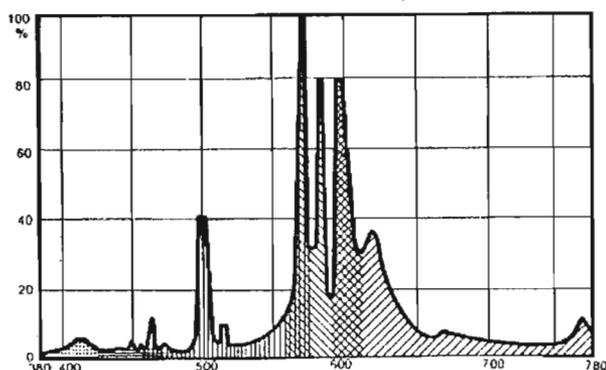


Fig. 3.29 Espectro para lámpara de vapor de sodio a alta presión.

La eficacia luminosa es francamente buena, del orden de 120 Lm/W. y la temperatura de color resulta ser de 2,200 °K.

La mejora de la reproducción cromática conseguida con estas lámparas, las hace muy apreciadas en alumbrados públicos, y en general en todos aquellos espacios en los que se requiera una iluminación económica sin grandes exigencias cromáticas.

3.5 BALASTROS

El balastro es un dispositivo formado por un conjunto de inductancia, capacitancia o resistencias que solas o en combinación proveen a las lámparas de un medio eléctrico adecuado para su funcionamiento.

Algunos de las funciones del balastro son las siguientes:

- Encendido que requiera cada tipo de lámpara. Según sus especificaciones.
- Regula la corriente del circuito manteniéndolo en un intervalo equivalente a los límites indicados en las especificaciones de la lámpara. Se encarga de transformar la tensión de línea al valor de tensión de cuando este es puesto a trabajar en condiciones de operación no recomendadas.
- Suministra una tensión específica de energía eléctrica para calentar los cátodos de la lámpara, haciéndola de forma temporal en las lámparas de encendido rápido y permanente en las de encendido instantáneo.

Además, un buen balastro debe garantizar lo siguiente:

- Buena regulación frente a las variaciones de tensión.
- Bajo calentamiento.
- Funcionamiento sin ruido.
- Limitación de componentes armónicos en las corrientes de línea y de lámpara.
- Pérdidas propias moderadas para lograr un buen rendimiento del sistema.
- Dimensiones apropiadas.
- Larga vida de la lámpara.

Cada lámpara tiene unas características particulares, por tanto, necesita un balastro específico. Es obvio que la cantidad de luz, la eficiencia de la lámpara y la vida del conjunto balastro-lámpara depende en gran medida de la cantidad y el tipo de balastro por lo cual es necesario hacer una minuciosa selección del mismo según el caso que se requiera.

3.5.1 División de los balastros para lámparas fluorescentes

Por su aplicación

- Encendido con dispositivo de encendido normal
- Encendido rápido
- Encendido instantáneo

Por su eficiencia

- Eficiencia normal
- Alta eficiencia
- Baja eficiencia

Por su construcción

- Balastros integrales
- Balastros remotos

Por su factor de potencia

- Balastro de alto factor de potencia
- Balastro con factor de potencia corregido
- Balastro de bajo factor de potencia

Por su construcción

- Electromagnéticos
- Electrónicos
- Híbridos

Tanto el balastro electromagnético como el balastro electrónico están diseñados para operar lámparas fluorescentes. Sin embargo, existen diferencias en la forma en que operan las lámparas, el grado de eficiencia, la capacidad de producir la luz especificada de las lámparas y la flexibilidad para adoptar lámparas de varios tipos y potencia a un mismo balastro.

3.5.2 Balastro Electromagnético

El balastro convencional está constituido por un arrollamiento de cobre sobre un núcleo magnético, y debe ser usado junto con un "arrancador" que es el encargado de proveer la corriente a los filamentos en el momento del arranque.

Tipos de balastros electromagnéticos:

Según la forma de calentamiento de los cátodos:

- De encendido por arrancador.
- De encendido sin arrancador ó arranque rápido.
- De arranque instantáneo.

Según la tensión de alimentación en línea:

- De choque o simple impedancia.
- De autotransformador de dispersión.

3.5.3 Balastro híbrido

Un nuevo tipo de balastro que surgió en la primera mitad de la década de los setentas es el llamado balastro híbrido. Este nuevo balastro combina tecnología de los balastros electrónicos y parte de los electromagnéticos. El principal problema de una lámpara de encendido rápido es el hecho de que los filamentos de la lámpara deben estar calientes al inicio de la emisión de electrones, una vez que se a completado el encendido, la corriente normal de operación de la lámpara es lo suficientemente alta como para mantener la temperatura de emisión en los filamentos.

Este hecho motivo la construcción de un balastro electrónico que tuviera un elemento que desconectara los filamentos después del encendido. El elemento adicional para realizar esto fue un transformador al cual se le llamo transformador de filamentos, el ahorro de energía obtenido al desactivar los filamentos de la lámpara son del orden de 5 a 6 watts esto equivale a un 5% de incremento en la eficiencia del sistema de iluminación comparándola con un sistema equivalente en el cual se utilicen balastros convencionales con una salida similar.

3.5.4 Balastro electrónico

Por casi medio siglo los balastros electromagnéticos han sido la única forma de operar lámparas fluorescentes. Sin embargo, la era electrónica dio grandes avances a la tecnología de los balastros. Así la introducción de los nuevos balastros electrónicos como una alternativa a los balastros convencionales fue renovando el diseño y especificación de los sistemas de iluminación fluorescentes.

Estos componentes de estado sólido y de alta frecuencia incorporan una tecnología que es nueva para muchos distribuidores de balastros, compradores y personas en general que han estado familiarizadas con el funcionamiento de los balastros electromagnéticos.

Tanto el balastro electromagnético como el electrónico están diseñados para operar lámparas fluorescentes. Sin embargo, existen diferencias en la forma en que operan a las lámparas, el grado de eficiencia, la capacidad de producir la luz especificada de las lámparas y la flexibilidad para adoptar lámparas de varios tipos de potencia a un mismo balastro.

La función de este balastro es similar a la de un balastro electromagnético:

- Aplicar una alta diferencia de potencial a los extremos de la lámpara para generar un arco eléctrico.
- Limitar la corriente dentro de la lámpara.

3.5.5 Ventajas comparativas del balastro electrónico respecto del convencional

El cambio que provoca el uso de balastros electrónicos es inicialmente una inversión grande pero las ventajas que presentan estos son múltiples por lo que la inversión a la larga se cubre y el ahorro de energía se sigue obteniendo. Algunas de las ventajas que tienen los balastros electrónicos son las siguientes:

- Ahorro de energía por aumento en el rendimiento de la lámpara. El aumento de la frecuencia de alimentación se traduce en un inmediato ahorro de energía, ya que el rendimiento de los tubos fluorescentes aumenta con el aumento de la frecuencia, en aproximadamente un 15%.

Por este motivo sí se usa un balastro electrónico, se alimenta al tubo con una potencia inferior a la especificada por el fabricante de la lámpara, obteniéndose el mismo flujo luminoso.

- Aumento de la vida útil de las lámparas. El aumento de la vida de la lámpara fluorescente alimentada con balastro electrónico puede llegar a ser de por lo menos 6 (seis) veces respecto de la vida de la misma lámpara alimentada con balastro convencional.

Esto se debe principalmente a las siguientes razones:

- Potencia estabilizada sobre el tubo aunque la tensión de alimentación de red varíe.
- Menor potencia agregada al tubo debido al mayor rendimiento lumínico.
- Encendido instantáneo. En el encendido convencional el arrancador es el peor enemigo del tubo.
- Menor depreciación lumínica de la lámpara. El hecho de alimentar el tubo con menor potencia para lograr el mismo nivel de iluminación, hace que las paredes del mismo trabajen a menor temperatura, con lo que se logra una mayor eficiencia en la emisión luminosa del recubrimiento fosforescente interior.
- Eliminación del parpadeo. Alimentado a 60 Hz con un balastro convencional, puede observarse en los extremos del tubo un parpadeo también llamado "flicker", el cual unido al hecho de que la lámpara se enciende y se apaga a razón de 100 (cien) veces por segundo (el arco eléctrico se extingue en cada semiciclo), provoca irritación y cansancio en la vista de las personas. Esto se debe a que el ojo humano reacciona a esa frecuencia. A frecuencias elevadas, tales como las de trabajo de los balastros electrónicos el ojo humano no reacciona eliminando problemas en el desempeño de las personas.
- Eliminación del efecto estroboscopio. Como se dijo en el punto anterior, el arco eléctrico se extingue en cada semiciclo, es decir, que para un balastro convencional esto ocurre 100 veces por segundo. Consecuentemente, el tubo se enciende y se apaga al ritmo. Esta fluctuación del nivel de iluminación produce el denominado "efecto estroboscopio" en aquellas máquinas que tienen partes mecánicas moviéndose en sincronismo con la frecuencia de red como serían motores o generadores. En ese caso se vería detenida una parte mecánica que en realidad se está moviendo. Con el uso de balastros electrónicos, este efecto desaparece; primero por la utilización de muy alta frecuencia y segundo por la improbabilidad de que exista sincronismo con la frecuencia de red.

- Eliminación del zumbido. Todo balastro convencional al ser de funcionamiento magnético, produce normalmente de zumbido de 100 ciclos por segundo, originado en las chapas que forman el núcleo. Este zumbido se halla dentro del espectro audible del oído humano (el que puede llegar a 20.000 ciclos por segundo). La frecuencia de funcionamiento de los balastros electrónicos está muy por encima del mencionado espectro, trabaja en niveles de ultrafrecuencia. En este punto cabe aclarar, que una de las razones por las que se usan frecuencias superiores a los 30.000 Hz es para estar por encima, además, del espectro audible de algunos animales domésticos.
- Encendido instantáneo aún con baja tensión de red. Estas son dos de las características sobresalientes que primero se observan al usar balastros electrónicos. Efectivamente, el encendido instantáneo ocurrirá aún cuando la tensión de red no supere los 90 V. El encendido instantáneo abre un nuevo campo de aplicaciones para la lámpara fluorescente, por ejemplo carteles de publicidad, luces automáticas de escalera, etc.
- Menor peso y volumen. Los balastros electrónicos tienen mucho menor peso y volumen que sus pares electromecánicos, con lo que se facilita en gran medida el manipuleo de los mismos, especialmente durante la etapa de instalación. Esta característica, junto a la de generar poca temperatura, es de gran importancia para la elección de la luminaria. El balastro electrónico, en especial el doble (para 2 tubos) ocupa muy poco espacio y es muy ligero, por lo que puede ser acomodado fácilmente dentro de los luminarios, otorgándole al diseñador mayor libertad en cuanto al diseño arquitectónico.
- Disminución del calor. La energía consumida por el funcionamiento del balastro es menor en comparación del electromagnético por lo que las pérdidas por efecto joule además de ahorrar energía se evita el calentamiento del área y se evitaría la colocación de un sistema de aire acondicionado. Por otra parte, la poca temperatura que estos balastros generan, no afecta el color ni el brillo de la pintura de los luminarios ni de los acrílicos que puedan llegar a tener.

Como se ve los balastros electrónicos presentan innumerables ventajas y ofrecen bastantes opciones que resultan prácticamente impensables de realizar con los balastros electromagnéticos como es el caso del dimeo de lámparas fluorescentes.

3.5.6 La opción de balastro electrónico genérico

Se especificaran los tipos de balastro que se pueden conseguir en el mercado de acuerdo a una clasificación que la compañía LITHONIA LIGHTING proporciona a sus clientes, tabla 3.11. Especifica GEB para un balastro con menos de 20 % THD. GEB10IS y GEB10PS son opciones de balastro con menos de 10 % THD. Por el momento, la opción de multitención (MVOLT) está disponible sólo en balastros de menos de 10% THD.

Especificaciones GEB/GEB10

- Listado UL. Clase P, con protección térmica, balastro no-PBC. Certificado NOM.
- Transitorio de línea mínimo como se muestra en IEE587, categoría ANSI-62.41
- Tipo de circuito de balastro: arranque instantáneo o rápido, en serie o paralelo.
- Operación de balastro: nominal 120 V (108 V - 132 V) 60 Hz, nominal 277 V (249 V - 305 V) 60 Hz, ó 50 Hz.
- El balastro cumple con el estándar de eficiencia federal de 1988 (ley 100-357) en donde es aplicable.
- Cumple con las leyes y regulaciones FCC parte 18, 15J para EMI/RFI.
- Temperaturas mínimas de arranque de lámpara: -17.8 °C para lámparas T8, 10 °C para lámparas estándar T12 y 15.6 °C para lámparas ahorradoras de energía T12.
- Factor de potencia igual o mayor que 0.95.
- Máximo factor de cresta de la lámpara 1.7.
- Garantía del fabricante para balastro, mínima de 5 años.
- El balastro cumple todos los requisitos de ANSI C82.11

Tabla 3.11 Clasificación de balastros de acuerdo a su especificación GEB.

	Descripción de lámparas	Tipo de lámpara	Potencia de lámpara	No de lámparas operadas	Max. Watts ANSI	Factor de balastro Min.	Tipo de circuito ³	Diagrama de conexión ⁴	Clas. de sonido
GEB10IS	U31 U316 32	24"T8U(1B\," 24"T8U(6") 24"T8U	Std	1 2 3 ⁵ 4 ⁵	32 59 88 113	0.85	IS	P	A
GEB y GEB10RS	U31 U316 32	24"T8U(1B\," 24"T8U(6") 24"T8U	Std	1 2 3 ⁵ 4 ⁵	38 62 95 114	0.85	IS o RS	S o P	A
	40 U40 U403	24"T12 24"T12U(6") 48"T8(3")	Std	1 2 3 ⁵	38 74 110	0.85	RS	S	A
			ES	1 2 3 ⁵	31 63 93	0.85	RS	S	A
	GEB y GEB10IS	CF40	24" TT5	Std	2 3 ⁵	70 101	0.85	IS	P
96		96"T8	Std	2	110	0.85	IS	P	A
96T		96"T8	Std ES	2	160	0.85	RS	S	A
GEB	96	96"T12	Std ES	2	140 116	0.85	IS	Slimline	B
	96HO	96"T12HO	Std ES	2	209 178	0.85	RS	S	B

3. IS = arranque instantáneo, RS = arranque rápido.
4. S = Serie, P = Paralelo
5. Balastro sencillo opera todas las lámparas en configuración de 3 o 4 lámparas.

Voltaje: 120, 277.

GEB: ≤ 20 THD.

GEB10IS: ≤ 10 THD, arranque instantáneo.

GEB10RS: ≤ 10 THD, arranque rápido.

GEB10PS: ≤ 10 THD arranque programado.

3.6 NIVELES DE ILUMINACIÓN

Como consecuencia de que existen períodos más o menos largos, durante los cuales hay ausencia total o parcial de la luz natural, se hace necesario sustituir o compensar esta mediante luz artificial. El problema se nos plantea ante la necesidad de disponer de una iluminación artificial, que si bien dista notablemente de la natural, al menos cumpla unos mínimos establecidos en cuanto a calidad y cantidad.

El ojo humano está habituado a altos niveles de iluminación, proporcionados por la iluminación natural, por lo que lo ideal sería disponer de niveles similares a aquellos. Sin embargo, y a pesar de contar con fuentes de luz artificial de elevado rendimiento, en muy pocas ocasiones resulta conveniente, desde el punto de vista económico, la utilización de niveles luminosos de magnitud similar a los proporcionados por la luz del día.

La luz del día nos proporciona niveles de iluminación del orden de 10,000 a 100,000 lux, mientras que artificialmente raras veces sobrepasaremos niveles superiores a los 2,000 lux. Pese a esto, el ojo humano con su enorme capacidad de adaptación, nos permite obtener sensaciones de bienestar y satisfacción con niveles tan bajos.

3.6.1 Nivel de iluminación recomendados

El alumbrado tiene por objeto proporcionar la iluminación adecuada en aquellos lugares cubiertos donde se desarrollan actividades laborales, docentes, o simplemente de recreo. En cada caso específico se recomienda un determinado nivel de iluminación. En México la única norma que contempla niveles de iluminación es la NOM-025-STPS-1999 de la secretaria del trabajo y prevención social, con niveles de iluminación para áreas de trabajo.

Los niveles de iluminación fueron establecidos por un estudio realizado por el Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación, Asociación Civil, la cual también tiene su lista de niveles de iluminación. Este estudio se baso en bibliografía y principalmente por estudios de la I.E.S (Lighting Handbook. 1995, Illuminating Engineering, Society, USA.), y libros como: Guide on Interior Lighting, 2° edition, International Commission On Illumination. CIE 29.2 86, 1998, Viena, Austria; Iluminación Interna, Vittorio Re. Editorial MARCOMBO, S.A., 1979, Barcelona España; Luminotécnica, Enciclopedia CEAC de Electricidad. Dr. Ramírez V., José, Editorial CEAC, S.A., 1972, México; del Alumbrado, Westinghouse. Editorial Dossat, S.A., 1985, Madrid, España. No tiene concordancia con ninguna norma internacional por el hecho de que no existir referencia alguna al momento de su elaboración.

Después de un minucioso reconocimiento del lugar a iluminar y conocida la actividad a desarrollar en el local motivo de estudio, lo primero que debemos hacer es concretar el nivel de iluminación que se necesita.

La verificación de los niveles de iluminación se lleva a cabo con los cálculos de la carga conectada a los circuitos de iluminación y las mediciones efectuadas con un luxómetro. Teniendo los cálculos respectivos se compararan con la tabla de los valores máximos permisibles de densidad de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales (NOM-007-ENER-1995, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales) el cual no deberá pasar los límites establecidos y en caso contrario se propone un nuevo sistema de iluminación basado en las nuevas tecnologías de sistemas de iluminación que se tengan en el mercado.

En la Tabla 3.12 se muestran los valores máximos permisibles de densidad de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

Tabla 3.12 Valores máximos permisibles de DPEA.

TIPO DE EDIFICIO	DENSIDAD DE POTENCIA ELECTRICA (W/m ²)	
	ALUMBRADO INTERIOR	ALUMBRADO EXTERIOR
Oficinas	16,0	1,8
Escuelas	16,0	1,8
Hospitales	14,5	1,8
Hoteles	18,0	1,8
Restaurantes	15,0	1,8
Comercios	19,0	1,8
Bodegas o áreas de almacenamiento.*	8,0	
Estacionamientos interiores.*	2,0	

* Sólo áreas que formen parte de los edificios cubiertos por esta Norma.

Para el desarrollo de una nueva instalación se necesitara de calcular el flujo luminoso necesario en cada área, de aquí depende la selección del equipo de iluminación. Se pueden tener buenos resultados en el cálculo de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado con una buena selección de equipo, el tipo y diseño del equipo dependerá de los costos y el diseño arquitectónico planeado. El ingeniero a cargo podrá siempre mejorar este diseño proponiendo nuevos sistemas que disminuyan el consumo y mejore la eficiencia luminosa, si este conoce los nuevos dispositivos que el mercado ofrece.

3.6.2 Alumbrado de exteriores y público vial

El alumbrado de exteriores trata de proporcionar el nivel de iluminación adecuado en todos aquellos lugares al aire libre que por un motivo u otro lo necesitan. Estos motivos pueden ser muy variados, como por ejemplo: turísticos, deportivos, estéticos, de seguridad ciudadana, de seguridad vial, etc.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación, Asociación Civil, también contempla estas zonas incluso los niveles establecidos son los mismos a los de I.E.S (Illuminating Engineering Society, USA.). La densidad de potencia eléctrica de alumbrado (DPEA), la contempla la norma NOM-013-ENER-1996 que es exclusivamente para alumbrado exterior y alumbrado publico.

El alumbrado público vial se localiza en aquellos lugares abiertos al tránsito, siendo su finalidad la de favorecer la circulación nocturna y evitar los peligros que origina la oscuridad, también proporciona aspecto atractivo a las vías urbanas principalmente para las zonas comerciales.

Tabla 3.13 Valores máximos de DPEA para vialidades (W/m²).

Nivel de Iluminancia lux (lx)	Ancho de calle m			
	7,5	9,0	10,5	12,0
3	0,26	0,23	0,19	0,17
4	0,32	0,28	0,26	0,23
5	0,35	0,33	0,30	0,28
6	0,41	0,38	0,35	0,31
7	0,49	0,45	0,42	0,37
8	0,56	0,52	0,48	0,44
9	0,64	0,59	0,54	0,50
10	0,71	0,66	0,61	0,56
11	0,79	0,74	0,67	0,62
12	0,86	0,81	0,74	0,69
13	0,94	0,87	0,80	0,75
14	1,01	0,95	0,86	0,81
15	1,06	1,00	0,93	0,87
16	1,10	1,07	0,99	0,93
17	1,17	1,12	1,03	0,97

Tabla 3.14 Valores máximos de DPEA para estacionamientos

Área a iluminar m ²	Densidad de potencia W/m ²
<300	1,80
300- 500	0,90
500-1 000	0,70
1 000-1 500	0,58
1 500-2 000	0,54
>2 000	0,52

Tabla 3.15 Valores máximos de DPEA para sistemas de iluminación en vialidades con superpostes (arriba de 18 m.)

Área a iluminar , m ²	Densidad de potencia W/m ²
< 2500	0,52
2500-5000	0,49
5000-12 500	0,46
>12 500	0,44

3.6.3 Alumbrado industrial interior y exterior

Se considerará como alumbrado industrial de exteriores a aquél que por su utilización esté relacionado con una actividad de trabajo y a su vez se encuentre en lugares abiertos. Así, por ejemplo, podemos citar como alumbrados industriales exteriores, muelles de carga y descarga de mercancías, grandes zonas de aparcamiento de vehículos, estaciones de servicio de carreteras, zonas de servicios de naves industriales, etc.

Una particularidad que caracteriza a esta clase de alumbrado exterior es que los niveles de iluminación que deben adoptarse en cada caso están condicionados a la actividad en dicho lugar. Así, el alumbrado en un muelle de carga de mercancías, está supeditado exclusivamente a las necesidades de dicho trabajo, mientras que en una estación de servicio en carretera, además de las necesidades propias del trabajo que en ellas se desarrolla.

Igualmente deberemos tratar el alumbrado del contorno exterior de una nave industrial. En él tendremos una zona de servicios cuyo nivel de iluminación será el que corresponda con el trabajo que en ella se desarrolle, pero también tendremos una zona de servicios que posiblemente sea zona de fachada y que, por lo tanto, deberá dársele un nivel de iluminación superior, por razones estéticas.

Como la iluminación industrial de exteriores se extiende sobre un enorme campo de aplicaciones muy diversos, en cada caso es conveniente hacer un exhaustivo estudio, y de acuerdo con el cliente receptor del proyecto, colocar el nivel de iluminación más conveniente en cada caso, teniendo siempre presente que casi nunca podremos decir que la iluminación conseguida es excesiva.

Los niveles mínimos de iluminación que deben presentarse en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 3.16 Niveles mínimos de iluminación (NOM-025-STPS-1999).

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍN. DE ILUMINACIÓN (LUX)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Áreas de 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 e 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 y acabado con pulidos finos.	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Áreas de proceso de gran exactitud.	2,000

La norma oficial mexicana NOM-025-STPS-1999, contempla una serie de obligaciones que dentro de una zona laboral se deben tener, son una serie de pasos a seguir por el personal responsable del área de trabajo a si como para el personal que labora en dicha área, se tiene de referencia la tabla de niveles de iluminación para las áreas de trabajo de esta norma, las obligaciones son las siguientes:

Obligaciones del patrón

- Mostrar a la autoridad del trabajo, cuando así lo solicite, los documentos que la presente Norma le obligue a elaborar.
- Efectuar y registrar el reconocimiento, evaluación y control de los niveles de iluminación en todo el centro de trabajo, según lo establecido en los capítulos 8, 9 y 10.
- Informar a todos los trabajadores por escrito, sobre los riesgos que puede provocar el deslumbramiento o un deficiente nivel de iluminación.
- Elaborar el programa de mantenimiento de las luminarias, incluyendo los sistemas de iluminación de emergencia.
- Instalar sistemas de iluminación eléctrica de emergencia, en aquellas áreas del centro de trabajo donde la interrupción de la fuente de luz artificial represente un riesgo.

Obligaciones de los trabajadores:

- Informar al patrón de las condiciones no seguras, derivadas de la iluminación en su área de trabajo.
- Utilizar los sistemas de iluminación, de acuerdo a las instrucciones del patrón.
- Colaborar en las evaluaciones y observar las medidas de control.

CAPÍTULO 4

LA PRESENCIA DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

INTRODUCCIÓN

En un sistema eléctrico de potencia ideal, la diferencia de potencial que abastece a los equipos de los clientes, y la corriente de carga resultante son perfectas ondas senoidales. En la práctica, sin embargo, las condiciones nunca son ideales, tan así que estas formas de onda se encuentran frecuentemente muy deformadas. Esta diferencia con la perfecta senoide se expresa comúnmente desde el punto de vista de la distorsión armónica de las formas de onda del voltaje y de la corriente.

La distorsión armónica en los sistemas de potencia no es un fenómeno nuevo, esfuerzos para limitarlo a proporciones aceptables ha sido el interés de ingenieros de potencia desde los primeros días de los sistemas de distribución. Entonces, la distorsión era ocasionada típicamente por la saturación magnética de transformadores o por ciertas cargas industriales, tales como hornos o soldadores de arco. El mayor interés eran los efectos de las armónicas sobre motores sincrónicos y de inducción, interferencia telefónica, y fallas en capacitores de potencia. En el pasado, los problemas de armónicas podían ser tolerados porque los equipos tenían un diseño conservador y las conexiones estrella-terrazada-delta de los transformadores se usaron juiciosamente.

Las nuevas aplicaciones en los sistemas eléctricos de potencia han llevado a un uso masivo de dispositivos electrónicos de potencia, los cuales permiten mejorar el suministro eléctrico a través de fuentes conmutadas, variadores de frecuencia, reguladores de voltaje, sistemas ininterrumpibles de potencia (UPS), etc. Todos estos nuevos dispositivos han permitido un mejoramiento en la alimentación individual de dispositivos electrónicos que son muy sensibles a fallar cuando se presenta un disturbio eléctrico, pero la implementación de estos dispositivos a tenido efectos sobre la red principal de alimentación provocando una creciente generación de armónicos de corriente y voltaje, afectando a los dispositivos que comparten el sistema eléctrico tales como motores, bancos de capacitores, transformadores, etc.

Es necesario conocer como es que se generan las armónicas, su clasificación dependiendo de la frecuencia, como se evalúa este problema a raíz de mediciones y unos cálculos elementales.

En este capítulo se presentan conceptos elementales para entender de mejor forma el fenómeno de las armónicas, y sus problemas principales sobre el sistema eléctrico de potencia.

4.1 LA IMPORTANCIA DE ENTENDER A LOS ARMÓNICOS, EN LOS SISTEMAS ACTUALES

La distorsión de la sinusoide fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por:

$$f_{armónica} = n \times 60\text{Hz} \quad (4.1)$$

Donde n es un entero.

La Fig. 4.1 ilustra la resultante junto a la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2º, 3º armónico.

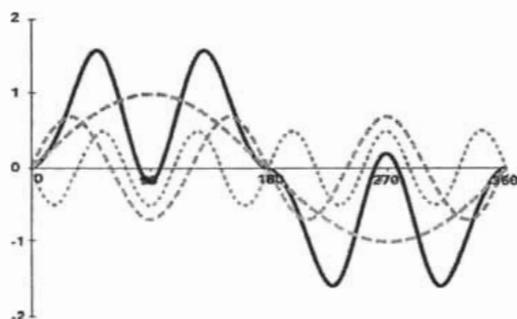


Fig. 4.1 La Onda Senoidal a la Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz).

La Fig. 4.2 muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3º a 9º orden.

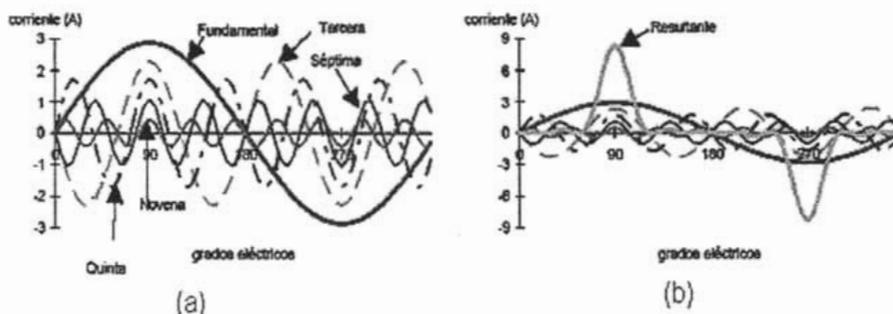


Fig. 4.2 (a) Componentes armónicas; (b) Componentes armónicos y resultante.

Como se mencionó, los problemas por distorsión armónica no son nuevos ni para las compañías de distribución eléctrica ni para los sistemas industriales. De hecho, la distorsión fue observada por los operadores de las compañías de distribución desde hace aproximadamente 100 años. Típicamente, la distorsión era ocasionada por cargas no lineales conectadas a la red de distribución.

Actualmente se han incrementado varias cargas no lineales, con el empleo de la electrónica de potencia y sistemas de control electrónico, se han tenido problemas relacionados con el efecto de las armónicas en las cargas conectadas y en el sistema eléctrico de potencia que alimenta estas cargas. Ejemplo, la introducción de convertidores de potencia, confiables y eficientes ha ocasionado un aumento elevado en el número de dispositivos generadores de armónicas lo que ha resultado en su dispersión sobre todo el sistema de potencia.

Además, el problema de las armónicas es agravado frecuentemente por la tendencia actual de instalar condensadores para mejorar el factor de potencia o regular el voltaje. Debido a que los capacitores se instalan en paralelo con la inductancia del sistema de potencia puede producirse una condición resonante a la frecuencia dada por la fórmula 4.2:

$$f_{\text{resonancia}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (4.2)$$

Si una corriente armónica es generada (desde un convertidor estático de potencia, por ejemplo) con una frecuencia cercana a la frecuencia resonante, puede entonces circular una alta corriente oscilante, la que podría quemar el fusible de los condensadores y producir voltajes armónicos altos.

Además del aumento en los generadores de armónicas y la resonancia de la red, las cargas y los sistemas eléctricos no se han quedado atrás, y en algunos casos son aun más sensibles a las armónicas. Hay un número de nuevas áreas de interés continuo:

1. Las computadoras controlan herramientas, máquinas, y los diversos tipos de controladores digitales los cuales son especialmente susceptibles a las armónicas, así como también a otros tipos de interferencia.
2. Las armónicas pueden ocasionar daños calentando el aislante en cables subterráneos.
3. La medición de reactivos puede ser adversamente afectada por las armónicas.
4. Las fallas en bancos de capacitores son frecuentemente ocasionadas por las armónicas.
5. Diseños menos conservadores para máquinas de rotación y transformadores, agravan los problemas de calentamiento ocasionados por las armónicas.

6. Las armónicas puede ser especialmente problemáticos para los sistemas de comunicación.

Los actuales problemas de armónicas pueden tener más consecuencias serias y generalizadas que en el pasado. Los diseñadores y los proyectistas de sistemas deberían ser capaces de reconocer y evitar o mitigar tales problemas.

4.2 COMPONENTES ARMÓNICAS Y CUANTIFICACIÓN DE LA DISTORSIÓN

Jean Baptiste Fourier demostró que una onda senoidal distorsionada (onda periódica que cumple con ciertas condiciones matemáticas) puede representarse por la suma de una onda fundamental senoidal de la misma frecuencia de la original más otras ondas senoidales armónicas, llamadas así por que sus frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. En un sistema de 60 Hz la onda armónica "h" es una onda senoidal cuya frecuencia es "n 60 Hz", donde "n" es un entero. De acuerdo a las series de Fourier una onda puede representarse por (formula 4.3):

$$F(\theta) = A_0 + \sum_{h=1}^{\infty} (A_h \cosh \theta + B_h \sinh \theta) \quad (4.3)$$

Donde:

$$A_0 = \frac{1}{\pi} \int_a^{a+2\pi} F(\theta) d\theta \quad (4.4)$$

$$A_h = \frac{2}{\pi} \int_a^{a+2\pi} F(\theta) \cosh h\theta d\theta \quad (4.5)$$

$$B_h = \frac{2}{\pi} \int_a^{a+2\pi} F(\theta) \sinh h\theta d\theta \quad (4.6)$$

De esta manera se puede representar cualquier onda por la suma de ondas senoidales armónicas.

La manera más común de medir la distorsión de una onda es obteniendo el porcentaje del valor RMS (raíz media cuadrática) de todas las armónicas con respecto al valor RMS de la fundamental. A esta cantidad se le conoce como distorsión armónica total (Total Harmonic Distortion THD). A continuación aparecen las definiciones de THD de voltaje (fórmula 4.7) y corriente (fórmula 4.8):

$$THDV = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (4.7)$$

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (4.8)$$

Donde: el subíndice 1 corresponde al valor de la onda fundamental.

THDV (4.9) es la distorsión de voltaje armónico total en % del voltaje de frecuencia fundamental nominal.

THDI (4.8) es la distorsión de la demanda total de corriente. Es la distorsión de corriente armónica en % de la demanda máxima de la corriente de carga.

Para cuantificar la influencia de cierta armónica de orden "h" en la distorsión de una onda de voltaje V (o corriente I) se usa la siguiente expresión:

$$DV_h = \frac{V_h}{V_1} \times 100(\%) \quad (4.9)$$

$$DI_h = \frac{I_h}{I_1} \times 100(\%) \quad (4.10)$$

Existen normas que establecen límites de contenido de armónicas, tales como: IEEE std 519-1992 (EUA); IEC 36.05 (Europa); DIN 57160 (Alemania); G 5/3 (Inglaterra); AS 2279 (Australia).

Las compañías suministradoras que vigilan los niveles de contenido de armónicas en sus redes y que estas exceden un límite prescrito, para tratar de eliminar el problema instalan filtros o piden a los usuarios causantes de esta distorsión que los instalen.

4.3 LA GENERACIÓN DE ARMÓNICAS EN LA ONDA SENOIDAL

De acuerdo con la Ley de Faraday, el fenómeno de inducción de una fuerza electromotriz (voltaje) en un conductor se presenta cuando un flujo que lo enlaza cambia en el tiempo. Esto significa que en todos los procesos de conversión electromagnética está involucrada la diferenciación o derivación de cantidades variables en el tiempo. La única forma de onda que al integrarse o derivarse conserva su forma es la senoide. Por esta razón es importante alimentar ondas senoidales a todos los elementos de la red eléctrica. De no ser así las ondas irían cambiando de forma en cada proceso de conversión electromagnética.

Para que las ondas de voltaje trifásico generadas en las centrales eléctricas sean senoidales se requiere que los enlazamientos de flujo tengan una distribución senoidal, esto puede lograrse de la siguiente manera:

1. Con un diseño del devanado de campo en el que sus amperes-vuelta tengan una distribución senoidal (aproximada).
2. Diseñando las caras polares de las máquinas de polos salientes de formas que le flujo sea más intenso en el centro del polo y disminuye senoidalmente hacia los extremos.

Debido a la dificultad para lograr un devanado que tenga una distribución espacial perfectamente senoidal y la existencia de saturación electromagnética, es imposible lograr una onda senoidal perfecta. Sin embargo, se puede afirmar que con los generadores actuales la onda de voltaje que entregan las centrales generadoras tiene una distorsión despreciable (menor al 1 %).

Por otra parte existen elementos de la red eléctrica cuya característica de respuesta a la excitación del voltaje es no lineal por lo que provocan distorsión de la onda original. Esto ocasiona que las caídas de voltaje de los elementos del sistema tengan una forma no senoidal. En ciertas condiciones resulta que la onda de voltaje que abastece a otros consumidores de la red eléctrica puede tener un perfil considerablemente distorsionado.

Los elementos cuya onda de corriente es no senoidal son principalmente: Hornos de arco y otros dispositivos de descargas por arco, tal como lámparas fluorescentes; Aparatos con núcleos magnéticos, tales como transformadores y máquinas rotatorias, que requieren corriente de excitación no senoidales; Sistemas de rectificación, ya sea para el control de velocidad de motores asíncronos, o para modular calor o intensidad de luz, o para fuentes de poder de computadoras, o para cualquier otra aplicación.

Efectivamente los controles de tiempo de encendido de estado sólido (electrónica de potencia), que regulan el voltaje aplicado a distintos elementos consumidores, son causante de la mayor parte de la distorsión. Por ejemplo, en un sistema donde el triac regula el voltaje de la carga dejando pasar la corriente solamente cierta parte del ciclo de la onda de voltaje (Fig. 4.3), de tal forma que la onda de corriente puede estar muy alejada de una senoide.

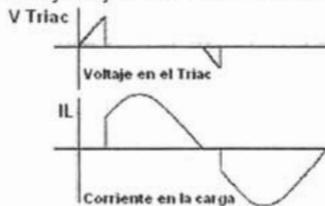


Fig. 4.3 Voltaje y corriente en un Triac.

Resulta paradójico que precisamente los equipos que producen la distorsión son los más perjudicados por su presencia. Esto se debe a que el control electrónico de regulación supone en su diseño que la onda de alimentación es una senoide perfecta. Aunque en la actualidad las fuentes conmutadas de los equipos tienen en su diseño filtros para poder corregir este problema de onda distorsionada.

4.3.1 Armónicos pares

Para los sistemas de potencia de 60 Hz con cargas no lineales, se ha encontrado que los armónicos pares (el 2^{do}, 4^{to}, 6^{to}, etc.) están muy poco probables de ocurrir a niveles perjudiciales a los sistemas eléctricos. Esto es porque la mayor parte de las cargas no lineales, una onda cuadrada por ejemplo, generan solo armónicos impares, donde se puede ver de forma más clara en el análisis de Fourier que a continuación se realiza.

De la onda siguiente se tiene que:

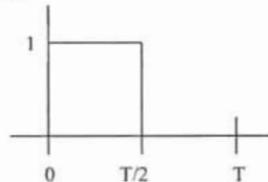


Fig. 4.4 Onda cuadrada característica de los sistemas no lineales.

De la fórmula 4.4 tenemos como resultado:
$$A_0 = \frac{I}{T} \int_0^{T/2} dt = \frac{1}{2} \quad (4.11)$$

De la fórmula 4.6 tenemos como resultado:
$$B_h = \frac{2}{\pi} \int_0^{T/2} (t) \operatorname{sen} h t dt = 0 \quad (4.12)$$

Y finalmente de la fórmula 4.5:
$$A_h = \frac{2}{\pi} \int_0^{T/2} (t) \operatorname{cosh} t dt = \frac{2}{h\pi} \operatorname{sen} \frac{h\pi}{2} \quad (4.13)$$

Resolviendo para 4.13 tenemos los siguientes resultados:

$$A_h = \begin{cases} 0, & h \text{ par } (h \neq 0) \\ 2/h\pi, & h = 1, 5, \dots \\ -2/h\pi, & h = 3, 7, \dots \end{cases}$$

De esta manera se tiene de 4.3:

$$F(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left[\cos t - \frac{1}{3} \cos 3t + \frac{1}{5} \cos 5t - \dots \right] \quad (4.14)$$

De este análisis se puede observar como las componentes de A_n para los números pares son cero y para las impares un ciclo positivo y un negativo,

4.3.2 Armónicos impares

La Tabla 4.1 muestra los múltiplos impares de la corriente fundamental de 60 Hz y sus secuencias asociadas (positiva, negativa y cero). La secuencia de fase de estos armónicos es muy importante porque determina el efecto del armónico en la operación en la operación del equipo eléctrico. La primera armónica es la corriente fundamental de 60 Hz (1 x 60 Hz).

Armónicos de secuencia positiva: (1^{ero}, 7^{mo}, 13^{ero}, 19^{no}, etc.): consisten de tres fasores, cada uno igual en magnitud, separado uno del otro por un desplazamiento de fase de 120° y teniendo la misma secuencia de fase de fasores que representan la corriente normal de 60 Hz.

Armónicos de secuencia negativa: (5^{to}, 11^{ero}, 17^{mo}, etc.): también consisten de tres fasores cada uno de igual magnitud, separados uno del otro por un desplazamiento de fase de 120°; sin embargo, tienen una secuencia de fase opuesta a los fasores que representan la corriente normal de 60 Hz.

Armónicos de secuencia cero: Consisten de 3 fasores iguales en magnitud y teniendo cero desplazamiento de fase uno del otro. Por consiguiente, estos fasores son concurrentes en dirección, produciendo una amplitud que es el triple de cualquier fador individual, cuando se combinan en el neutral de un sistema eléctrico. Estos armónicos (3^{ero}, 9^{no}, 15^{to}, etc.) son llamados armónicos triples y son típicamente generados por cargas no lineales de fase a neutral, tales como computadoras personales, balastos electrónicos, etc.

Tabla 4.1 Múltiplos impares de la corriente fundamental.

Armónico	Secuencia	Armónico	Secuencia
1	Positiva	17	Negativa
3	Cero	19	Positiva
5	Negativa	21	Cero
7	Positiva	23	Negativa
9	Cero	25	Positiva
11	Negativa	27	Cero
13	Positiva	29	Negativa
15	Cero	Etc.	

4.4 ARMÓNICAS EN LAS CARGAS MONOFÁSICAS

4.4.1 Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS)

La mayoría de los modernos equipos electrónicos utilizan fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS). Se diferencian de los antiguos en que, el transformador reductor y el rectificador tradicionales, han sido reemplazados por una unidad de rectificación de control directo de la fuente de alimentación, para cargar un condensador de almacenamiento desde el cual se deriva la corriente continua hacia la carga mediante un método adecuado a la tensión y corriente de salida requeridas. La ventaja, para el fabricante del equipo, es que el tamaño, coste y peso se han reducido de una manera notable y que la unidad de potencia puede adaptarse a casi cualquier factor de forma que se requiera.

El inconveniente, para todos los demás, es que, en lugar de obtener una corriente continua de la fuente de alimentación, el suministro de potencia genera pulsos de corriente que contienen gran cantidad de terceros armónicos y armónicos superiores, y unos importantes componentes de alta frecuencia (véase Fig. 4.5). A la entrada de la fuente de alimentación se coloca un filtro sencillo para derivar a tierra los componentes de alta frecuencia de la línea y el neutro, pero que no tiene efecto alguno sobre las corrientes armónicas que llegan de vuelta a la fuente de alimentación.

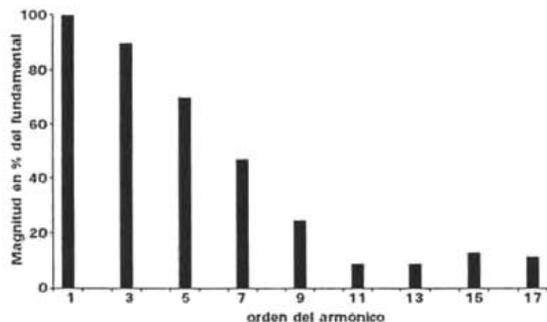


Fig. 4.5 Espectro armónico de un PC típico.

Las unidades de UPS monofásicas presentan unas características muy parecidas a las de las SMPS. Para las unidades de alimentación de gran potencia se ha desarrollado recientemente una tendencia hacia las denominadas fuentes de alimentación de factor de potencia corregido. Lo que se pretende es que la carga parezca una carga resistiva, de tal forma que la corriente de entrada presente una forma senoidal y en fase con la tensión aplicada.

Esto se consigue aplicando la corriente de entrada como una forma de onda triangular de alta frecuencia, la cual es promediada por el filtro de entrada como una senoide. Este nivel adicional de sofisticación no se aplica todavía a las unidades de bajo coste que componen la mayor parte de la carga de las instalaciones comerciales e industriales. Queda por ver qué problemas puede implicar la aplicación de esta tecnología a gran escala.

4.4.2 Balastos de iluminación fluorescente

Los balastos electrónicos se han popularizado en los últimos años debido a su fama de mejorar el rendimiento de las instalaciones fluorescentes. Su ventaja principal es que el nivel de luminosidad puede mantenerse durante una vida útil más larga mediante el control por realimentación de la corriente de funcionamiento; un método que reduce la eficiencia global de la vida útil. Su gran desventaja es que generan armónicas en la corriente de alimentación.

Con mayores prestaciones, se encuentran en el mercado los tipos denominados de factor de potencia corregido, que reducen los problemas de las armónicas, a cambio de un mayor coste. Las unidades más pequeñas normalmente no disponen de corrección. Algunos balastos cuentan con el sello del FIDE los cuales se han aprobado por baja emisión de armónicas y buen precio en el mercado, así como las más eficientes en el consumo de energía.

Actualmente se comercializan las lámparas fluorescentes compactas como sustituto de las clásicas bombillas. Un balasto electrónico en miniatura, alojado en la carcasa de conexión, controla un tubo fluorescente curvado de 8 mm de diámetro. Las lámparas de 11 watts de potencia nominal se venden en sustitución de las lámparas de filamento de 60 watts, presentando una esperanza de vida de 8,000 horas.

En la Fig. 4.6 se presenta su espectro de corrientes armónicas. Se ha difundido el uso de estas lámparas en sustitución de las bombillas de filamento en el ámbito doméstico y especialmente en hoteles, donde han dado origen a serios problemas de armónicos.

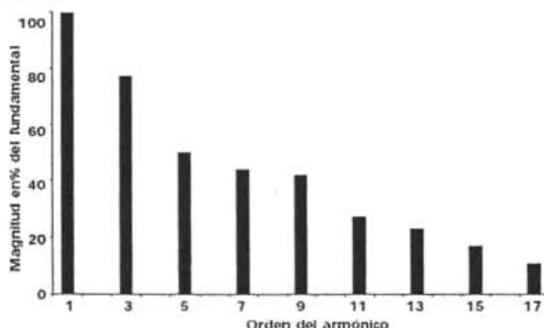


Fig. 4.6 Espectro armónico de una lámpara fluorescente compacta.

4.5 ARMÓNICAS EN LAS CARGAS TRIFÁSICAS

Los controladores de velocidad variable, las unidades de UPS y, en general, los convertidores de corriente continua normalmente se basan en la utilización del puente trifásico, también conocido como puente de seis pulsos porque presenta seis pulsos por ciclo (uno por cada medio ciclo de cada fase) en la salida de corriente continua. El puente trifásico produce armónicos a $6n \pm 1$, es decir, a uno más o a uno menos de cada múltiplo de seis.

En teoría, la amplitud de cada armónico es la inversa de número del armónico, así habría un quinto armónico con una amplitud del 20% y un 11º armónico con una amplitud del 9%, etc. En la Fig. 4.7 se muestra un ejemplo del espectro típico.

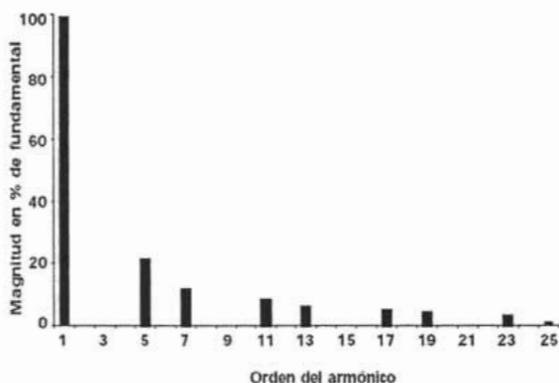


Fig. 4.7 Espectro armónico de un puente de seis pulsos.

La amplitud de los armónicos se reduce significativamente mediante la utilización de un puente de doce pulsos. En realidad se trata de dos puentes de seis pulsos, alimentados a partir de un transformador bobinado en estrella y triángulo, lo que produce un desplazamiento de fase de 30° entre ambos. De esta forma se suprimen teóricamente los armónicos múltiplos de seis pero, en la práctica, el grado de reducción depende del acoplamiento de los convertidores y normalmente será un factor entre 20 y 50.

Los armónicos múltiplos de doce permanecen sin cambio. No sólo se reduce la corriente armónica total, sino que, además, los armónicos que quedan son de un orden superior, lo cual hace más sencillo el diseño del filtro. Generalmente, el fabricante del equipo habrá adoptado algunas medidas para reducir las magnitudes de las corrientes armónicas, quizás mediante la adición de un filtro o inductores en serie (Fig. 4.8).

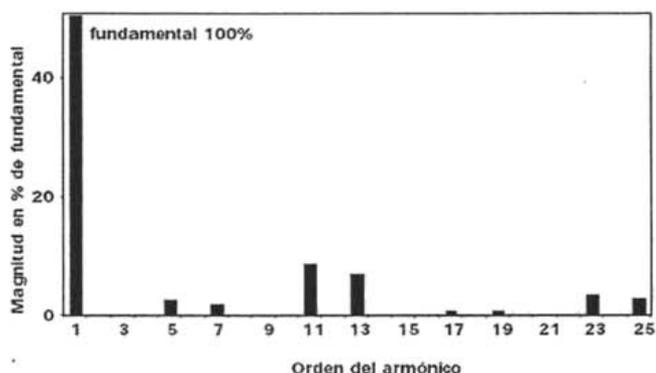


Fig. 4.8 Espectro armónico típico de un puente de doce pulsos.

Un incremento del número de pulsos hasta 24, que se obtiene utilizando dos unidades de doce pulsos en paralelo, con un desplazamiento de fase de 15° , reduce la corriente armónica total hasta un 4,5%, aproximadamente. Por supuesto, esta sofisticación adicional eleva el coste, de modo que este tipo de limitador de armónicos solo se utiliza cuando es absolutamente necesario ajustarse a las especificaciones de las empresas suministradoras de electricidad.

4.6 EFECTOS DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS

Los efectos de los armónicos se dividen en tres categorías generales:

1. Efectos sobre el sistema de potencia mismo.

En el sistema de potencia, las corrientes armónicas son el problema principal, ocasionando recalentamiento y pérdida de vida útil. Esto refiriéndonos a motores o transformadores. El impacto es peor cuando la resonancia de la red amplifica las corrientes armónicas. Los armónicos pueden también interferir en la operación de relees y mediciones.

Los armónicos pueden ocasionar también errores de disparo a los tiristores en equipos convertidores y en instalaciones que cuentan con sistemas de potencia ininterrumpibles, inexactitudes en las mediciones, y falsos disparos en los dispositivos de protección.

La distorsión armónica de voltaje puede ocasionar esfuerzos en el aislamiento de equipos, particularmente en capacitores. Cuando los armónicos deforman el voltaje en el banco de capacitores, el voltaje pico puede ser lo suficientemente alto como para ocasionar una descarga parcial, o efecto corona, dentro de el dieléctrico del capacitor. Esto puede producir eventualmente un cortocircuito entre bornes y carcasa y hacer fallar al condensador.

Las corrientes armónicas altas también ocasionan el disparo de fusibles en bancos de condensadores. Esto ocasiona la pérdida de una fuente de alimentación reactiva al sistema, lo que puede ocasionar otros problemas.

2. Efectos sobre la carga del consumidor y circuitos de comunicación..

El desempeño de los equipos de los consumidores, tales como controladores de velocidad de motores y fuentes de alimentación de computadoras, pueden ser adversamente afectadas por los armónicos. Además, las corrientes armónicas que fluyen sobre las líneas de potencia pueden inducir ruido sobre líneas cercanas de comunicación.

Tabla 4.2 Principales efectos de las armónicas sobre el sistema eléctrico.

Efectos de las Armónicas	Causas	Consecuencias
Conductores	Las intensidades armónicas provocan el aumento del Valor Cuadrático Medio de la Corriente. El "Efecto Piel" reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia.	Disparos intempestivos de las protecciones y sobrecalentamiento de los conductores
Conductor Neutro	Aun cuando la carga trifásica esté equilibrada circula corriente por el conductor neutro, causada por la circulación de las armónicas impares múltiplos de 3.	Calentamiento y sobre intensidades en el conductor neutro.
Capacitores	Disminución de la impedancia del capacitor con el aumento de la frecuencia.	Envejecimiento prematuro, amplificación de los armónicos existentes.
Transformadores	Aumento del Valor Cuadrático Medio de la Corriente. Las pérdidas por Foucault son proporcionales al cuadrado de la frecuencia, las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia.	Aumento de los calentamientos por efecto Joule en los devanados. Aumento de las pérdidas en el hierro del transformador y disminución del rendimiento.
Motores	Análogas a las de los transformadores y generación de un campo adicional al principal	Análogas a las de los transformadores más vibraciones mecánicas anormales.

4.6.1 Efecto en cables y conductores

Al circular, corriente directa a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule, I^2R , donde R es la resistencia a corriente directa del cable y la corriente esta dada por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor. A medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable (manteniendo su valor rms igual al valor de corriente directa) disminuye el área efectiva por donde ésta circula puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior (Fig. 4.9), lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor.



Fig. 4.9 Densidades de corriente en un mismo conductor, (a) a corriente directa y (b) a corriente de alta frecuencia.

Por lo tanto, la resistencia a corriente alterna de un conductor es mayor que su valor a corriente directa y aumenta con la frecuencia, por ende también aumentan las pérdidas por calentamiento. A frecuencia de 60 Hz, este efecto se puede despreciar, no por que no exista, sino por que este factor se considera en la manufactura de los conductores]. Sin embargo con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto Joule son mayores por la frecuencia de las componentes armónicas de la corriente. La Tabla 4.3 muestra la razón entre la resistencia de alterna y la de directa producida por el efecto piel en conductores redondos, a frecuencias de 60 y 300 Hz.

Tabla 4.3. Ejemplo de efecto piel en conductores.

Tamaño del conductor	Resistencia AC	Resistencia DC
	60 Hz	300 Hz
300 MCM	1.01	1.21
450 MCM	1.02	1.35
600 MCM	1.03	1.50
750 MCM	1.04	1.60

4.6.2 Efecto en transformadores

La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil.

Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas I^2R , pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro.

De manera individual, el efecto de las armónicas en estas pérdidas se explica a continuación:

Pérdidas sin carga o de núcleo. Producidas por el voltaje de excitación en el núcleo. La forma de onda de voltaje en el primario es considerada senoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumentan para corrientes de carga no senoidales. Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.

Pérdidas I^2R . Si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.

Pérdidas por corrientes de Eddy. Estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no senoidal y por lo tanto también en su temperatura. Estas pérdidas se pueden expresar como:

$$P_e = P_{e,R} \sum_{h=1}^{h=h \max} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 \quad (4.15)$$

Donde:

h = armónica.

I_h = corriente de la armónica h, en amperes.

I_R = corriente nominal, en amperes.

P_e, R = pérdidas de Eddy a corriente y frecuencia nominal.

Pérdidas adicionales. Estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador contribuirán o no en la temperatura más caliente del devanado.

En el caso de transformadores conectados en delta - estrella (comúnmente de distribución) que suministran cargas no lineales monofásicas como pueden ser fuentes reguladas por conmutación, las armónicas múltiplos de 3 circularán por las fases y el neutro del lado de la estrella, pero no aparecerán en el lado de la delta (caso balanceado), ya que se quedan atrapadas en ésta produciendo sobrecalentamiento de los devanados.

Se debe tener especial cuidado al determinar la capacidad de corriente de estos transformadores bajo condiciones de carga no lineal puesto que es posible que los volts-ampères medidos en el lado primario sean menores que en el secundario.

Con el constante aumento de cargas no lineales, se han llevado a cabo estudios para disminuir la capacidad nominal de los transformadores ya instalados que suministran energía a este tipo de cargas; un ejemplo de este caso se puede encontrar en. Además, en el caso de transformadores que operarán bajo condiciones de carga no lineal, es conveniente en lugar de sobredimensionar el transformador, utilizar un transformador con un factor K mayor a 1.

Estos transformadores son aprobados por UL (Underwriter's Laboratory) para su operación bajo condiciones de carga no senoidal, puesto que operan con menores pérdidas a las frecuencias armónicas. Entre las modificaciones con respecto a los transformadores normales están:

- El tamaño del conductor primario se incrementa para soportar las corrientes armónicas múltiplos de 3 circulantes. Por la misma razón se dobla el conductor neutro.
- Se diseña el núcleo magnético con una menor densidad de flujo normal, utilizando acero de mayor grado.
- Utilizando conductores secundarios aislados de menor calibre, devanados en paralelo y transpuestos para reducir el calentamiento por el efecto piel.

El factor K se puede encontrar mediante un análisis armónico de la corriente de la carga o del contenido armónico estimado de la misma. La ecuación (4.16) que lo define es:

$$FactorK = \sum_{h=1}^{h=h_{max}} [I_{h(pu)}]^2 h^2 \quad (4.16)$$

Donde:

h = armónica

I_{1rms} = Corriente fundamental en rms.

I_{rms} = Corriente total en rms.

$I_{h(pu)}$ = corriente armónica en p.u. tomando como base la corriente I_{rms} .

Con el valor del factor K de la corriente de la carga, se puede escoger el transformador adecuado. La Tabla 4.4 muestra los valores comerciales de transformadores con factor K.

Tabla 4.4 Transformadores con factor K disponibles comercialmente.

K-4
K-9
K-13
K-20
K-30
K-40

4.6.3 Efecto en interruptores automáticos (breakers)

Los fusibles e interruptores termomagnéticos operan por el calentamiento producido por el valor rms de la corriente, por lo que protegen de manera efectiva a los conductores de fase y al equipo contra sobrecargas por corrientes armónicas. Por otro lado, la capacidad interruptiva no se ve afectada por las componentes armónicas en los sistemas eléctricos puesto que durante condiciones de falla, las fuentes que contribuyen a la misma son de frecuencia fundamental.

4.6.4 Efecto en el neutro

En un sistema trifásico, la forma de onda de tensión de cada fase, entre fase y neutro, está desfasada 120° de forma que, cuando cada una de las fases tiene la misma carga, la corriente combinada en el neutro es cero. Cuando las cargas no están equilibradas, por el neutro sólo circulará la corriente neta correspondiente al desequilibrio de las cargas.

En el pasado, los instaladores, con la aprobación de las autoridades que redactan los reglamentos industriales, han aprovechado esta circunstancia para colocar conductores neutros de sección mitad que la de los conductores de fase. Sin embargo, aunque las corrientes fundamentales se anulan entre sí, no ocurre lo mismo con las corrientes armónicas. De hecho, aquellas que son un múltiplo impar del triple de la fundamental, los denominados armónicos "triple-N", se suman en el conductor neutro.

Los casos encontrados en edificios comerciales, generalmente muestran corrientes en el neutro de magnitudes comprendidas entre el 150% y el 210% de las corrientes de fase. En muchos casos en un conductor de sección mitad que la de los conductores de fase.

En el caso de que se estén alimentando cargas no lineales, es recomendable que las barras de neutros tengan una capacidad de corriente igual al doble de la de las fases.

La Fig. 4.10 muestra este efecto. En este diagrama las corrientes de cada fase, que se representan en la parte superior, están desfasadas 120° . El tercer armónico de cada fase es idéntico para las tres, siendo su frecuencia el triple de la fundamental y, por tanto, su periodo un tercio del de la onda fundamental. En la figura se muestra la corriente resultante de los tres terceros armónicos. En este caso una corriente del tercer armónico de una amplitud del 70% de la fundamental en cada fase da como resultado una corriente con una amplitud del 210% en el neutro.

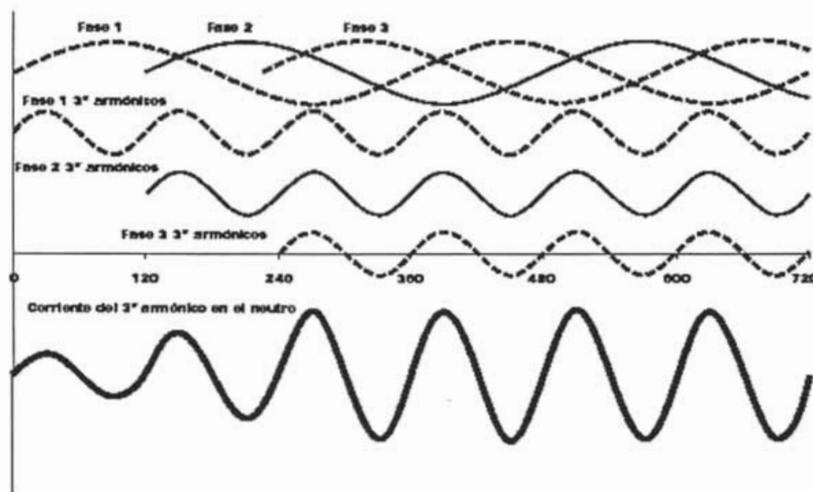


Fig. 4.10 Suma de las tres corrientes triple-N en el neutro.

4.6.5 Efecto en los bancos de capacitores

El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales es la resonancia tanto serie como paralelo. A medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye. Existirá entonces al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia.

4.6.5.1 Resonancia paralelo

La Fig. 4.11 muestra el circuito equivalente para el análisis de la resonancia paralelo en un sistema eléctrico. La carga no lineal inyecta al sistema corrientes armónicas, por lo que el efecto de dichas corrientes se puede analizar empleando el principio de superposición. De esta manera, el circuito equivalente a distintas frecuencias se puede dibujar como:

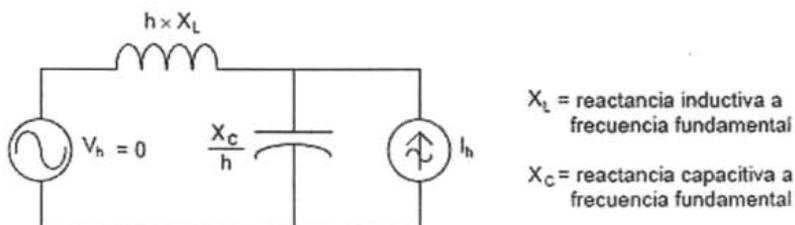


Fig. 4.11 Circuito equivalente para el análisis del sistema a frecuencias armónicas.

En general, la fuente de voltaje V_h vale cero (corto circuito), puesto que sólo presenta voltaje a frecuencia fundamental. Entonces a frecuencias armónicas, el circuito equivalente visto por la carga (fuente de corrientes armónicas) será una inductancia y capacitancia en paralelo, por lo que la frecuencia de resonancia se tendrá cuando:

$$f = f_1 \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (4.17)$$

Donde:

f_1 = frecuencia fundamental

Si la carga inyecta una corriente armónica de una frecuencia igual o cercana a la frecuencia de resonancia paralela del sistema, entonces las corrientes y voltajes experimentarán una amplificación puesto que la admitancia equivalente se acerca a cero (impedancia muy alta). Esto produce los problemas de calentamiento inherentes a las corrientes armónicas (en cables, transformadores, interruptores), la operación de fusibles, y el posible daño o envejecimiento prematuro de equipo.

4.6.5.2 Resonancia serie

En este caso la expresión matemática de la frecuencia de resonancia es la misma que muestra la ecuación, la diferencia es que ahora el circuito presenta una trayectoria de baja impedancia a las corrientes armónicas (casi un corto circuito). Esta resonancia causará problemas similares a los que se tienen en el caso de la resonancia paralela.

Una forma de minimizar los problemas de resonancia por la instalación de bancos de capacitores consiste en distribuir los mismos en diferentes puntos del sistema, para alejar la frecuencia de resonancia a valores más altos. También es importante considerar que los capacitores se deben conectar en delta y/o estrella no aterrizada (para evitar atraer las armónicas de múltiplos de 3) en sistemas menores a 69 kV.

4.6.6 Efecto en los motores de inducción

Fundamentalmente, las armónicas producen efectos al disminuir la eficiencia y el torque generado por los motores. Este ha sido el tema de análisis de muchos artículos por su importancia en la industria.

Si el voltaje que se alimenta a un motor de inducción contiene componentes armónicas, entonces incrementarán sus pérdidas I^2R en el rotor y estator, pérdidas de núcleo (Eddy e histéresis) y pérdidas adicionales, en tanto que las pérdidas de fricción y ventilación no son afectadas por las armónicas. En forma más detallada, tenemos el siguiente análisis de las pérdidas.

1. Pérdidas I^2R en el estator: según IEEE, las pérdidas en el estator son determinadas utilizando la resistencia a corriente directa de la máquina, corregida a la temperatura especificada. Al operar la máquina de inducción con voltajes con contenido armónico no sólo aumentan estas pérdidas por el efecto piel que incrementa el valor de la resistencia efectiva, sino que también aumenta el valor de la corriente de magnetización, incrementándose aún más las pérdidas I^2R .
2. Pérdidas I^2R en el rotor: éstas aumentan de manera más significativa que las anteriores, por el diseño de la jaula en los motores de inducción que se basa en el aprovechamiento del efecto piel para el arranque. Esta resistencia aumenta en forma proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia y por ende las pérdidas.
3. Pérdidas de núcleo: estas pérdidas son función de la densidad de flujo en la máquina. Éstas aumentan con excitación de voltaje no senoidal puesto que se tienen densidades de flujo pico más elevadas, sin embargo su aumento es aún menor que el de las pérdidas mencionadas anteriormente e incluso son más difíciles de cuantificar.
4. Pérdidas adicionales: son muy difíciles de cuantificar aun bajo condiciones de voltaje senoidal. Al aplicar voltaje no senoidal, éstas aumentan en forma particular para cada máquina.

Torque en el motor de inducción: las armónicas de secuencia positiva producen en el motor de inducción un torque en el mismo sentido de la dirección de rotación, en tanto que las de secuencia negativa tienen el efecto opuesto. En caso de que se tenga conectado el neutro, el par producido por las armónicas múltiplos de tres es igual a cero. Dependiendo del contenido armónico del voltaje aplicado, el par promedio de operación puede verse disminuido considerablemente, sin embargo en la mayoría de los casos el efecto producido por las armónicas de secuencia negativa se cancela con el efecto de las de secuencia positiva, por lo que su efecto neto en el par promedio puede despreciarse.

La interacción de las corrientes armónicas del rotor con el flujo en el entrehierro de otra armónica resultan torques pulsantes en los motores, los que pueden afectar la calidad del producto donde las cargas de los motores son sensibles a estas variaciones. Estos torques pulsantes también pueden excitar una frecuencia de resonancia mecánica lo que resultaría en oscilaciones que pueden causar fatiga de la flecha y otras partes mecánicas conectadas. Por lo general la magnitud de estos torques es generalmente pequeña y su valor promedio es cero.

Respecto a las ondas producidas por ondas de alta frecuencia, tanto en sentido directo como en sentido inverso, se consideran que los flujos magnéticos correspondientes no tienen tiempo de penetrar al fondo de la ranura del rotor y por lo tanto tienen valores insignificantes. Aunque sí producen ruidos, saturación magnética y pérdidas por efecto joule.

4.6.7 Efectos en otros equipos

Equipos electrónicos sensitivos son susceptibles a operación incorrecta a causa de las armónicas. En algunos casos estos equipos dependen de la determinación precisa del cruce por cero del voltaje u otros aspectos de la forma de onda del mismo, por lo que condiciones de distorsión pueden afectar su operación adecuada.

En lo que respecta a equipo de medición e instrumentación estos son afectados por las componentes armónicas, principalmente si se tienen condiciones de resonancia que causen altos voltajes armónicos en los circuitos. Para el caso de medidores se pueden tener errores positivos o negativos, dependiendo del tipo de medidor y de las armónicas involucradas.

4.7 EFECTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Definitivamente la consecuencia más clara es que las componentes armónicas de las corrientes producen pérdidas por efecto joule en las resistencias que se presentan en su circulación, Fórmula 4.18:

$$P_h = I_{armonica}^2 R_{armonica} \quad (4.18)$$

Por otra parte las pérdidas en los núcleos magnéticos también se ven incrementadas ya que las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia y a las pérdidas por corrientes parásitas son proporcionales con el cuadrado de la frecuencia.

Además del impacto importante en las pérdidas del sistema eléctrico, de todos sus equipos y los de los usuarios, la presencia de armónicas tiene consecuencias en el manejo de magnitudes eléctricas y en el valor que adquieren los parámetros de la red. Las magnitudes como potencia activa, potencia reactiva,

energía, factor de potencia, impedancias y caídas de voltaje en redes de ondas distorsionadas no pueden manejarse igual que en las que tienen voltajes y corrientes sinusoidales.

4.7.1 Potencia activa y energía en redes con ondas distorsionadas

Para el caso de la potencia activa se deberán considerar las armónicas de voltaje con sus respectivas ondas de corriente y asociar los conceptos de potencia reactiva y factor de potencia.

$$P_{armónica} = V_{armónica} \times I_{armónica} \cos \theta_{armónica} \quad (4.19)$$

La medición de la energía con distorsión armónica se dificulta ya que los instrumentos pueden tener errores grandes para frecuencias diferentes a la fundamental, además de la dificultad para distinguir el sentido del flujo de las armónicas. Es probable que un usuario sea el causante de la distorsión armónica y que la energía medida sea menor que la consumida, mientras que otro usuario sufre las consecuencias de recibir una onda de voltaje distorsionada pague más que la energía efectivamente consumida.

4.7.2 Potencia reactiva en redes con ondas distorsionadas

Por lo que respecta al concepto de potencia reactiva y factor de potencia surge un problema más complicado. El factor de potencia está definido, para una variación senoidal de voltaje y corriente, como la razón de la potencia activa entre la potencia aparente. Esto equivale al coseno del ángulo de defasamiento entre el voltaje y la corriente.

Este concepto no tiene sentido cuando se trata de ondas con componentes de diferentes frecuencias. Por esta razón resulta necesario redefinir el concepto de potencia reactiva y factor de potencia.

Se define la potencia total como:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \quad (4.20)$$

Se define la potencia activa fundamental:

$$P_{a1} = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (4.21)$$

Se define la potencia activa armónica:

$$P_{2a} = \sum_{h=2}^{\infty} V_h I_h \cos \theta_h \quad (4.22)$$

Se define la potencia activa total:

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \theta_h \quad (4.23)$$

Se propone para determinar la potencia reactiva como:

$$Q^1 = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h I_h \cos \theta_h)^2 + \sum_{h=1}^{\infty} (V_h I_h \operatorname{sen} \theta_h)^2} \quad (4.24)$$

Estas definiciones se expresan gráficamente de la siguiente forma:

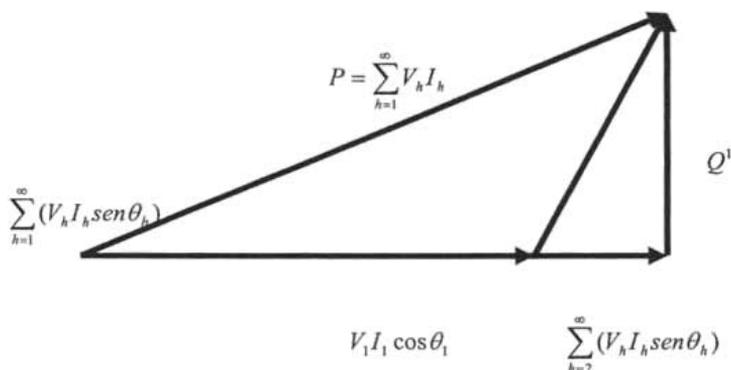


Fig. 4.12 Gráfica de valores RMS de los componentes para la obtención de la potencia reactiva en una red con alto contenido de armónicas.

Resulta claro que para consumidores con motores esta definición es apropiada y tiene mucho sentido, mientras que para consumidores de tipo resistivo la forma de onda de voltajes o corriente no les afecta.

4.7.3 Reactancia en redes con ondas distorsionadas

La presencia de armónicas en un circuito provoca cambios en la impedancia del sistema. Las resistencias cambian por la influencia que la frecuencia tiene sobre el efecto piel. Sin embargo, en esta parte nos interesa más analizar los cambios en la reactancia y los efectos que esto puede tener en el comportamiento del sistema.

La reactancia inductiva es proporcional a la frecuencia: $X_L = 2\pi fL$ (4.25)

Por lo que la inductancia significará una mayor reactancia para las armónicas que para la onda fundamental de corriente. Esto tenderá a atenuar las componentes armónicas de la corriente, disminuyendo la distorsión.

La reactancia capacitiva es inversamente proporcional a la frecuencia:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (4.26)$$

De forma que una capacitancia ofrecerá menor reactancia a las corrientes armónicas que a la componente fundamental. Entonces una capacitancia alimentada por corrientes armónicas tenderá a aumentar la distorsión de la onda de corriente, consecuentemente aumentaran las pérdidas, pero también muy importante es que la disminución de la reactancia capacitiva conlleva la posibilidad de que se presente el fenómeno de resonancia a una de las frecuencias armónicas provocando que la corriente de esa corriente de esa frecuencia crezca peligrosamente. En circuitos con alto contenido de armónicas es riesgoso incrementar la presencia de bancos de capacitores, ya que cada aumento de capacitancia significa una disminución de la frecuencia de resonancia del sistema.

4.8. INTERPRETACIÓN Y APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE-519.

Una de las normas de más aplicación para límites para los niveles de distorsión de corriente, tanto para compañías suministradoras y en sistemas eléctricos de potencia es la IEEE-519-1994 Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Tabla 4.5. (a) IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente. Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un 50%.

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
Icc/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 69,000 - 161,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
Icc/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Tabla 4.5 (b) IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes > 161,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
I _{cc} /I _L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<50	2.0	1.0	0.75	0.30	0.15	2.5
50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75
Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados anteriormente						
* Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de I _{sc} /I _L que presente						
I _{cc} = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.						
I _L = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.						
THD = Distorsión total de la demanda en % de la demanda máxima.						

Donde:

$$I_{cc}(kA) = \frac{MV_{Acc}}{\sqrt{3}[kV_{LL}]} \quad (4.27)$$

$$THD_h(\%) = 100 \left[\frac{I_h}{I_L} \right] \quad (4.28)$$

$$THD(\%) = 100 \left[\frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{h=h \max} I_h^2}}{I_L} \right] \quad (4.29)$$

Tabla 4.6. Límites de distorsión de Voltaje según IEEE 519
(Para condiciones con más de una hora de duración. Períodos más cortos aumentan su límite en un 50%)

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Voltaje (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
Hasta 69 KV	3.0	5.0
De 69 KV a 137.9 KV	1.5	2.5
138 KV y mas	1.0	1.5
Nota: Los sistemas de alto voltaje pueden llegar hasta un 2.0% en THD cuando lo que causa es un alto voltaje terminar DC, el cual podría ser atenuado.		

Como es común, los límites se imponen sobre componentes individuales y sobre la distorsión total para la combinación de todos los voltajes armónicos (THD). Lo diferente en esta tabla, sin embargo, es que se muestran tres límites diferentes. Ellos representan tres clases de voltaje; hasta 69 KV, de 69 a 137.9 KV, y por encima de 138 KV. Observe que los límites disminuyen cuando el voltaje aumenta, al igual que para los límites de corrientes.

4.8.1 Caso de Ejemplo

De un medidor de armónicas se obtuvieron los siguientes datos en por ciento de la corriente total. El nivel de corto circuito reportado por la compañía suministradora es de 100 KA en 477 V.

Tabla 4.7 Valores medios para armónicas en la corriente.

H	I rms, h	% fundamental
1	2.036	100.00%
3	1.633	80.21%
5	1.237	60.76%
7	0.756	37.15%
9	0.318	15.63%

Donde se pueden obtener valores para conocer la corriente RMS, el THDI, T_{DD} , e incluso graficar los resultados.

Tabla 4.8 Resultado de los cálculos para los datos obtenidos.

h	I rms, h	I, h	% fund	(I rms, h) ²	(I rms,h)/I ₁	(I rms,h/I ₁) ²
1	2.036	2.880	100.00%	4.147	1.0	1.0
3	1.633	2.310	80.21%	2.668	0.802	0.643
5	1.237	1.750	60.76%	1.531	0.608	0.369
7	0.757	1.070	37.15%	0.572	0.372	0.138
9	0.318	0.450	15.63%	0.101	0.156	0.024

Corriente RMS:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2} = \sqrt{4.14 + 2.66 + 1.53 + 0.57 + 0.101} = 3 \quad (4.30)$$

De la fórmula la corriente total de distorsión armónica tenemos:

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (4.8)$$

$$THDI = \sqrt{0.643 + 0.369 + 0.138 + 0.024} = 1.084 \quad (4.31)$$

En porcentaje se tiene 108.4 % del total de la distorsión armónica.

El factor K de una corriente de carga se puede obtener con la misma ecuación y con I_h en pu de corriente total. Si se tienen los datos de las corrientes armónicas en pu de fundamental, el factor K se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$FactorK = \left(\frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \right) \sum_{h=1}^{h=h_{max}} [I_{h(pu)}]^2 h^2 \quad (4.32)$$

Tabla 4.9 Cálculos para obtener el factor K.

H	I p.u.	(I ² p.u.)*(h ²)
1	1	1
3	0.80208	5.7900391
5	0.60764	9.2306255
7	0.37153	6.7636116
9	0.15625	1.9775391
Factor K		24.761815
I_{rms}	3	
I_{1rms}	2.03646753	
Factor K de I_c	11.41	

El factor K indica la capacidad de un transformador para alimentar cargas no senoidales sin sobrecalentarse. El factor K es de 24.76 por lo que se tendría que escoger un transformador con factor K de 30, para que soporte el efecto de las corrientes armónicas.

Corriente nominal con factor K = 1 da lugar a pérdidas nominales por corrientes circulantes, $P_{ec,R}$, corriente nominal con la distorsión del ejemplo daría lugar a 11.41 $P_{ec,R}$. En transformadores secos las pérdidas por corrientes circulantes en el devanado de baja tensión resultan en puntos calientes en ese devanado. Si se emplea un transformador seco con factor K = 1 para alimentar corrientes con distorsión como la del ejemplo es obvio que en esos puntos calientes la temperatura se puede elevar en forma peligrosa.

Para la relación de I_{cc} con respecto a I_L tenemos:

$$I_{cc} = \frac{100kA}{\sqrt{3} * 477} = 121.03 \text{ Amp} \quad (4.33)$$

$$I_{cc} / I_L = \frac{121.03}{2.036} = 59.4 \quad (4.34)$$

4.8.2 Conclusiones

Si verificamos los niveles permitidos de las armónicas en la tabla correspondiente, a voltajes de 120-69 KV con una relación $I_{cc}/IL = 121$, se observa lo siguiente:

De la referencia de la tabla 4.5. (a) IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.

I_{cc}/IL	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0

La distorsión armónica mínima para el rango menor de 11, es de 12 % de la fundamental. Se midieron ondas que están muy por encima de este rango, como la tercera armónica que tiene un 80.1 %. Todas las armónicas sobrepasan el límite, incluso el THD que como máximo permitido es del 15 % y se tiene uno del 108.4 %.

Es por eso que la corriente que circula realmente circula llega hasta un nivel de 9 Amp, cuando se esta midiendo tan solo 3 amp rms en los aparatos de medición convencionales, Fig. 4.13.

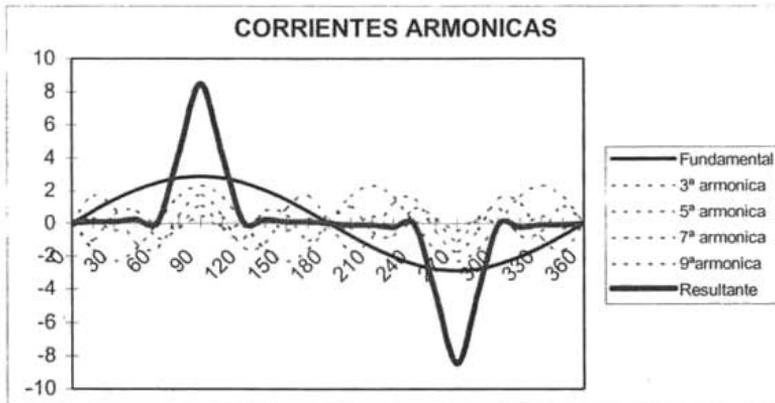


Fig. 4.13 Corriente verdadera causada por armónicas

Estos resultados indican un serio problema de las corrientes armónicas en el sistema eléctrico, por lo que es conveniente buscar mejoras ya sea en una sustitución de equipo, o en cambios del sistema eléctrico de potencia ya sea cambiando cables o transformadores o instalando filtros. Se debe determinar cual es la opción más viable económicamente y de fácil aplicación, incluso si el nivel de armónicas no superara los rangos establecidos, pero si estuvieran presentes, es necesario hacer cambios en el sistema eléctrico de potencia con el fin de evitar problemas futuros en el sistema, y poder ofrecer una mejor calidad de energía a los usuarios y no afectar el sistema eléctrico.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO

INTRODUCCIÓN

La metodología para el diagnóstico energético comprende una serie de pasos a seguir con el fin de poder obtener datos a través de mediciones y observaciones, los cuales se analizan con el fin de identificar y corregir los problemas que se observen en el desarrollo de este.

Para analizar y después diagnosticar es necesario el conocimiento de los consumos de energía, un buen análisis y diagnóstico debe de seguir una actuación y una obtención de resultados que sirva de estímulo. Por esta razón las mediciones se consideran como una parte vital en el proceso de diagnóstico y en general dentro de los trabajos de administración de energía.

Para conocer con más detalle como es el consumo de energía se requiere conocer como es el sistema, en este caso el eléctrico, se hará un análisis de los planos de obra para posteriormente hacer un censo de las cargas conectadas a este sistema, y sobre todo medir como es que se consume la energía. Todos estos datos son necesarios para poder analizar el sistema eléctrico, ya con los resultados se puede analizar los problemas que surgen o en el mejor de los casos se previene un problema a futuro.

Toda la metodología ha sido recabada de guías y trabajos que anteriormente se han realizado en el Laboratorio de Diagnóstico Energético de la FES Aragón, las mediciones se basan principalmente de los equipos de medición con que cuenta el laboratorio, a partir de estos es como se diseñó los pasos a seguir en el proceso del diagnóstico.

Una de las fuentes de información principales de diagnóstico en iluminación son las normas mexicanas vigentes, pero en algunos casos se estudiarán los proyectos de norma los cuales ya han sido aprobados durante la elaboración de la tesis, con el fin de hacer notar los cambios realizados a las normas. Estas normas hacen referencia a los niveles de iluminación así como a la carga instalada en interiores y exteriores.

Para el análisis del sistema eléctrico también se tienen varias normas como las de instalaciones eléctricas o la de niveles de tensión, todas estas normas constituyen la base de análisis de los datos recabados y de observaciones realizadas durante el trabajo de diagnóstico.

La metodología del diagnóstico energético principalmente tiene como objetivo realizar un estudio en profundidad del sistema con el fin de sugerir la forma de corregir problemas que se presenten en este y poder atender las normas de ahorro de energía que se puedan implementar.

5.1 METODOLOGÍA DE DIAGNOSTICO

La metodología empleada en un estudio de ahorro de energía depende entre otras cosas, del alcance previsto y de la experiencia de los especialistas responsables.

A continuación se enlistan las actividades principales.

- Recopilación de antecedentes.
- Análisis de la información y cronograma de actividades.
- Levantamiento y mediciones de campo.
- Procesamiento y análisis de la información.
- Determinación de la situación existente.
- Establecimiento de alternativas.
- Pruebas eléctricas y fotométricas.
- Determinación de la mejor opción.
- Elaboración de especificaciones y volumen de obra.
- Conclusiones y recomendaciones.

5.1.2 Características de los Formatos

5.1.2 Información contenida en los formatos

Información general. Consideramos información tipo general sobre el usuario (dirección, nombre y puestos del coordinador y sus subalternos, teléfonos y horarios), la descripción general del estudio (características del caso base, fecha de inicio y termino esperado), así como los datos de los auditores responsables, su personal operativo, su equipo de trabajo, etc.

5.1.2.2 Información complementaria

Ubicación geográfica (fecha de inicio de verano e invierno), giro o actividad principal, fecha original de construcción, área total, fecha de ejecución y descripción de trabajos por ampliaciones, planos arquitectónicos, diagramas unifilares y rangos de temperaturas exteriores por estación; información energética histórica desde la compañía suministradora de energía eléctrica (región, tarifa, demanda contratada, factor de carga, cargos por energía, demanda, factor de potencia, cargos por alumbrado público, mantenimiento y ajuste por combustibles, etc.)

5.1.2.3 Determinación de la situación actual

Clasificación por área Tipo. Se hace un análisis de la información recabada en campo con la meta de establecer las características de cada área y hacer la clasificación correspondiente (se debe de incluir la geometría, rectangular, elíptica, circular, etc.,)

Los criterios de iluminación y por lo tanto de energía son particulares para cada área tipo, ya que generalmente varía la actividad desarrollada, la suciedad y la peligrosidad del ambiente, etc.

También debe de considerarse la velocidad, exactitud e importancia de la tarea, además de la edad de los usuarios.

5.1.2.4 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 importancia de la luz natural en cada estación, el intercambio de aportaciones entre diferentes áreas, el sistema de tierras, la tensión nominal y la regulación, el equipo eléctrico misceláneo, etc.

5.1.2.5 Dimensiones

Se registra el ancho, largo y alto del área más las cavidades y reflectancias. Se considera también las particiones, cantidad y espacio exterior de estaciones de trabajo, mobiliario y luminarios así como el tamaño y ubicación de las ventanas. Esta información se usa posteriormente para el cálculo de iluminancia con luz tanto natural como artificial.

5.1.2.6 Hábitos de consumo y equipo misceláneo

Se consignan todos los equipos utilizados por el usuario y las costumbres de uso tomando el tiempo y los ciclos de encendido-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 año.

5.1.2.7 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 o individual y los períodos de limpieza.

Los principales datos son los siguientes:

- Lámpara: se registra la marca y la designación, tipo de encendido, dimensiones, potencia, color, IRC, mantenimiento de lúmenes, precio en el mercado, número de lámparas por luminario, temperatura en el bulbo, número y ubicación de lámparas falladas, etc.

- **Balastro:** se obtiene la marca, catalogo y numero de balastros por luminario, 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, etc.
- **Luminario:** se considera la marca y el numero de catalogo o bien el tipo de luminario (empotrado, sobrepuesto, suspendido o en riel, abierto o cerrado, con difusor o louver, con reflector pintado, etc.), su instalación, 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.
- **Control.** Se registra marca y número, si es automático o manual, de potencia plena o controlada, ubicación, numero de luminarios controlados y carga por control, horas de uso y ciclos de encendido apagado, área involucrada, etc.

5.1.2.8 Interacción con equipo adicional

Para hacer el cálculo de los ahorros reales deben de considerarse los beneficios adicionales que se obtienen 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 de un estudio integral, se conocen los datos del equipo de aire acondicionado, como consumo de energía, horas de operación y COP¹. Reducir el consumo por concepto de iluminación beneficia a los equipos de aire acondicionado, por que libera parte de la carga térmica y por lo tanto el consumo de energía. A través del COP se puede calcular directamente la reducción en demanda.

En la subestación los transformadores bajaran su carga lo que reducirá sus perdidas por efecto joule, reduciendo la necesidad de mantenimiento al trabajar mas 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.

5.1.3 Evaluación económica

Se determina la fuente o tipo de financiamiento, inflación anual, aumento probable en costos de energía, costo actual de operación y mantenimiento e incremento anual esperado (mano de obra, material y energía), valor comercial del equipo instalado y su posible valor de rescate o bien el costo de su disposición final, costo del equipo propuesto y el costo del beneficio, mas el diagnostico e implementación de medidas (suministro de equipo, supervisión, instalación y monitoreo).

¹ COP, Consumo Óptimo de Potencia.

Con los ahorros en la facturación y los beneficios adicionales se calcula el tiempo simple de recuperación, después de la inversión. Tasa interna de retorno, inversión equivalente en pagos recuperables, relación beneficio costo, y con toda la información se cierra el cuadro-resumen final.

5.2 LEVANTAMIENTITO DE DATOS

5.2.1 Recursos con los que debe contar el personal

La realización del levantamiento de datos requiere de personal capacitado, se recomienda que el personal capacitado cuente con:

- Responsabilidad en la operación y mantenimiento del inmueble o apoyo de quienes realizan estas funciones.
- Acceso a la información propia del inmueble, como son las facturaciones eléctricas y los planos arquitectónicos.
- Disponibilidad de tiempo completo. El tiempo de trabajo dependerá del tamaño del inmueble, complejidad del sistema, disponibilidad de la información, habilidad y tiempo (h/día) dedicado a este.
- Autorización de acceso a todas las áreas del inmueble.
- Conocimientos básicos en equipos de alumbrado.
- Una o más personas que lo auxilien.

Actividades

En el desarrollo del levantamiento de datos se establece como tarea fundamental el llenado de los formatos, los cuales se encuentran en los anexos finales, los cuales cuentan con:

1. Datos básicos del inmueble.
2. Datos históricos de facturación eléctrica.
3. Zonificación del inmueble.
4. Censo de alumbrado.

Datos básicos del inmueble:

Con el fin de entender claramente la información los formatos deben de contener los siguientes datos.

- Fecha: anotar en día, el mes y el año en que se realizó el levantamiento de datos.

- Edificio
- Nombre y dirección de la empresa: Nombre del inmueble o razón social al que corresponde, se indicaran calle, número, localidad, municipio o delegación, código postal y estado de la republica mexicana donde se ubica el inmueble.
- Uso del inmueble: anotar el uso principal que se le da al inmueble. Para de esta metodología se seleccionaran dentro de las siguientes cinco alternativas: oficinas, comercio, educación, salud o alojamiento.
- Descripción: dependiendo del uso del inmueble seleccionado, mencionado en el punto anterior, se debe especificar la categoría a la que pertenece, se puede mencionar si es un edificio moderno, antiguo, inteligente, histórico o alguna característica que se destaque.
- Responsable: se deberá anotar los datos del personal que participo en el levantamiento de datos, indicando nombre cargo correspondiente y teléfono, con el fin de establecer comunicación en caso de alguna duda referente a la información proporcionada.

a) Construcción

- Año de construcción: año en que se terminó de construir el inmueble.
- Año de operación: año en que el inmueble entró en operación.
- Identificación del edificio: asignar la primera letra del alfabeto ("A"), y en caso de contar con un conjunto de edificios a los siguientes edificios les corresponderán las letras subsecuentes en orden progresivo.
- Nombre del edificio: anotar el nombre o clave usual con el que el usuario identificara al inmueble.
- Numero de niveles: se anotarán el número de niveles con los que cuenta cada edificio.
- Área total del edificio: se anota la suma de todas de todas las áreas de cada nivel, incluyendo sótanos, estacionamientos, etc., (+.10%).
- Total (m²): corresponde a la suma de las áreas construidas de todos los inmuebles.
- Superficie del terreno: corresponde al área total del terreno, en metros cuadrados.

b) Conteo de personal

- Horario-personas: el conteo deberá identificar el número de personas que se encuentran físicamente en el inmueble, durante un día típico y a diferentes horas del día. Se recomienda que el conteo lo realicen al menos dos personas empezando por la planta baja, ya que requiere menos esfuerzo descender un nivel que ascender.
- Horario de trabajo: generalmente los inmuebles cuentan con diferentes horarios de trabajo, por lo que se deberá anotar los dos de mayor importancia con relación al número de personas.
- Horario de comida: de igual forma que en el punto anterior, se deberá anotar los dos de mayor importancia.
- Observaciones: anotar cualquier actividad que pueda variar la ocupación del inmueble con respecto a la columna del número de empleados: cambio de turno, hora de entrada o salida, hora de comida, personal de vigilancia, etc.
- El censo de personal se justifica por que permite la preparación de un grafico que nos muestre el número de personas y demanda eléctrica media (KW) vs. tiempo en el cual se puede estimar la factibilidad de controlar el encendido y apagado del equipo de alumbrado.

c) Electricidad:

- Capacidad de la subestación: los inmuebles que se encuentren el la tarifo OM o HM deberán anotar la potencia del o de los transformadores que se encuentra en la subestación, en KVA. En caso de tener más de una subestación o transformadores, la capacidad será la suma de las capacidades individuales.
- Capacidad de las plantas de emergencia: se encuentra indicada en la placa del generador de la planta, por lo que se deberá anotar la potencia de operación continua en KW; en caso de tener la capacidad en KVA, anotar el factor de potencia (FP) correspondiente.
- Equipos de fuerza: anotar la carga total instalada en KW y el porcentaje en operación de los motores eléctricos destinados al proceso productivo, como son: motores de maquinas, molinos, bombas, ventiladores, etc., (evitar anotar motores de aire acondicionado).
- Equipos de iluminación: especificar la carga total en KW de los equipos de iluminación.

- Equipos conectados a contactos: especificar carga total instalada en KW y el porcentaje en operación de los equipos que se encuentran conectados a los contactos (computadoras, impresoras, fotocopiadoras, faxes, cafeteras, etc.).

d) Aire acondicionado

- Capacidad del aire acondicionado: en caso de contar con aire acondicionado, será necesario anotar la capacidad instalada de refrigeración, en toneladas de refrigeración, y la potencia eléctrica de los equipos.

5.2.2 Procesamiento de la información

Primero se tiene que revisar que la información recabada sea coherente, las variaciones fuertes deben estar bien justificadas, de no ser así es recomendable volver a hacer las mediciones para verificar y utilizar la más viable. El sistema de unidades utilizado debe de ser el recomendado en las NOM que en este caso es el sistema internacional.

Se debe de hacer la evaluación de eficiencias, consumos específicos y rendimientos, los cuales deben de tener valores lógicos.

Los balances constituyen una herramienta simple pero poderosa para el análisis energético de un proceso, ya que nos proporciona información de las magnitudes de entrada, salida y energía transformada.

5.3 FACTURACIÓN ELÉCTRICA

Las facturaciones eléctricas normalmente se basan en dos conceptos fundamentales:

1. El relativo a la demanda. (termino de potencia).
2. El relativo al consumo de energía. (término de energía) excepto para las tarifas domesticas, de alumbrado público y bombeo.

Conforme a las características del servicio de energía eléctrica requerido, el suministrador podrá otorgarlo en baja, mediana o alta tensión. Las redes de distribución en baja tensión se operan con los valores de suministro de 220/127V y el servicio de acuerdo con la carga se podrá suministrar en 1, 2 o 3 fases.

Para los suministros en media tensión se define como los que son mayores a 1KV pero menores o igual a 35 KV, principalmente se manejan valores de 13 KV, 23 KV y 34 KV. La alta tensión es aquella que se suministra con valores mayores a los 35 KV, los principales valores son, 66KV, 85KV, 115 KV y 400KV,

para este tipo de servicios el usuario tiene que instalar su propia subestación para transformar al voltaje de utilización requerido.

Las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica están estructuradas en función del uso de está, a la tensión del suministro y a la demanda por contratar que inicialmente fije el solicitante.

El monto de los costos depende del tipo de tarifa contratada, de la zona del país y en la mayoría de las tarifas industriales, del horario en que ocurren.

En las facturaciones de energía eléctrica se le agrega el cargo por bajo factor de potencia, cuando este sea inferior a 0.9, o la compensación cuando el valor sea superior (Ver CAPITULO 1).

Actualmente en la gran mayoría de las tarifas se le aplica un factor de ajuste, que refleja las variaciones de los precios de los combustibles utilizados para la generación eléctrica, así como el costo inflacionario, con la finalidad de mantenerlos actualizados.

5.3.1 Conceptos totales que integran una facturación eléctrica

1. Cargo por consumo de energía
 - a) Energía consumida total.
 - b) Energía facturable de punta, energía facturable de base y energía facturable intermedia.
 - c) Energía facturable de punta mínima, energía facturable de punta excedente y energía facturable de base.
2. Cargo por consumo de demanda
 - a) Demanda máxima medida.
 - b) Demanda facturable.
3. Facturación básica (1) + (2).
4. Cargo del 2%, servicio en alta tensión con medidor en baja tensión, (3) x 0.02.
5. Facturación normal (3) + (4).
6. Cargo o bonificación por factor de potencia, (5) x %.
7. Facturación neta, (5) + (8).
8. Bonificación o penalización por concepto de demanda ininterrumpible. (tarifa I-15 ó I-30).
9. Facturación neta bonificada o penalizada (7) + (8).
10. IVA.
11. Cargo por D.A.P. (Derecho por Alumnado Publico), (9) x % o salarios mínimos.
12. Facturación total, (9) + (10) + (11).

El costo de la energía y la demanda se ajusta mensualmente conforme al artículo 10-bis de las propuestas complementarias de las tarifas eléctricas.

5.4 ELABORACIÓN DEL DIAGNOSTICO

Las actividades principales a realizar en el edificio de cómputo y anexos son las siguientes:

- Identificación del edificio dentro del campus, Tabla 5.1.
- Reconocimiento de las áreas dentro y fuera del edificio, Tabla 5.2.
- Reconocimiento y ubicación de la acometida para el edificio.
- Reconocimiento y ubicación de la subestación para el edificio.
- Revisión visual de las instalaciones del sistema eléctrico de potencia (auditoria eléctrica conforme a la NOM-001-SEDE-1999).
- Mediciones y toma de datos del sistema eléctrico de potencia en la subestación respectiva, Tabla 5.3.
- Actualización de diagramas unifilares del sistema eléctrico de potencia.
- Actualización de los planos arquitectónicos del sistema eléctrico.
- Revisión y toma de datos del sistema de iluminación.
- Revisión y toma de datos de las cargas conectadas en el edificio.
- Revisión de la información recopilada durante el levantamiento de datos.
- Evaluación de los datos obtenidos a partir de cálculos y tablas de datos, comparando los resultados con las normas de instalaciones eléctricas (NOM-001-SEDE-1999), normas de densidad de potencia eléctrica máxima permitida para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales (NOM-007-ENER-1995 y PROY-007-ENER-2004) etc.
- Diagnostico de problemas encontrados en las mediciones del analizador de redes.
- Entrega de resultados para elaborar un mantenimiento correctivo y preventivo con respecto a lo observado en el sistema eléctrico y de iluminación del edificio.
- Entrega de resultados con una evaluación de un plan de ahorro de energía.

5.4.1 Equipo de medición utilizado para el diagnóstico energético

5.4.1.1 Analizador de redes eléctricas ION 7500

Para un análisis simple de las perturbaciones de líneas se utilizan los analizadores de redes eléctricas los cuales registran eventos y perturbaciones en la red de baja tensión. Este sistema permite capturar subidas y caídas (en nivel y duración), transitorios (simples, múltiples, entre fase y neutro, su posición relativa en la onda senoidal), cortes (ausencia de varios ciclos de la señal) y variaciones de frecuencia de la tensión de red. El registro de eventos se almacena en la base de datos y procesa información para posteriormente poder ser obtenida a través de una computadora con su correspondiente software.

Para obtener los datos se tendrán que colocar el analizador de redes principalmente en el secundario de los transformadores de alimentación teniendo al analizador tomando datos a lo largo de una semana para ser analizados posteriormente.

Dentro de las funciones específicas que realiza el analizador ION 7500 se tienen las siguientes:

Análisis de interferencias.- Las entradas dinámicas de carácter único mantienen la precisión de los ingresos en el rango de medición regular al mismo tiempo que captan las interferencias a gran escala que otros medidores no detectan. Descubre las fuentes de eventos de calidad de energía y de las armónicas así como de los sags/swells de voltaje.

Mediciones

- Precisión de ingresos superior a la de los sistemas de la Clase 0.2.
- Voltaje, corriente, frecuencia y factor de potencia instantáneos.
- Energía: bidireccional, absoluta, neta, tiempo de uso y compensación de pérdidas.
- Demanda: demanda prevista y térmica.
- Armónicas: distorsión armónica individual y total hasta la armónica 63 (127 con software).
- Detección de transitorios, 65 μ s a 60Hz, (78 μ s a 50Hz) y grabación de sags/swells.

Almacenamiento de Datos en memoria interna.

- Almacenamiento programado o por ocurrencia de eventos.
- Secuencia de eventos y cargas mínimas/máximas.

Ofrece todos los parámetros de energía tradicionales activos, reactivos y aparentes y pueden integrar cualquier parámetro de potencia instantánea para ofrecer mediciones de:

- KW/h producidos o recibidos.
- KW/h, KVAR/h, KVA/h neto (producido menos recibido).
- KW/h, KVARh, KVA/h total (producido y recibido).
- KVAR/h, KVA/h producido o recibido.
- Volts - hora y Amperes – hora.
- Integración de cualquier medición instantánea.

5.4.1.2 Terrómetro

Modelo 4105, marca Kyoritsu. Este equipo mide la resistencia a tierra que tiene el sistema, sirve para conocer la resistencia del terreno así como para medir la resistencia a tierra del transformador o del sistema de pararrayos. El equipo mide la resistencia a tierra en un rango de 0 hasta 2000 ohms, así como el voltaje a tierra del sistema.

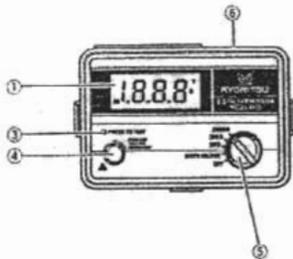


Fig. 5.1 Terrómetro Kyoritsu.

1. Pantalla de LCD.
2. Indicador de reemplazo de batería.
3. Led indicador de medición (verde).
4. Botón de pruebas.
5. Selector de rangos.
6. Terminales.

Una buena calidad de energía depende mucho de un buen sistema de tierra por lo que los rangos establecidos en las normas referentes a instalaciones eléctricas no deben ser sobrepasados, y si es posible se mejora ya que esto permite tener un buen suministro de energía e incluso ahorrar energía.

5.4.1.3 Pirómetro con miraláser

Marca Raytek modelo Raynger 3i. Un pirómetro óptico es un instrumento utilizado para medir la temperatura de un cuerpo. Funciona comparando el brillo de la luz emitida por la fuente de calor con la de una fuente estándar.

El pirómetro consta de dos partes: un telescopio y una caja de control. El telescopio contiene un filtro para color rojo y una lámpara con un filamento calibrado, sobre el cual la lente del objetivo enfoca una imagen del cuerpo cuya temperatura se va a medir. También contiene un interruptor para cerrar el circuito eléctrico de la lámpara y una pantalla de absorción para cambiar el intervalo del pirómetro.

Instrucciones de uso

Dirigir el objetivo y leer, así de sencilla es la medición de casi todas las temperaturas superficiales con el pirómetro. El pirómetro está indicado para mantenimiento en instalaciones de refrigeración y calefacción, en instalaciones eléctricas, en construcciones de vías, edificios, en fabricación de alimentos,... El medidor de temperatura sin contacto es ideal para medir en puntos de medición de difícil acceso y para componentes en movimiento. La zona a medir de un material se puede visualizar con gran precisión con el objetivo láser del pirómetro. De esta manera medirá sólo la zona del componente elegido.

5.4.1.4 Analizadores de armónicas GENIUS HT 5060

Este es un equipo que realiza el análisis de formas de onda y las armónicas tanto de voltaje como de corriente, además nos da un registro de las cantidades eléctricas en el momento de la medición.

El analizador de armónicas GENIUS HT 5060 tiene tres modos de trabajo disponibles en el instrumento:

- Medidor (meter): despliega en tiempo real el valor rms de las cantidades eléctricas principales del sistema y los efectos de su registro.
- Alcance (scope): despliega en tiempo real la forma de onda y los parámetros típicos de voltaje o corriente de fase efectuando el registro de anomalías en el voltaje.
- FFT (Fast Fourier Transform/Transformada Rápida de Fourier): despliega en tiempo real el valor de las componentes armónicas del voltaje o corriente de fase permitiendo su registro.

El instrumento es capaz de almacenar solo un registro a la vez y no puede almacenar simultáneamente un registro.



Fig. 5.2 Analizadores de armónicas GENIUS HT 5060.

5.4.1.5 Luxómetro

Luxómetro. Es un equipo de medición preciso y de rápida respuesta para medir la intensidad del flujo luminoso sobre un plano de trabajo.

El luxómetro empleado para medir los niveles de iluminación es el "AEMC Instrument Lightmeter, modelo 810" los componentes de sensibilidad a la luz son muy estables y de larga vida. La lectura de la medición se debe tomar a metro y medio y tratando de no hacer sombra para tener una adecuada medición. Tiene las siguientes características:

- Pantalla de cristal líquido digital (LCD).
- Medición en luxes o lúmenes.
- Medición desde 0.01 a 20,000 luxes / fc.
- Segura de retención de mediciones.
- Exactitud: < 10,000 luxes / fc: $\pm 3\%$; > 10,000 luxes / fc: $\pm 4\%$.
- Sensibilidad de espectro ajustada.

5.5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN EDIFICIOS

Dentro del diagnóstico energético, la iluminación tiene una relevante participación para el desarrollo del proyecto de ahorro de energía y calidad de energía. En un edificio donde se encuentran un número importante de oficinas la iluminación es muy importante durante el día y la noche, en ocasiones se cuenta con una excelente iluminación natural, pero no siempre es suficiente ya que dentro de un edificio grande se encuentran zonas donde son muy cerradas y por lo tanto la iluminación natural no es suficiente o incluso casi nulas. Por lo que normalmente en un edificio de este tipo el sistema de iluminación representa de un 60 % hasta un 90% del total de la carga consumida siempre y cuando no se encuentren equipos de aire acondicionado.

Se pueden obtener importantes ahorros en el consumo de energía con la implementación ya no solo de un mantenimiento sino de hasta un cambio de equipo, esto se puede realizar con ayuda de la nueva tecnología que se ha aplicado en los equipos de iluminación, donde puede representar un importante ahorro, incluso si se tiene la opción del cambio de equipo se podría recuperar la inversión por la adquisición de estos al término de un tiempo relativamente corto en comparación del tiempo de vida del equipo, y ya recuperada la inversión se podrían empezar a obtener ahorros significativos, todo esto al pagar menos en las facturas eléctricas.

El procedimiento para analizar el sistema de iluminación no solo es tener un censo de cargas de equipo eléctrico, su ubicación y clasificación, sino también se tendrá que analizar los niveles de iluminación para poder comparar los niveles recomendados en la norma NOM-025-STPS-1999 de la Secretaría del Trabajo o incluso con niveles recomendados por la Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación.

También se tendría que analizar la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) para edificios no residenciales con la nom-007-ener-1995, actualmente se tiene el proyecto de norma PROY-NOM-007-ENER-2004 y varía significativamente conforme a la anterior por lo que esperando que la norma cambie en poco tiempo se analizaran conforma a los parámetros del proyecto de norma.

La decisión que se toma al final del estudio es con el objetivo de no solo ahorrar energía, también se requiere ofrecer un mejor confort en iluminación, cumplir con normas de iluminación, y si se realiza un cambio en el equipo que este no afecte el sistema eléctrico de potencia al generar una mala calidad de la energía eléctrica.

5.5.1 Objetivos principales

Identificar las mejoras tecnológicas que se pueden implementar en el sistema de iluminación al sustituir los equipos convencionales por equipos de mayor eficiencia.

- Cuantificar el beneficio potencial (energético, económico y ambiental).
- Cuantificar los montos de inversión y la rentabilidad del proyecto a valor presente.

5.5.3.2 Recopilación de la información

Es importante tener bien definidos los equipos de iluminación utilizados, para poder determinar la carga que estos consumen y sus características técnicas. Es importante tener un censo de iluminación por zonas para hacer una mejor evaluación de la densidad de carga y del nivel de iluminación. Esta parte requiere de un conocimiento completo de iluminación para poder efectuar de manera más rápida la identificación de los equipos.

Es necesario tener de apoyo los planos arquitectónicos de iluminación, por lo que al actualizar los planos arquitectónicos y tener separadas las zonas y áreas de trabajo será también elemental actualizar la ubicación de las luminarias por áreas de trabajo principalmente, la actualización de los planos incluye cuadro de cargas e identificación de circuitos derivados que permitirán evaluar aparte que la instalación eléctrica este correcta de acuerdo a las normas de instalaciones eléctricas y en buenas condiciones.

5.5.2.1 Reconocimiento de áreas

En el edificio se encuentran varios laboratorios los cuales tienen diferentes áreas de trabajo y salones, también se cuenta con alimentaciones a los tableros independientes en unos laboratorios. Es necesario tener las áreas bien establecidas en los planos arquitectónicos para la mejor evaluación de las mediciones de los niveles de iluminación recomendados. Las áreas de trabajo se pueden clasificar de la siguiente forma:

Áreas de trabajo:

- Oficinas.
- Salas de junta o proyección.
- Área de dibujo.
- Salones de cómputo.
- Biblioteca, etc.

Áreas comunes:

- Recibidor.
- Pasillos.
- Cuarto de servicio.
- Bodega.
- Escaleras, etc.

La zonificación de áreas consiste en identificar el número de niveles que conforman el lugar, los diferentes espacios que se hallen por nivel, la determinación del tipo de actividad que se realiza en el espacio y asignarle una identificación. La zonificación de áreas debe llevar la siguiente información:

Zonas:

- Áreas de trabajo o áreas comunes.
- Superficie de cada área (m^2)
- Número de lámparas y apagadores.

5.5.2.2 Censo de alumbrado²

Es la parte más importante del levantamiento de datos, incluso del diagnóstico energético completo, se encuentra en esta actividad. De ello dependen las estimaciones de los potenciales de ahorro de energía estén bien sustentadas, por lo que es recomendable poner especial cuidado en la identificación y llenado del tipo de luminarios.

² Eficiencia energética en inmuebles, documento de la CONAE.

Para la captura de la información se deberán considerar los siguientes aspectos:

- **Localización de equipo en el edificio, nivel y zona**

Con base en la zonificación previamente realizada en los planos arquitectónicos, se realizara la localización de las luminarias. En el censo de los equipos de alumbrado se identificaran por edificio, nivel y zona. En caso de que exista más de un tipo de lámpara en la misma zona, se deberá indicar, repitiendo la clave del edificio, nivel y zona.

- **Código de equipos**

La codificación es la forma de identificar con claves el equipo de alumbrado. Cada fabricante tiene sus propias claves para designar a sus equipos. A fin de evitar el uso de códigos específicos de algún fabricante, podremos contar con una lista de códigos que identifican a los equipos de una forma genérica que relaciona la información técnica de estos.

Claves de equipo.

I Incandescente:

IC	Incandescente convencional.
IG	Incandescente convencional tipo globo.
IR	Reflector incandescente convencional.
IY	Lámpara de tungsteno halógeno (Yodo cuarzo).
IH	Reflector halógeno.
IA	Reflector halógeno con recubrimiento de aluminio.
ID	Lámpara halógena de bajo voltaje (dicroica).

F Fluorescentes:

FO	Lámpara fluorescente circular.
FL	Lámpara fluorescente tubular.
FH	Lámpara fluorescente de alta emisión.
FV	Lámpara fluorescente de muy alta emisión.
FU	Lámpara fluorescente tipo "U".

H Alta intensidad de descarga:

HA	Vapor de sodio alta presión.
HB	Vapor de sodio baja presión.
HM	Vapor de mercurio.
HD	Aditivos metálicos.
HL	Luz mixta.

- **Información adicional:**

La información se completará con los watts de operación, tipo de lámpara, el tipo de balastro que usa y si es posible la temperatura de color, basta con indicar si es amarillo caliente, blanco o blanco frío, el tipo de luminario si es empotrado o sobrepuesto.

Elementos del sistema de iluminación:

- Luminario (caja).
- Reflector.
- Lámparas – Balastros.
- Difusor o rejilla.
- Control de encendido.

Los sistemas de alumbrado más comunes que se han detectado en los inmuebles, son los que se muestran en la siguiente tabla:

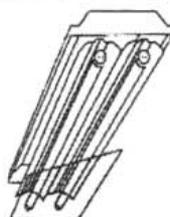
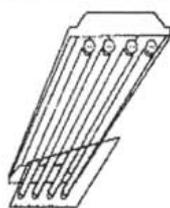
Tabla 5.4 Sistemas de alumbrado más comunes.

FLUORESCENTES	INCANDESCENTE Y HID
<ul style="list-style-type: none"> • 2X39 AI • 2X75 AI • 2X21 AI • 2X40 "U" AR • 2X40 AR 	<ul style="list-style-type: none"> • A19 (75 y 100W) • Tipo PAR (75 y 150W) • Halógenas (35 y 50W) • Cuarzo (500W) • VSAP, VAM

Dimensiones del luminario³.

Con base a las dimensiones del luminario se determina el sistema de alumbrado que se tiene instalado, tal como se muestra a continuación.

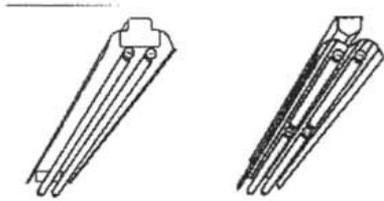
Tabla 5.5. Dimensiones de los luminarios.



Luminarios de 60x244 cm

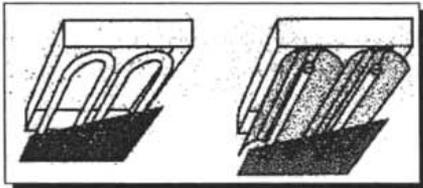
- Cantidad de lámparas
4, 3 ó 2
- Potencia de lámpara
75, 60 ó 59 W

³ Fuente: Catálogo de Futuralux.



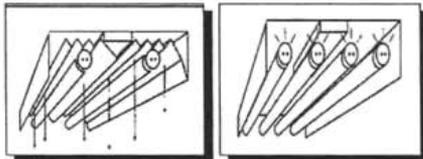
Luminarios de 30x244 cm

- Cantidad de lámparas
2 ó 1
- Potencia de lámpara
40, 39, 34, 32 ó 31 W



Luminarios de 60x60 cm.

- Cantidad de lámparas rectas
4, 3 ó 2
- Potencia de lámpara
20 ó 17 W
- Cantidad de lámparas en "U"
2 ó 1
- Potencia de lámpara
40, 32 ó 31 W



Identificación del balastro:

Tabla 5.6 Identificación de los balastos.

<p>Identificación por el número de cables</p> <p>Sistemas de arranque instantáneo 3 cables por lámpara</p> <p>Sistemas de arranque rápido 4 cables por lámpara</p>	<p>Fig. 6</p> <p>Fig. 7</p>
---	-----------------------------

- Mediante el código del balastro se obtiene todas las características técnicas del balastro y del sistema.
- Mediante el color de la etiqueta se puede conocer el tipo de balastro; por ejemplo:

Baja energía (azul turquesa)
 Ahorrador (verde)
 Electrónico (plata)

5.5.3 Identificación de los horarios de operación

Se deberá identificar el horario de operación y consumo máximo de energía del inmueble; éste ocurre cuando la mayor cantidad de equipo de alumbrado y aire acondicionado se encuentran operando. Una vez establecido el horario de demanda máxima, se debe identificar los equipos de alumbrado que permanecen encendidos durante este horario.

- Tiempo de uso de lunes a viernes (h/d).

Anotar el tiempo de uso promedio, en horas/día, del equipo de alumbrado de cada zona.

- Tiempo de uso en sábado (h/d).

Anotar el número de horas de operación del equipo de alumbrado de cada zona el día sábado.

- Tiempo de uso en domingo (h/d).

Aquí se multiplica por 5 el tiempo de operación de lunes a viernes y se le suman los tiempos de operación de sábado y domingo; hay que multiplicar el resultado por un valor de 4.34 (numero de semanas promedio en un mes) para determinar las horas de uso mensual de operación (h/mes).

$$\text{Tiempo de uso mensual} = 4.34 \times ((5 \times \text{lunes-viernes}) + \text{sábado} + \text{domingo})$$

En nuestro caso del proyecto a realizar se contara con la ayuda del analizador de redes para establecer los horarios de operación, con solo saber la carga del sistema de iluminación se podrá observar en que tiempo se encienden las lámparas y así establecer el horario con base a una medición de la carga.

Los formatos de la recopilación son de la forma siguiente como se muestra en la tabla 5.7:

Tabla 5.7 formato para recopilación del censo de alumbrado.

CENSO DE EQUIPO DE ILUMINACIÓN INSTALADO EL ELEDIFICIO Y ANEXO DE CENTRO DE COMPUTO								
UNAM, ENEP ARAGON, CTA				CENTRO DE COMPUTO				
NIVEL:	TIPO DE EDIF.	FECHA:	Carga tot. Conectada:					
Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo.	Pot (w)	No. de equipos	Uso Horario (Hrs/día)			Observaciones
					Lun.-Vie.	Sab.	Dom.	

5.5.4 Metodología para medición del flujo luminoso⁴

De acuerdo con la información obtenida durante el reconocimiento, se establecerá la ubicación de los puntos de medición de las áreas de trabajo seleccionadas, donde se evaluarán los niveles de iluminación.

Cuando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

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

Cuando se utilice exclusivamente iluminación natural, se debe realizar al menos una medición por cada área o puesto de trabajo.

5.5.4.1 Ubicación de los puntos de medición

Los puntos de medición deben seleccionarse en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo, de tal manera que describan el entorno ambiental de la iluminación de una forma confiable, considerando: el proceso de producción, la ubicación de las luminarias y de las áreas y puestos de trabajo, y la posición de la maquinaria y equipo.

Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A (número mínimo de zonas a evaluar) de la Tabla 5.8, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna B, (número mínimo de zonas a considerar por la limitación) de la Tabla 5.8. En caso de coincidir nuevamente el centro geométrico de cada zona de evaluación con la ubicación del punto focal de la luminaria, se debe mantener el número de zonas previamente definido.

⁴ Apéndice A de la norma NOM-025-STPS-1999

Tabla 5.8. Relación entre el índice de área y el número de zonas de medición.

ÍNDICE DE ÁREA	A) NUMERO MÍNIMO DE ZONAS A EVALUAR	B) NUMERO DE ZONAS A CONSIDERAR POR LA LIMITACIÓN
IC < 1	4	6
1 ≤ IC < 2	9	12
2 ≤ IC < 3	16	20
3 ≤ IC	25	30

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por la siguiente ecuación (5.1.):

$$Ic = \frac{x \times y}{h(x + y)} \quad (5.1)$$

Donde:

Ic = índice del área.

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

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

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

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

Las mediciones a realizar serán en horario de luz de día y en la noche, durante el día se realizaran tres mediciones; con luces encendidas y las persianas abiertas y cerradas; y con las persianas abiertas y luces apagadas tabla 5.9.

Tabla 5.9 Formato para datos de medición de los niveles de iluminación.

NIVELES DE ILUMINACIÓN					
Áreas		Día			Noche
Nivel	Zona	Pers. Cerradas	Persianas abiertas		Luces encendidas
		Luces encendidas	Luces encendidas	Luces apagadas	

5.5.4.2 Instrumentación

Se debe usar un luxómetro que cuente con:

- a) Detector para medir iluminación.
- b) Corrección cosenoidal.
- c) Corrección de color, detector con una desviación máxima de $\pm 5\%$ respecto a la respuesta espectral fotópica.
- d) Exactitud de $\pm 5\%$.

Se debe ajustar y operar el luxómetro al inicio y durante la evaluación, de acuerdo al manual del fabricante. El luxómetro deberá estar calibrado y contar con el documento de calibración vigente, de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

- El luxómetro empleado para medir los niveles de iluminación es el "AEMC Instrument Lighmeter, modelo 810" ya descrito anteriormente.

5.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

5.6.1 Equipo de alumbrado

Para el proyecto se realizarán una ubicación de los equipos de iluminación y los interruptores a través de planos de obra, con el objeto de actualizar la información que se tiene del edificio. Dentro del trabajo de actualización de planos de obra se podrá calcular las cargas conectadas en las que necesariamente se deberá incluir todo el sistema de iluminación.

De la revisión visual se localizarán fallas por, falta de mantenimiento, falta de equipo, estas observaciones se anexarán a las Tablas de identificación de equipo de alumbrado, se verificarán los tableros de alumbrado que integran el sistema, buscando principalmente fallas y problemas en los tableros que perjudiquen al sistema, se identificarán los circuitos derivados monofásicos que alimentan a las lámparas. Con los resultados obtenidos se podrán determinar las posibles oportunidades de ahorro de energía.

5.6.2 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado

También se realizará una comparación con la densidad de potencia eléctrica máxima permitida para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales (nom-007-ener-1995 y proy-nom-007-ener-2003), las normas de año de la publicación de la norma, pero las modificaciones y ampliaciones si aplican a las normas, y en la propuesta de modificación enfocado al ahorro de energía todas las normas vigentes son aplicables.

El cálculo se realiza por zonas independientes. La expresión 5.2 genérica para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga_total_conectada_para_alumbrado}}{\text{Area_total_iluminada}} \quad (5.2)$$

Donde la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) está expresada en W/m^2 , la carga total conectada para alumbrado está expresada en watts y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado.

A continuación se muestra la Tabla 5.10 de densidades de potencia para alumbrado del proyecto de norma próy-nom-007-ener-2004, en esta norma ya no se tiene factor de corrección por implantación de sistemas de control automático en el sistema de alumbrado, a cambio se tiene en el anexo final una tabla mas completa de los niveles de iluminación que se debe tener en las diferentes áreas y zonas aplicadas a este edificio, por lo que ya no se puede generalizar un solo nivel para una zona determinada ahora se tiene que dividir en áreas mas específicas, ver anexo B, Tabla 1.

Tabla 5.10 Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)⁵

Tipo de edificio	DPEA (W/m ²)
Oficinas	
Oficinas	14
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o Instituciones educativas	16
Bibliotecas	16
Establecimientos comerciales	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	20
Salas de cine	17
Teatros	16
Talleres de Servicio para Automóviles	16
Talleres	18
Hospitales	
Hospitales, Sanatorios y Clínicas	17
Hoteles	
Hoteles	18
Moteles	22
Restaurantes	
Bares	16
Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20

⁵ Tabla DPEA de la PROY-NOM-ENER-2004.

Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	13
Recreación y Cultura	
Centros de Convenciones	15
Gimnasios y Centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
Carga y Pasaje	
Centrales y terminales de transporte de carga	13
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	16

5.6.3 Niveles de iluminación recomendados

De las mediciones efectuadas se pondrá el máximo y mínimo encontrado en los planos de trabajo y se podrá comparar con los niveles recomendados por la norma nom-025-stps-1999, o por la lista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación, Asociación Civil, que se encuentra en el apéndice A de esta tesis.

Los niveles de iluminación son necesarios, para determinar si las lámparas necesitan un mantenimiento correctivo debido a que ya no funcionan o su vida útil ha terminado. También se podrá revisar que la instalación del sistema de iluminación sea la adecuada para el tipo de trabajo a desempeñar, para poder proponer un cambio en el equipo o incrementar el número de luminarias dentro de un área específica, con el fin de tener una adecuada iluminación.

5.7 IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES BASADO EN EL DIAGNOSTICO

Las soluciones comienzan a identificarse desde que se analizan los datos ya que refleja la contabilidad energética. Las mediciones ponen de manifiesto los puntos donde se tiene un mal uso de la energía y detectan los equipos o sistemas que conviene examinar.

Los balances de cuadros de carga (anexo I) revelan la deficiente utilización de la energía en los procesos y las posibilidades que existen de un mejor empleo. Por otro lado la obtención de datos por parte del analizador de redes muestra el uso global que se hace de la energía y la conveniencia, en su caso, de emprender mejoras que puedan mejorarla.

Con esta información se pueden definir las medidas que se pueden hacer sin necesidad de inversiones y las que requieren diferentes niveles de inversiones.

En términos generales en las plantas productoras la mayor parte del consumo se produce en tres grandes áreas que son los sistemas generales, los equipos y el transporte de energía.

El estudio técnico de las propuestas empieza con el examen de posibilidades, partiendo del estado en que se encuentra el sistema analizado, las tecnologías existentes que sean más eficientes y que se puedan utilizar como sustitución.

5.7.1 Contabilidad energética

Se puede realizar a distintos niveles, conociendo los consumos y costos energéticos en cada caso. Se puede realizar a un nivel de equipo, a unidades de producción o a nivel de planta, todo depende del grado de agregación con que se quiere el estudio. Entre los principales objetivos se tienen:

- La determinación de los consumos totales y específicos que permiten comparar los consumos de los equipos a los marcados de diseño y a los similares de otras plantas.
- La obtención de datos para los planteamientos de un programa de administración de energía.
- La obtención de estadísticas que nos permiten calcular el comportamiento dinámico de la planta.

Las características que debe de tener la contabilidad energética son:

- Rapidez para disponer de la información que permita tomar decisiones oportunas.
- Claridad para que su interpretación este al alcance de quienes requieran utilizarla.
- Ser congruente con los objetivos planteados.
- Ser rentable de manera que su costo quede pagado con los resultados que se alcancen.

El tipo de contabilidad energética a utilizar debe de estar en función de las variables que se quieran analizar. No existe ninguna regla fija que indique el método mas adecuado a seguir por lo que cada empresa establecerá el sistema mas adecuado a sus necesidades ya que en ocasiones interesa el total de la energía consumida, mientras que en otros es necesario relacionarla a la producción, a la calidad, a los costos, etc.

Es importante que se fijen los índices adecuados ya que son los que servirán como parámetros de control de los resultados que se vayan obteniendo y fijan los potenciales de ahorro posibles.

CAPÍTULO 6

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

Dentro de este análisis se podrá encontrar todo el trabajo efectuado en el edificio del centro de cómputo y laboratorios anexos, donde incluye el análisis a los datos obtenidos por los equipos de medición, y el análisis realizado a partir de las revisiones efectuadas al sistema eléctrico.

En el proceso de la realización de un estudio de calidad de energía, es muy importante el punto del análisis de la información ya que de los resultados obtenidos se podrá conocer la situación actual del sistema eléctrico y de iluminación del edificio.

Del análisis de los resultados se conocerán los hábitos de consumo, la demanda máxima y mínima de potencia, cantidad de carga instalada, pago de facturación, se conocerán los diferentes flujos de energía, desbalance de fases si lo hay y las deficiencias en el sistema eléctrico. También dentro del sistema de iluminación los problemas por falta de flujo luminoso y Densidad de Potencia Eléctrica en Iluminación (DPEA) para proponer mejoras en el sistema.

Ya determinados los puntos anteriores se determinan y propondrán actividades a seguir con el fin de establecer metas de ahorro de energía, y sobre todo un eficiente uso y consumo de la energía.

6.1 DATOS DEL INMUEBLE

El análisis fue realizado al centro de computo y anexos de la FES Aragón localizada en avenida Rancho Seco s/n, colonia Impulsora, cuenta con tres niveles (planta baja, 1º y 2º piso) y un área total de 1,730 m² de construcción, este edificio cuenta con una capacidad instalada de 200 Amperes y 2 transformadores conectados en delta- estrella, uno de 150 KVA y otro de 45 KVA.

Nota: Para información mas detallada consultar el anexo G

6.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE TRABAJO Y EL CENSO DE CARGAS E ILUMINACIÓN

Dentro del trabajo efectuado en campo, fue el hacer la identificación de áreas de trabajo en las que no se contaba con una referencia, por lo que se tuvo que medir cada zona, salón, oficina, taller, etc., del edificio del centro de cómputo, esto con el fin de tener una actualización de los planos arquitectónicos de los cuales solo existía un plano de conjunto el cual no tenia que ver con la actual separación de áreas de trabajo del edificio, además se actualizaron los planos del sistema eléctrico, desde el arquitectónico hasta los diagramas unifilares, todo esto con el fin de identificar y realizar de manera más rápida el censo de cargas e iluminación.

Después de identificar las zonas de trabajo se procedió a hacer el conteo de cargas para lo cual se reviso área por área el total de los equipos que se tenían conectados (computadoras, impresoras, fotocopiadoras, cafeteras, amplificadores de audio, televisores, etc.) aparte de el numero de luminarias instaladas, a partir de los datos obtenidos se realizó un inventario de todos los equipos conectados en el edificio.

Todos estos datos son utilizados durante todo el diagnostico de manera muy importante al hacer mediciones del flujo luminoso y el calculo de la DPEA, así como conocer que cargas son las que mas consumen energía eléctrica e influyen en una mala calidad en la energía eléctrica

Nota: Si se desea consultar las tablas del censo de cargas e iluminación la podrás encontrar en las tablas del anexo E.

6.3 ANÁLISIS DE FACTURACIÓN

Debido a que el cobro de la factura en la FES Aragón es global, a continuación se hace un análisis a través de los datos obtenidos por el analizador de redes y con los cuales se obtuvieron los valores de potencia activa, reactiva y aparente, basados en estos datos se realizo el calculo del costo de facturación en el centro de computo y anexos en un periodo comprendido del 28 de febrero al 28 de marzo del 2005.

Los datos promedio calculados son los que se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Facturación.

	KW/h	Precio (\$)	Costo por consumo (\$)
Base	308.784	0.5145	158.869368
Intermedia	3,884.312	0.6189	2,404.000697
Punta	1,283.636	1.9818	2,543.909825
Total	5,476.732		5,106.77989

Dentro de la tabla podemos observar los consumos y el precio de facturación en horas base, intermedia y pico durante el mes de marzo.

Nota: Se debe tomar en cuenta que este análisis es mero demostrativo ya que puede variar estos valores según la época del año, se tomaron los costos reales proporcionados por la compañía suministradora de energía a la FES Aragón.

6.4 DEMANDA FACTURABLE

La demanda facturable la podemos definir como:

$$DF = DP + FRI * \max(DI-DP,0) + FRB * \max(DB-DPI,0) \quad (6.1)$$

Donde:

- DP es la Demanda Máxima Medida en el Periodo de Punta.
- DI es la Demanda Máxima Medida en el Periodo Intermedio.
- DB es la Demanda Máxima Medida en el Periodo en el Periodo de Base.
- DI es la Demanda Máxima Medida en los Periodos de Punta e Intermedio.
- FRI y FRB son factores de reducción que tendrán los valores mostrados en la Tabla 6.2 dependiendo de la región tarifaria:

Tabla 6.2 Factores de reducción.

Región	Factores de Reducción	
	FRI	FRB
Central	0.300	0.150
Sur	0.300	0.150

De esta ecuación obtenemos que la demanda facturable es de **31.7545 KW** con un factor de potencia de **0.902**.

El costo de la demanda facturable es de **\$3,400.58**.

De lo anterior podemos encontrar la compensación por factor de potencia mayor a 0.9 el cual es de **0,0554%** con la cual se tiene un ahorro de **\$471.583664**.

Los precios y datos anteriores varían de acuerdo al mes del año en que se este haciendo el trabajo ya que los horarios de facturación dependen de los horarios de invierno (Tabla 6.3) y el de verano (Tabla 6.4) en este caso se realizaron los cálculos con forme al mes de marzo tomando en cuenta el horario de invierno.

El horario de verano comprende del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre.

Tabla 6.3 Horarios de facturación en el horario de verano.

Día de la Semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	00:00 - 06:00	06:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
Sábado	00:00 - 07:00	07:00 - 24:00	
Domingo y festivo	00:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

El horario de invierno comprende del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril.

Tabla 6.4 Horarios de facturación en el horario de invierno.

Día de la Semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	01:00 - 06:00	06:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	01:00 - 08:00	08:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 22:00
Domingo y días festivos	00:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

6.5 DIAGNÓSTICO GRÁFICO PARA EL ANALISADOR DE REDES

Dentro de nuestro análisis se realizaron las gráficas correspondientes al comportamiento del sistema eléctrico del centro de cómputo y anexos de la FES Aragón, para lo cual se utilizó el analizador de redes eléctricas ION-7500, el cual mide valores de corriente, voltaje, sags (disminuciones de voltaje de entre el 10 al 90% del valor nominal de tensión o la corriente), swells (incrementos de entre el 10 al 90% del valor nominal de la tensión o la corriente) y armónicos. Los datos son guardados en periodos de 15 minutos (ya que los valores tomados son instantáneos el analizador hace el promedio de las mediciones durante este lapso de tiempo), el analizador con los datos obtenidos realiza el cálculo de las potencias, factor de potencia y nos proporciona las variaciones de voltaje.

Tabla 6.5 Ejemplo de valores para corrientes proporcionados por el analizador de redes.

Local Time	I a mean	I b mean	I c mean
02/03/2005 0:00:00.000	11,714	0,853	10,869
02/03/2005 0:15:00.000	11,725	0,847	10,881
02/03/2005 0:30:00.000	11,746	0,811	10,881
02/03/2005 0:45:00.000	11,594	0,822	10,757

Tabla 6.6 Ejemplo de valores para voltajes proporcionados por el analizador de redes.

Local Time	VII ab mean	VII bc mean	VII ca mean	VII avg mean	V unbal mean
11/03/2005 13:00:00.000	225,361	224,912	224,921	225,064	167,485
11/03/2005 12:45:00.000	224,977	224,125	224,463	224,522	202,046
11/03/2005 12:30:00.000	224,325	223,374	223,899	223,866	189,801
11/03/2005 12:15:00.000	225,021	224,115	224,136	224,424	291,111

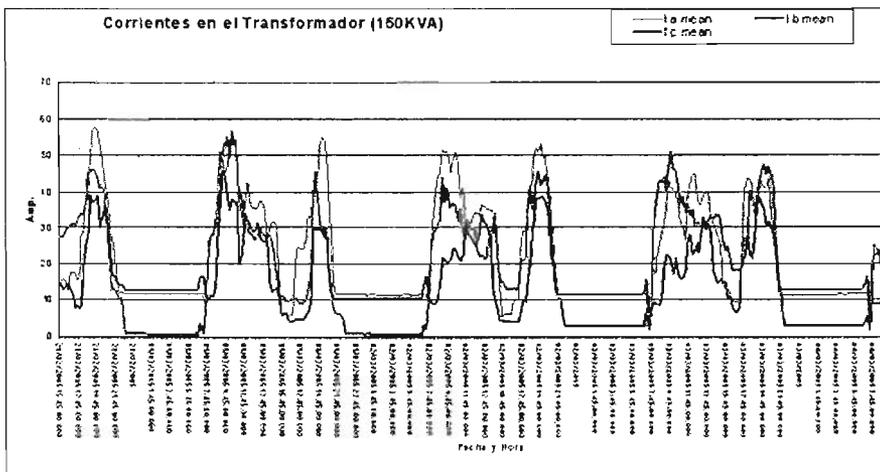
Tabla 6.7 Ejemplo de valores del porcentaje de armónicas proporcionados por el analizador de redes.

Local Time	THDV Máxima			THDI Máxima		
	V1 THD high	V2 THD high	V3 THD high	I1 THD high	I2 THD high	I3 THD high
11/03/2005 13:00:00.000	2,760	2,640	2,656	41,126	45,441	41,211
11/03/2005 12:00:00.000	2,894	2,371	2,566	46,859	42,164	43,294
11/03/2005 11:00:00.000	3,330	2,157	2,693	54,097	42,005	49,223
11/03/2005 10:00:00.000	3,985	2,336	2,737	65,402	39,377	57,252

Dentro de la gráfica 1 observamos el comportamiento de la corriente en el transformador de 150 KVA durante los días del 28 de febrero al 4 de marzo del 2005, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

- Los horarios en que empieza a funcionar el edificio: el inicio de actividades se da entre alrededor de las 7:00 hrs, pero las horas en que se empieza a elevar el consumo es alrededor de las 08:30 y 09:00 hrs. en que empiezan a llegar los empleados del edificio y concluye a las 21:00 hrs.
- Los consumos máximos se registran entre las 10:00 y las 11:00 hrs y de 19:00 a 20:00 hrs.
- Se observa una disminución de la carga de 15:00 a 17:00 hrs, horario de comida y cambio de turno.
- La fase c es donde se consume menor corriente en comparación con las fases A y B, la fase B durante la noche tiene valores aproximados a cero lo que nos esta indicando que es la fase utilizada para alimentar las cargas no lineales del sistema y las fases A y C se encargan de la iluminación nocturna así como de los servidores.
- El desbalance que hay entre las fases se encuentran fuera de norma NOM-001-SEDE-1999 la que permite un desbalance del 5% para la corriente y se pudo observar que es mucho mayor ese porcentaje, esto lo podemos observar mas detenidamente en la Gráfica 32 del Anexo F, donde nos muestra el porcentaje de desbalance que existe entre las fases.
- Sags y Swell: el voltaje mínimo presentado en el sistema fue de 93 volts (el analizador nos da el valor promedio de variaciones de voltaje promedio), esto representa que este fuera de norma ya que los voltajes mínimos permisibles para los sags son del 10% menos del valor nominal y para los swells del 5% mayor al valor nominal de corriente o de voltaje según la norma NMX-j-098-ANCE-1999.

- El día martes es donde se presentan los mayores consumos, en la cual hubo una demanda de 61.798 KW en la fase A, 49.241KW en la fase B y 44.645 KW en la fase C.
- Se pudo observar el comportamiento de las potencias, el consumo máximo promedio de las tres fases de potencia activa fue de 17.32 KW con una potencia reactiva de 5.425 KVAR y una potencia aparente de 17.614KVA presentándose el día martes 1 de marzo del 2005 a las 10:15hrs
- Se encontró que el desbalance esta fuera de la NOM-001-SEDE-1999, la cual permite un máximo del 5%, consultar grafica 33 del Anexo F.
- La corriente máxima presentada en la fase a fue de 57.417amperes presentándose el martes 28 de febrero a las 19:30hrs, en la fase B fue de 55.051 amperes presentándose el martes 1 de marzo a las 09:45 hrs y en la fase C fue de 45.658 amperes presentándose el día 1 de marzo a las 9:15 hrs.

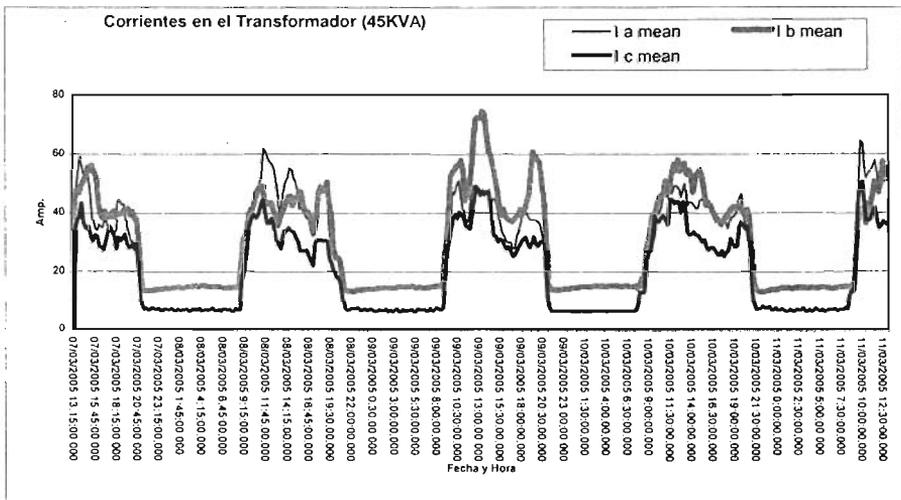


Gráfica 1 Comportamiento de la corriente en el transformador de 150 KVA.

Dentro de la Gráfica 2 observamos el comportamiento de la corriente en el transformador de 45 KVA durante los días del 7 de marzo al 11 de marzo del 2005, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

- El transformador de 45 KVA empieza a elevar su nivel de potencia alrededor de las 09:00 hrs.
- Se encontró que el desbalance esta fuera de la NOM-001-SEDE-1999, la cual permite un máximo del 5%, consultar Grafica 34 del Anexo F.

- Sags y Swell: se observo un mayor número de sucesos, se pudo observar diversas caídas de voltaje siendo la mas significativa el día 8 de marzo en que el voltaje llevo a ser de 91 volts, lo cual nos esta indicando que esta fuera de norma ya que el voltaje minimo es del 10% menor al valor nominal.
- Los consumos máximos se presentaron el día miércoles a la 13:30 hrs, con 47,298 KW en la fase A, 74,574 KW en la fase B y 47,557 KW en la fase C.
- Las potencias activa máxima fue de 19.905 KW, la potencia reactiva fue de 1.409 KAR y la potencia aparente fue de 19.955 KVA, estos valores se presentaron el día miércoles 19 de marzo a las 13:30 hrs.
- La corriente máxima presentada en la fase A fue de 61.798 amperes presentándose el martes 8 de marzo a las 11:30 hrs, en la fase B fue de 74.574- amperes presentándose el miércoles 9 de marzo a las 12:45 hrs y en la fase C fue de 49.123 amperes presentándose el día 8 de marzo a las 13:30 hrs.



Gráfica 2 Corrientes en el transformador de 45 KVA.

NOTA: Si se desea hacer un análisis más detallado o consultar los datos necesarios para corroborar estos resultados consultar las graficas del anexo F.

6.5.1 Análisis de las armónicas respecto a las mediciones realizadas con el analizador de redes

El analizador de redes ION 7500 midió la distorsión armónica total (THD) que entraba a los transformadores de 150 y 45 KVA dando un valor promedio de las mediciones que se obtenian en lapsos una hora a lo largo de una semana, se obtuvieron los THD totales por fase de voltaje y corriente.

Si verificamos los niveles permitidos de las armónicas en la tabla correspondiente, a voltajes de 120-69 KV con una relación $I_{cc}/I_L < 20$, se observa en la Grafica 29 para el transformador de 150 KVA y en la Grafica 30 para el transformador de 45 KVA del Anexo F, lo siguiente:

Tabla 6.8.IEEE 519 Limites en la Distorsión de la Corriente.

I_{cc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
100<1000	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Como solo se tomó en las mediciones el THDI por fase, la tabla nos indica un máximo del 5 % de esta medición, en la gráfica podemos observar como todas las mediciones están por encima de este rango, se observa en la fase B como se dispara las armónicas por las noches, al no haber carga instalada estas armónicas solo pueden estar generadas por la iluminación exterior que se enciende en horarios ya no laborables.

Para horarios laborables se tienen las siguientes mediciones en el transformador de 150 KVA: los máximos niveles de armónicas fueron medidos el día martes, donde se tomaron, en la fase A un nivel promedio de 53.682 % a las 15 horas, en la fase B un nivel promedio de 42.873 % a las 8 horas y en la fase C 43.166 % a las 19 horas. El nivel mínimo obtenido también es del día martes con 10.624 % a las 10 horas.

Se observa en la gráfica que los días de más actividad es el martes y miércoles manteniendo gran actividad de generación de armónicas, pero a lo largo de la semana se mantienen los niveles dentro de los máximos y mínimos lo que representa un nivel alto en comparación del 5 % que se marca como mínimo.

Para el transformador de 45 KVA se observa en las mediciones tomadas a lo largo de la semana como igual al anterior en las noches se disparan los niveles de armónicas por efecto de la iluminación exterior en la fase C. Pero en los horarios de trabajo se observa que se obtuvieron un máximo de 47.353 % y 44.639 % de 13 a 14 horas el día lunes en las fases A y B respectivamente; en la fase C se obtuvo un máximo de 93.323 para el día martes a las 9 horas. Los niveles mínimos registrados fueron para la fase A de 25.05 % el día jueves a las 9 horas y para las fases B y C de 28.9 % a las 9 horas y 30.02 a las 12 horas respectivamente el día miércoles.

Se puede observar en la gráfica para el transformador de 45 KVA que los días de más actividad para la generación de armónicas son el martes y viernes. A lo largo de la semana se carga la generación de armónicas al horario de apertura del anexo del centro de cómputo que al encender las computadoras se tienen mediciones altas y a lo largo del día se mantienen dentro de los niveles máximos y mínimos medidos.

Dentro del análisis para los niveles de THDV se analizan las graficas 27 y 28 del Anexo F, correspondientes al transformador de 150 y 45 KVA respectivamente para los valores promedio de una hora en cada fase. De la Tabla 4.6. Límites de distorsión de Voltaje según IEEE 519, con un voltaje de barra en el punto de acoplamiento común de hasta 69 KV se tiene una distorsión individual del 3 % y una total del 5 %. Del análisis grafico se obtiene lo siguiente:

El valor máximo registrado en el transformador de 150 KVA en la semana es de 4.196 % en la fase A en horario no laboral por lo que estos niveles se encuentran dentro del rango de los límites de distorsión de voltaje, se observa a lo largo de la semana como se mantienen dentro de este limite e incluso se tienen niveles por debajo del 4 % en horarios de intensa actividad.

El valor máximo en el transformador de 45 KVA también esta por debajo del nivel del limite de distorsión de voltaje, no rebasa el 3.5 % a lo largo de la semana. Por lo que este transformador como el anterior no tiene problemas de distorsión de voltaje.

Los niveles de distorsión armónica de corriente son los que tienen graves problemas al tener niveles altos pero ayuda que en el voltaje no se encuentran altos niveles en las mediciones realizadas. Esto nos lleva al análisis del factor K que se obtiene de las armónicas de corriente y se tienen los siguientes análisis derivados de las Gráficas 31 y 32 del Anexo F.

Para el transformador de 150 KVA se obtuvieron promedios del factor K para las fases teniendo en la fase A un promedio aproximado de $K=12$ en la fase B $K=6$ y en la fase C $K=9$. Las pérdidas por corriente circulantes por efecto de las armónicas son muy altas en el transformador ya que en transformadores secos las pérdidas por corrientes circulantes en el devanado de baja tensión resultan en puntos calientes en ese devanado. Si se emplea un transformador seco con factor $K = 1$ para alimentar corrientes con alta distorsión armónica en esos puntos calientes la temperatura se puede elevar en forma peligrosa sobre todo si se observa que hay niveles altos por largos periodos de tiempo en donde alcanza incluso un alto nivel del factor K como en el día martes en la tarde donde alcanzo un factor K de 40.

Para el transformador de 45 KVA se obtuvieron también los promedios dando como dato los siguientes resultados: en la fase A, $K=3.7$, en la fase B, $K=4.2$, y, en la fase C, $K=7.7$; teniendo en comparación con el otro transformador un menor factor K, aun así se considera un alto factor de perdidas por efecto de las corrientes circulantes en el transformador pero en este caso al ser un transformador de enfriamiento por aceite no se calienta tanto y soporta más el efecto de las armónicas. Las armónicas en este sistema representan un grave problema ocasionando perdidas grandes por efecto del calentamiento de los transformadores y a las cargas que están conectadas a este sistema, principalmente las computadoras ya que son las principales generadoras de este problema y las principales afectadas.

6.6 ANÁLISIS CON EL MEDIDOR DE ARMÓNICAS, GENIUS HT 5060

6.6.1 Análisis de Armónicas en el Transformador de 150 KVA

Con este medidor de armónicas se pudieron obtener las distorsiones de armónicas individuales hasta la 63, así como la distorsión armónica total por cada fase, se realizó un análisis un poco más detallado pero solamente se pudo tener una sola medición, pero esta se efectuó en un día y hora de mucha demanda de energía estos son los resultados obtenidos.

Se puede observar la onda de voltaje y corriente en las Gráficas 35, 36, 37 y 38 (anexo F) para el transformador de 150 KVA, donde la onda de voltaje en las tres fases no se encuentra tan distorsionada y la de corriente solamente un poco.

Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.9 Datos obtenidos del GENIUS para el transformador de 150 KVA.

Valor	FASE A	FASE B	FASE C	NEUTRO
Vrsm	120.46	121.24	122.16	120.2
S(kVA)	5.1	4.59	2.45	2.81
thd(V)	3.16	2.83	2.82	3.11
P(kW)	4.79	4.38	2.34	1.99
Irsm	42.33	37.86	20.05	23.37
Q(kVAR)	1.73	1.37	0.71	1.98
thd(I)	17.75	14.16	23.98	60.08
kVA _{reac}	3.26	2.63	1.18	0.64
cosFI	0.94	0.95	0.96	0.71
dPf	0.95	0.96	0.98	0.83

Como en el análisis anterior la distorsión de voltaje no está tan alta, está por debajo del 5 % requerido, pero la de THDI sigue estando alta. Para un análisis más detallado se tienen las gráficas 39, 40, 41, 42 del Anexo F donde podemos observar hasta las 63 componentes armónicas, la 64 representa la THDI total.

De igual forma tomamos como referencia para voltajes de 120-69kV con una relación $I_{cc}/I_L < 20$. Se analizan principalmente las armónicas impares ya que las pares casi no ocasionan problemas en el sistema, y un análisis más profundo las armónicas múltiplo de tres que son las que afectan principalmente en la línea del neutro del sistema.

Para el transformador de 150 KVA, tenemos que en la tercera armónica y la quinta rebasan los límites de distorsión que es del 4 %, como en la fase C encontramos un 19.15 % en la tercera armónica y 13.52 % en la quinta. En el rango de las componentes que van de la 11 a la 23 solo la fase C rebasa el límite con un 2.11 % cuando el límite marca un 2 % los demás rangos están dentro de los límites individuales de armónicas.

El problema se presenta mas en el neutro del sistema donde encontramos que se suman las armónicas múltiplo de tres principalmente la tercera que alcanza un valor del 57.86 % y la novena con un 8.04 %, la quinta armónica se mantiene en su valor máximo de 13.52, esta no se ha sumado pero sigue rebasando el limite de distorsión armónica.

La distorsión armónica total en el transformador de 150 KVA es de 17.75 %, 14.16 %, 23.98 % y 60.08 % para las fases A, B, C y N respectivamente que al compararlas con los datos del analizador de redes tenemos son mas bajos pero aun así se están rebasando los limites de corrientes armónicas totales sobre todo en el neutro del sistema que es la mas alta y la que no se pudo medir con el analizador de redes y se comprueba que las armónicas perjudican principalmente al neutro del sistema como se había explicado en el Capítulo 4, donde nos indica que la suma de corrientes armónicas impares múltiplo de tres se suman e incrementan su valor en el neutro del sistema.

Las pérdidas ocasionadas por las armónicas en el sistema se pueden observar con un cálculo del factor K (Tabla 6.2), donde se observa que no es muy alta la distorsión ocasionada por las armónicas y el valor real de la corriente no esta muy alejada del valor de la primera armónica, solo en el neutro es donde la corriente se incrementa considerablemente llegando a un factor K de 8.4.

Tabla 6.10 Calculo del factor K para el transformador de 150 KVA.

	FASE A	FASE B	FASE C	NEUTRO
Factor K	1.64205762	1.4964252	2.07874528	8.45266403
Irms	42.33	37.86	20.05	23.37
I real	42.9917678	38.239673	20.6203629	27.2641634

6.6.2 Análisis de armónicas en el transformador de 45 KVA

Se puede observar la onda de voltaje y corriente en las Gráficas 43, 44 y 45 para el transformador de 45 KVA, donde la onda de voltaje en las tres fases no se encuentra tan distorsionada y la de corriente si se observa una deformación muy importante en las ondas de las tres fases.

No se pudo obtener datos del neutro en el transformador debido a que las conexiones existentes en este nodo no permitieron una medición adecuada por lo que no se pudo analizar esta parte, pero tomando en cuenta al análisis anterior y la teoria se podrá deducir como se encuentra el neutro en cuanto a su distorsión armónica de corriente.

Tabla 6.11 Datos obtenidos del GENIUS para el transformador de 45 KVA.

Valor	FASE A	FASE B	FASE C
Vrsm	128.21	128.3	128
S(kVA)	3.22	3.71	4.7
thd(V)	3.11	3.04	3.31

P(kW)	2.65	2.72	4.5
I _{rsm}	25.12	28.93	36.72
Q(kVAR)	1.83	2.52	1.36
thd(I)	14.9	85.68	24.14
kVA _{reac}	0.08	1.74	0.61
cosFI	0.82	0.73	0.96
dPf	0.83	0.96	0.99

La distorsión de voltaje no está tan alta esta por debajo del 5 % requerido. Y se observa una alta distorsión total de corriente sobre todo en la fase B donde alcanza un valor muy elevado.

Para el transformador de 45 KVA, en las fases A y C se encontró una elevada distorsión en la tercera armónica, y en la fase C en la quinta armónica. La fase B es donde casi todas las armónicas impares pasan el nivel de distorsión sobre todo las primeras 11 armónicas en donde se tiene una medición muy elevada como en la tercera armónica que es del 68.8 %.

La distorsión armónica total en el transformador de 150 KVA es de 14.9 %, 85.68 % y 24.14 % para las fases A, B y C respectivamente que al compararlas con los datos del analizador de redes se tiene niveles aproximados sobre todo en el máximo registrado en la fase B.

Las pérdidas ocasionadas por las armónicas en el sistema se pueden observar con un cálculo del factor K (Tabla 6.4), en la fase B se tiene un considerable incremento en la corriente que es de casi 10 amperes, toda esta corriente es la que causa problemas en el transformador causando principalmente un deterioro en la vida útil.

Tabla 6.12 Cálculo del factor K para el transformador de 45 KVA.

	FASE A	FASE B	FASE C
Factor K	1.375967	14.76308	2.120525
I _{rms}	25.12	28.93	36.72
I _{real}	25.39938	38.0987	37.77591

Analizando el neutro del sistema se deduce un grave problema, sobre todo el causado por las armónicas múltiplos de tres y el más significativo sería la tercera armónica que al sumarse representaría casi el 100 % de distorsión. Este nivel en el neutro del sistema si es un grave problema que incluso se observa en los barras del neutro de los tableros de distribución un sobrecalentamiento en los cables, que a la larga se ha deteriorado la instalación eléctrica físicamente, y que conforme pase el tiempo también incrementaría problemas en el transformador.

6.6.3 Transformadores reguladores para el centro de cómputo

Estos transformadores son por cada fase que alimentan a contactos del centro de computo estos transformadores son alimentados por el transformador de 150 KVA y se tomaron mediciones en el tablero de alimentación y en las salidas a circuitos derivados, de inicio se pudo medir un incremento elevado de temperatura de los transformadores por lo que se estima que reciben una alta cantidad de armónicas y ya no pasan al transformador de 150 KVA generando estas el calor medido en estos transformadores.

Tabla 6.13 Datos obtenidos del GENIUS para la salida en el transformador regulador.

Valor	FASE A	FASE B	FASE C
Vrsm	128.03	127.73	127.73
S(kVA)	3.42	3.58	2.36
thd(V)	3.29	2.98	2.94
P(kW)	2.36	3.44	1.56
Irsm	26.73	28.03	18.46
Q(kVAR)	2.48	1.01	1.76
thd(I)	95.58	28.45	104.46
kVA _{reac}	1.65	1.19	1.22
cosFI	0.69	0.96	0.66
dPf	0.95	1	0.95

Se observa en las Gráficas 49, 50 y 51 (Anexo F) correspondientes a las ondas de voltaje y corriente, como el voltaje si presenta variaciones en su señal de onda pero a pesar de esto no rebasa los límites de distinción de voltaje (Tabla 6.5), pero la señal de onda de la corriente si presenta una deformación muy significativa por lo que su THDI es muy alta como se observa en la Tabla 6.5 que es de hasta mas del 100 % en la fase C.

Analizando la distorsión armónica individual se observa en las graficas 52, 53 y 54 los porcentajes que son muy elevados todos en las armónicas impares y con un alto valor en las tercera, quinta y séptima armónica, sobre todo en las fase A y C la fase B casi no presenta estos problemas pero aun así es elevado su nivel de armónicas en la tercera y quinta. Su factor K por lo tanto también es muy elevado generando mucho calor, decremento en su vida útil y elevando la corriente circulante hasta del doble de la fundamental (tabla 6.6).

Tabla 6.14 Calculo del factor K para la salida en el transformador regulador.

	FASE A	FASE B	FASE C
Factor K	20.83894	1.898925	25.63926
Irms	26.73	28.03	20.05
I real	36.97759	29.14391	53.632

Estos transformadores sirven de filtro para el transformador ya que se observa en las graficas 55, 56 y 57 (Anexo F) un mejoramiento de las señales de ondas, solo un poco de distorsión en la fase B tanto en el voltaje como en la corriente. La distorsión en el voltaje disminuye a comparación de la salida de estos transformadores.

Las distorsiones individuales en la corriente (Gráficas 58, 59 y 60) también disminuyeron considerablemente solo se presentaron altas mediciones de distorsión en la tercera y quinta armónica en las tres fases. Este análisis verifica el efecto de las armónicas en relación al calentamiento de los reguladores que a su vez filtran la señal y no permiten que todas las armónicas generadas pasen al transformador, pero estos transformadores se verán seriamente dañados con el paso del tiempo.

Tabla 6.15 datos obtenidos del GENIUS para la salida en el transformador regulador.

Valor	FASE A	FASE B	FASE C
Vrsm	128.16	128.47	127.75
S(kVA)	2.74	2.04	1.94
thd(V)	3.31	4.3	2.89
P(kW)	2.58	0.43	1.52
Irsm	21.36	15.91	15.17
Q(kVAR)	0.93	2	1.21
thd(I)	16.5	20.49	15.33
kVA _{reac}	1.76	0.05	0.05
cosFI	0.94	0.21	0.78
dPf	0.95	0.22	0.79

La distorsión armónica total sigue siendo alta en la entrada del transformador que es la principal aportación de armónicas al transformador de 150 KVA, Tabla 6.7 el factor K calculado es bajo en comparación con el obtenido en la salida del transformador.

Tabla 6.16 Calculo del factor K para la salida en el transformador regulador.

	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Factor K	1.549606	1.971495	1.575352
Irms	21.36	15.91	15.17
I1rms	21.65165	16.2456	15.51384

6.7 AUDITORIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Las tensiones normalizadas que se encuentran en la instalación son las siguientes, de acuerdo a la **NMX-J-098-ANCE-1999. Tensiones normalizadas:**

La tolerancia de la tensión eléctrica nominal de utilización está en función de la tensión eléctrica máxima de servicio y la caída máxima permisible en la instalación del usuario.

Baja tensión:

- 3 fases, 4 hilos; 220 Y/127. Máximo 231/133.3, mínimo 198/114.3. Tensión eléctrica nominal de utilización: 208 Y/120.
- 3 fases, 3 hilos la norma de 1999 da como tensión establecida de 480 pero se considera la tensión congelada que es de 440. Los datos de tablas son de 480; máximo 504; mínimo 432; tensión eléctrica de utilización 460.
- Tensiones eléctricas congeladas: valores de tensión eléctrica nominal normalizada existentes en secciones del sistema eléctrico que no tienen crecimiento y se eliminan progresivamente, hasta su desaparición, mediante la conversión a la tensión eléctrica preferente más próxima.
- Media tensión: Tres fases tres hilos a 23 KV; máximo: 24,150; mínimo: 20,700.

El sistema eléctrico de potencia que alimenta al edificio de cómputo comprende las siguientes secciones:

- Tiene una acometida de 23 KV que llega a la subestación principal del edificio de mantenimiento, conectándose a las cuchillas fusible encerradas en un gabinete marca SELMEC, que alimenta a un transformador marca DEEMSA de 750 KVA, Fig. 6.1.



Fig. 6.1 a) Gabinete con cuchillas fusible, b) Transformador de 750 KVA.

Del transformador tenemos la diferencia de tensión eléctrica en el secundario de 440 volts con una conexión delta – delta. Esta protegido el secundario del transformador con dos interruptores termomagnéticos de 1600-1200 y 700 Amperes conectados en serie. Cabe señalar que durante revisiones anteriores a la subestación realizadas por el Laboratorio de Diagnostico Energético del Centro Tecnológico se localizaron puntos calientes en el interruptor termomagnético de 700 Amperes marca Federal Pacific, lo que derivó en un problema de calentamiento de una fase y el departamento de mantenimiento tuvo que reemplazar parte del cable ante debido a las serias averías que sufrió el cable en la terminal del interruptor, Fig. 6.3 y 6.4.

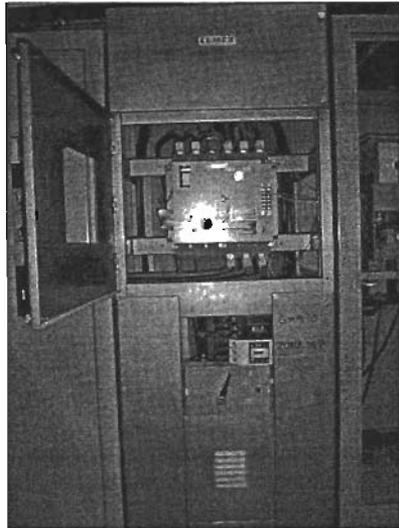


Fig. 6.2 Tablero de distribución con interruptor principal de 700 Amperes.

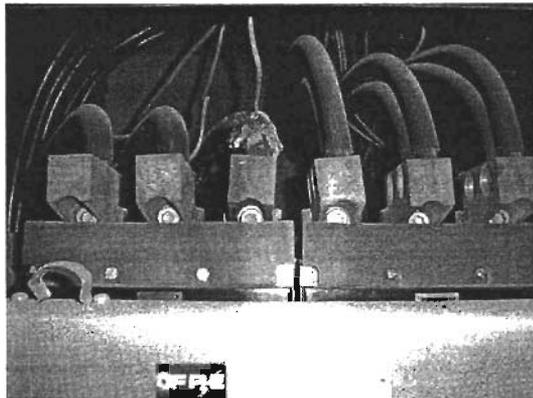


Fig. 6.3 Punto caliente en el interruptor Federal Pacific.

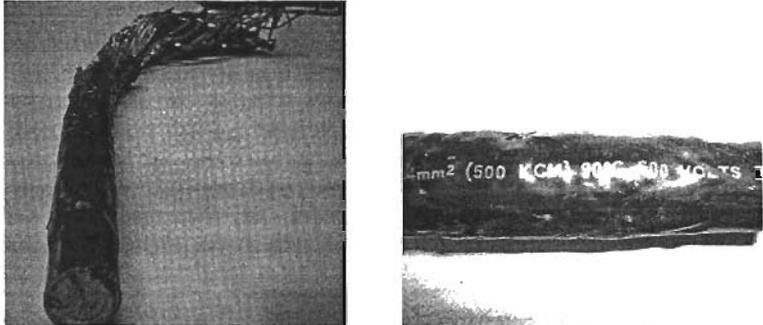


Fig. 6.4 Problemas causados por el punto caliente en el interruptor.

Del gabinete marca ELMEX se deriva el circuito de alimentación a 440 que llega a la subestación del centro de cómputo, el circuito tiene un interruptor automático (bracker) de 200 Amperes, Fig. 6.5.

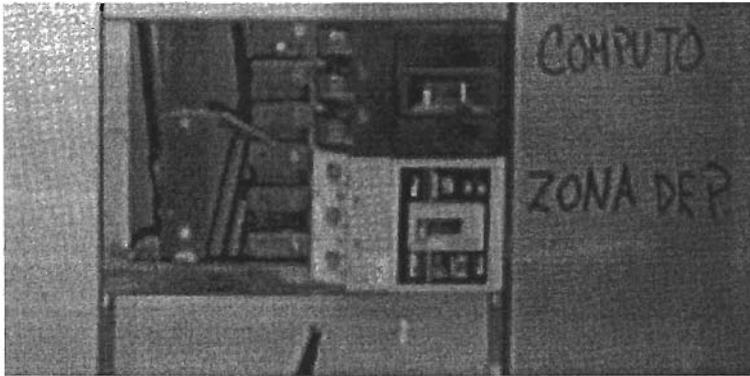


Fig. 6.5 Circuito derivado a 440 para Edif. del Centro de Cómputo.

El diagrama unifilar del sistema eléctrico de alimentación se encuentra en el anexo I, dentro del cual se localizan los detalles de los circuitos derivados que alimenta el transformador de 750 KVA.

Los problemas que ocasiono el calentamiento del cable fueron ocasionados por una falta de mantenimiento, ya que con el tiempo los prisioneros del interruptor se pudieron haber aflojado o el interruptor principal ya presenta puntos calientes dentro de la caja moldeada, por lo que siempre es recomendable cada año apretar estos prisioneros para evitar este tipo de problemas sobre todo cuando son interruptores que manejan altas corrientes.

6.8 REVISIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO DEL CENTRO DE CÓMPUTO Y ANEXOS RESPECTO A LA NOM-001-SEDE-1999

Los siguientes señalamientos de problemas de la instalación eléctrica están basados conforme a la norma de instalaciones eléctricas vigente, la revisión de la instalación eléctrica se elaboro de una revisión y reconocimiento del sistema eléctrico requerido en la metodología de diagnostico presentado anteriormente.

Se presenta el párrafo y la referencia exacta del capitulo donde se encuentra en la norma, se apoya con comentarios y algunas fotografías tomadas durante la revisión visual.



Fig. 6.6 Subestación del edificio del centro de cómputo y anexos.

6.8.1 Evaluación conforme a normas

El equipo eléctrico debe estar firmemente sujeto a la superficie sobre la que vaya montado. No se deben utilizar "taquetes" de madera en agujeros en ladrillo, concreto, yeso o en materiales similares (110-13). En varios puntos se localizó la utilización de taquetes de madera.

Las conexiones eléctricas se hacen por medio de conectadores o uniones a presión en todas las conexiones no se observaron que se tuvieran conexiones soldables (110-14). El aislamiento de empalmes en la red eléctrica subterránea sufre de deficiencias en la red a 440 ya que no ofrece una buena protección y causa de electroendósmosis¹ en los cables y corto circuito con la existencia de agua en temporada de lluvias, Fig. 6.7.

¹ Efecto de un campo eléctrico en la difusión del agua a través de una membrana o de un gel.

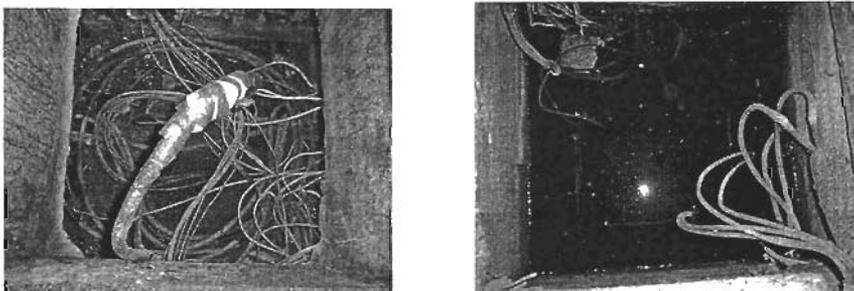


Fig. 6.7 Registros eléctricos con problemas de inundación.

El espacio de trabajo que se debe tener alrededor del equipo eléctrico para acceso y trabajo es de un mínimo de 80 cm (110-16). Además de las dimensiones expresadas en la Tabla 6.1, el espacio de trabajo no debe ser inferior a 80 cm de ancho delante del equipo eléctrico.

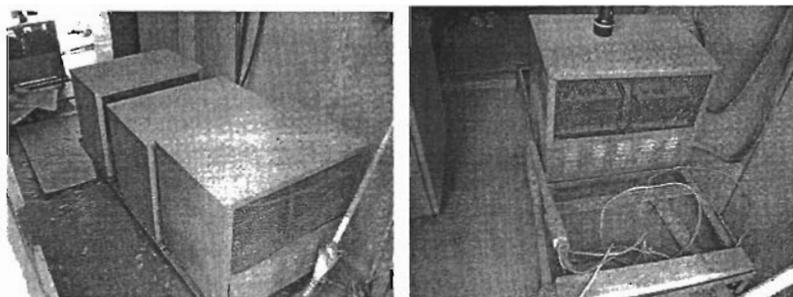


Fig. 6.8 Falta de espacio en la subestación.

Tabla 6.17. Distancias de trabajo.

Tensión eléctrica nominal a tierra (V)	Distancia libre mínima (m)		
	Condición 1	Condición 2	Condición 3
0-150	0,90	0,90	0,90
151-600	0,90	1,1	1,20

Los espacios que se han establecido como área de trabajo no se deben de usar como almacén (110-16, b).

Debe de haber una iluminación apropiada, con una altura de los espacios de trabajo no menores a 2 metros (110-16, d). En el caso de a subestación del centro de computo la iluminación no funciona y en algunas áreas no se tiene buena visibilidad para trabajos de mantenimiento.

Las entradas a los cuartos deben tener señales preventivas que prohíban la entrada a personal no identificado. Cuando la tensión eléctrica supera los 600 volts debe haber señales preventivas permanentes y visibles en las que se indique lo siguiente.

"PELIGRO ALTA TENSION ELÉCTRICA PROHIBIDA LA ENTRADA"

6.8.1.1 Alambrado y protección. Disposiciones generales

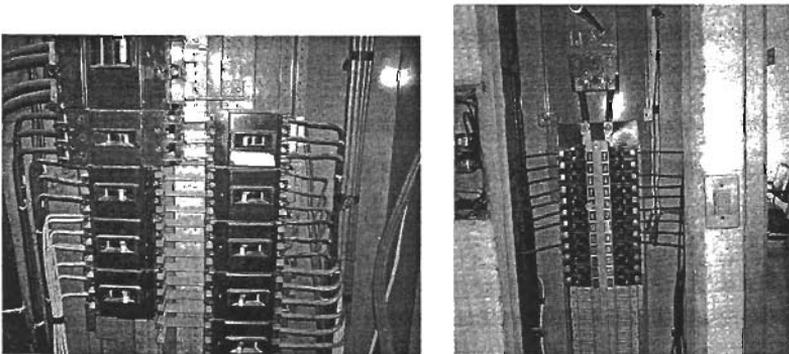
Los sistemas de alambrado deben tener un conductor puesto a tierra identificado con color, para cable aislado de tamaño nominal 6 AWG o menor, blanco o gris claro, para calibres mayores también pueden tener una marca blanca en los extremos de conexión (200-6).

Todos los dispositivos dotados de terminales para la conexión de conductores y destinados para conectarlos a más de un lado del circuito deben tener terminales debidamente marcadas para su identificación (200-10, a).

Los receptáculos que se utilicen deben tener conexión a tierra efectiva, con excepciones de aparatos móviles (200-10, b). No es necesario identificar las terminales de las tomas de corriente para aparatos eléctricos de dos conductores sin polaridad.

Cabe señalar que la instalación eléctrica diseñada para este edificio contemplaba una norma anterior a la de 1999 por lo tanto en muchos receptáculos no se contempla la norma, sin embargo se han hecho varias modificaciones por lo que esta norma si es aplicable.

En los circuitos en el edificio del centro de cómputo no se tiene una conexión a tierra efectiva y los tableros eléctricos de fuerza y alumbrado también carecen de esta disposición, Fig. 6.9.



. 6.9 Tableros sin conexión a tierra efectiva.

Fig

6.8.1.2 Clasificación de los circuitos derivados

Los dispositivos de salida deben tener una capacidad nominal de corriente eléctrica no-menor a la carga que van a alimentar (210-21).

Los circuitos de 15 y 20 Amperes pueden alimentar alumbrado u otros equipos de utilización variada con cable y clavija no fijos donde la capacidad de utilización debe ser del 50 % del nominal y si son fijos del 80 % de la capacidad nominal del circuito derivado (210-23, a).

Los circuitos derivados de 30 Amperes suministran energía solo a unidades fijas de alumbrado con portalámparas de servicio pesado, en edificios que no sean viviendas la capacidad de utilización no debe rebasar el 80 % de la carga nominal instalada.

Para circuitos de 40 y 50 Amperes alimentan en edificios a lámpara fijas de servicio pesado y para unidades de calefacción por infrarrojos. Para los circuitos derivados de más de 50 Amperes solo deben suministrar energía a salidas que no sean para alumbrado.

Tabla 6.18 Carga máxima a un receptáculo para aparatos eléctricos con cordón y clavija.

Capacidad de conducción de corriente nominal del circuito (A)	Capacidad de conducción de corriente admisible de la base (A)	Carga máxima (A)
15 o 20	15	12
20	20	16
30	30	24

Tabla 6.19 Resumen de requisitos de los circuitos derivados.

Capacidad de conducción de corriente nominal del circuito (A)	15	20	30	40	50
Conductores (tamaño nominal mínimo mm ² -AWG):					
Conductores del circuito*	2,082(14) 2,082(14)	3,3(12) 2,082(14)	5,26(10) 2,082(14)	3,36(8) 3,3(12)	13,3(6) 3,3(12)
Derivaciones Cables y cordones de aparatos eléctricos					
Protección contra sobrecorriente (A)	15	20	30	40	50

Dispositivos de salida: Portalámparas permitidos Capacidad de conducción de corriente admisible del receptáculo**	De cualquier Tipo 15 A máx.	De cualquier Tipo 15 o 20 A	Servicio pesado 30 A	Servicio pesado 40 o 50 A	Servicio pesado 50 A
Carga Máxima (A)	15	20	30	40	50
Carga Permissible	Véase 210-23(a)	Véase 210-23(a)	Véase 210-23(b)	Véase 210-23(c)	Véase 210-23(c)

* Estos tamaños se refieren a conductores de cobre.

** Para la capacidad de conducción de corriente de los aparatos eléctricos de alumbrado por descarga conectados con cordón y clavija, véase 410-30(c).

En la instalación eléctrica sobre todo en el laboratorio de televisión se presentan problemas por que sobrecargan al circuito derivado, ocasionando el disparo de los interruptores automáticos, esto es debido a que se realizaron nuevas instalaciones sin tener la precaución de verificar la carga a instalar y el requerimiento del circuito derivado con su respectiva protección, y un adecuado cálculo de carga.

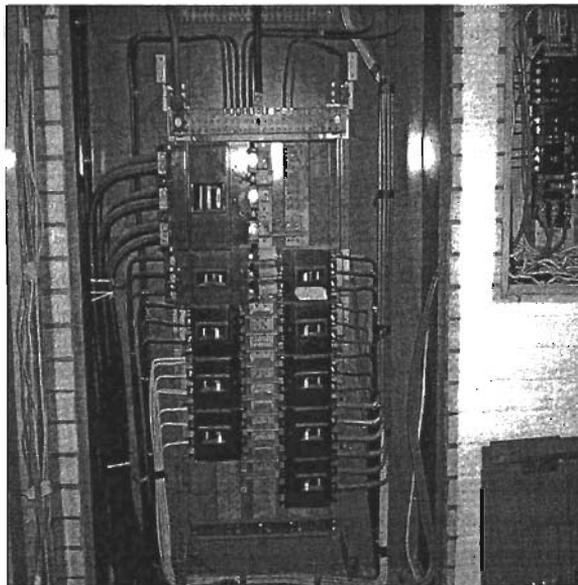


Fig. 6.10 Tablero principal del edificio del centro de cómputo.

6.8.1.3 Alimentadores

Antes de la instalación de los alimentadores se deberá elaborar un diagrama que muestre los detalles de dichos circuitos. Dicho diagrama debe mostrar la superficie en metros cuadrados del edificio u otra estructura alimentada por cada alimentador; la carga total conectada antes de aplicar factores de demanda; los factores de demanda aplicados; la carga calculada después de aplicar los factores de demanda; y el tipo, tamaño nominal y longitud de los conductores utilizados y de las canalizaciones. Además, deberá mostrar la capacidad nominal o ajuste y la corriente de interrupción mínima requerida de los dispositivos de protección contra sobrecorriente requeridos (215-5).

Cuando un alimentador suministre energía a circuitos derivados que requieran conductores de puesta a tierra de equipo, el alimentador deberá incluir o prever un medio de puesta a tierra, al que se deben conectar los conductores de puesta a tierra del equipo de los circuitos derivados (215-16).

No se tiene una referencia de los circuitos derivados, y aunque se tuviera no se han realizado actualizaciones de estos diagramas. También no se tiene una actualización de los planos arquitectónicos con la localización de los contactos, apagadores y lámparas del edificio y su anexo.

Cuando se elaboro el edificio se contó con estos requerimientos pero después de varios años y varias modificaciones fue necesario que se realizaran actualizaciones del edificio en cuanto a planos arquitectónicos del sistema eléctrico. Podemos ver los planos de en el Anexo I que cuenta con:

- Planos de localización de áreas.
- Planos de localización de contactos, apagadores y lámparas.
- Diagrama unifilar del sistema.
- Cuadros de carga de los tableros de fuerza y alumbrado.

6.8.1.4 Alimentadores y acometidas

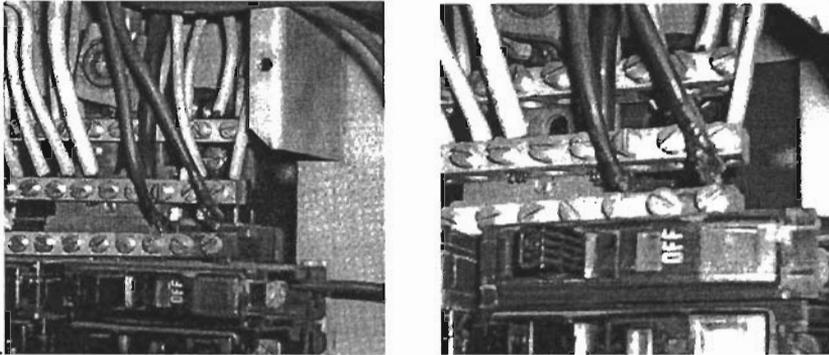
El factor de demanda para circuitos derivados para alumbrado que se usa en el caso de la FES Aragón debe ser del 100 % en VA.

Carga del neutro del alimentador. La carga del neutro del alimentador debe ser el máximo desequilibrio de la carga. La carga de máximo desequilibrio debe ser la carga neta máxima calculada entre el neutro y cualquier otro conductor de fase. No debe reducirse la capacidad de conducción de corriente del neutro en la parte de la carga que consista en cargas no-lineales alimentadas con un sistema de tres fases cuatro conductores, conectado en estrella ni en el conductor puesto a tierra de un circuito de tres conductores que esté formado por el conductor neutro y dos fases de un sistema tres fases cuatro conductores conectado en estrella.

NOTA: Un sistema de tres fases cuatro conductores conectados en estrella utilizado para suministrar corriente eléctrica a cargas no-lineales, puede requerir que el sistema esté proyectado de modo que permita que pasen por el neutro corrientes altas producidas por armónicos (220-22).

Los armónicos producidos por las cargas conectadas afectan severamente a la corriente del conductor neutro en este caso se realizara un análisis más detallado de este problema mas adelante en este capítulo.

Se puede observar en las siguientes figuras como se sobrecalientan los cables que están conectados a la barra del neutro del tablero, Fig. 6.11.



Fig

. 6.11. Sobrecalentamiento de cables en la barra del neutro.

6.8.1.5 Cálculos opcionales de cargas adicionales en instalaciones existentes (220-35)

Para poder conectar cargas adicionales a los alimentadores y a las acometidas existentes, se permite aplicar las cifras de demanda real máxima para determinar la carga existente sobre un alimentador o una acometida, cuando se cumplan todas las condiciones siguientes:

- 1) Que existan datos de demanda máxima de todo un año.

Excepción: Si no existen datos de demanda máxima de todo un año, se permite que esos datos se basen en los Amperes reales medidos continuamente durante un periodo mínimo de 30 días, en un amperímetro (anализador de redes eléctricas) registrador conectado a la fase de mayor carga del alimentador o de la acometida. Para que los datos reflejen la demanda máxima verdadera del alimentador o de la acometida, deben ser tomados con el edificio ocupado y deben incluir por medición o por cálculo la mayor carga de los equipos de calefacción o aire acondicionado.

- 2) Que la actual demanda a 125% más la nueva carga, no supere la capacidad de conducción de corriente del alimentador o la capacidad de conducción de corriente de la acometida.
- 3) Que el alimentador tenga un dispositivo de protección contra sobrecorriente y que la acometida tenga protección contra sobrecarga.

Los circuitos derivados presentan problemas al no tener presente estos reglamentos, se sobrecargaron los circuitos al instalar más sin la precaución de verificar estas disposiciones, en algunos circuitos se tienen ya problemas como calentamiento de los cables o si sobrecargan el circuito el interruptor se dispara, Fig. 6.12.

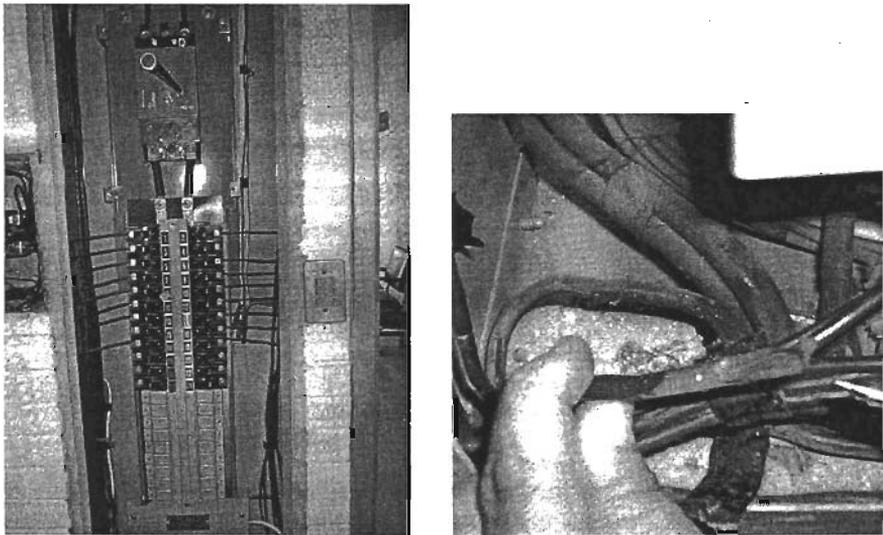


Fig. 6.12 Tablero sobrecargado con sus conductores dañados por sobrecalentamiento.

6.8.1.6 Acometidas subterráneas

Aislamiento. Los conductores de acometida subterránea deben soportar las condiciones atmosféricas y otras circunstancias de uso, sin que se produzcan fugas de corriente eléctrica perjudiciales. Los conductores de acometida subterránea deben tener aislamiento para la tensión eléctrica aplicada (230-30).

6.8.1.7 Conductores de entrada de acometida

Los conductores de entrada de acometida no deben presentar empalmes (230-46).

Excepción 6: En los conductores de acometidas ya existentes, se permite instalar juegos de empalme subterráneos para:

- a. Reparar los conductores existentes.
- b. Prolongar los conductores.

En la acometida de alimentación se presentan varios empalmes para poder extender la longitud del circuito, pero esto se pudo haber evitado al haber comprado la longitud exacta del cable, ya que las compañías si venden tramos largos de cable siempre y cuando no rebasen los 1,000 metros. Incluso es una buena medida preventiva contra los problemas ahora existentes de corto en las zonas de empalmes que provocan fallas en el suministro de energía.

6.8.1.8 Equipo de acometida

En un inmueble u otra estructura deberá proveerse de un medio para desconectar todos los conductores a partir de los conductores de entrada de acometida (230-70).

- a) **Ubicación.** Los medios para desconectar la acometida deben ser instalados, ya sea dentro o fuera de un edificio u otra estructura, en un lugar de rápido acceso en el punto más cercano de entrada de los conductores de acometida y a una distancia no-mayor a 5 m del equipo de medición.
- b) **Marcado.** Cada medio de desconexión debe estar marcado permanentemente para identificarlo como tal.
- c) **Apropiado para el uso.** Todos los medios de desconexión de la acometida deben ser adecuados para las condiciones que se den en la misma.

En inmuebles con diversas actividades en los que el servicio y mantenimiento de la instalación eléctrica estén a cargo de la administración de la administración del inmueble, y se encuentre bajo supervisión continua de la misma, el medio de desconexión de la acometida propia de más de una de las actividades debe estar accesible únicamente a personal calificado.

Los medios de desconexión deberán indicar claramente si está en posición abierta o cerrada (230-77).

Los interruptores ya por el tiempo se les han borrado las indicaciones del rango de corriente si están abiertos o cerrados, además ninguno de los cables están identificados, Fig. 6.13.

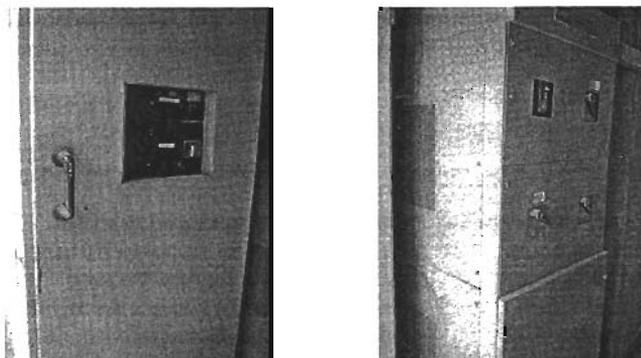


Fig. 6.13 Interruptores principales de los transformadores.

6.8.1.9 Equipo de acometida. Protección contra sobre corriente

Cuando los dispositivos de protección contra sobrecorriente de la acometida estén sellados o bajo llave o no sean fácilmente accesibles por cualquier otra razón, se debe instalar dispositivos de sobrecorriente de los circuitos derivados en el lado de la cargas, instalados en un lugar fácilmente accesibles y deben de ser de menor capacidad nominal que el dispositivo de sobrecorriente de la acometida (230-92).

Cuando sea necesario evitar la manipulación indebida, se permite sellar o poner bajo llave el dispositivo automático de protección contra sobrecorriente que proteja a los conductores de acometida que alimenten sólo a una carga específica cuando se ubiquen en un lugar accesible (230-94).

Para unos contactos regulados se tiene la protección de estos circuitos dentro de la subestación del centro de cómputo donde es un lugar no accesible para el personal que ahí labora. Por lo que si tienen una falla en el sistema donde los interruptores se dispararan se tendrían que esperar a que llegue el personal d mantenimiento de la escuela.

6.8.1.10 Puesta a tierra

Arreglo del sistema para evitar corrientes eléctricas indeseables. La puesta a tierra de sistemas eléctricos, conductores de circuitos, apartarrayos y partes conductoras de equipo y materiales normalmente sin energía, se debe hacer y disponer de modo que se evite el flujo de corrientes eléctricas indeseables por los conductores de puesta a tierra o por la trayectoria de puesta a tierra (250-21).

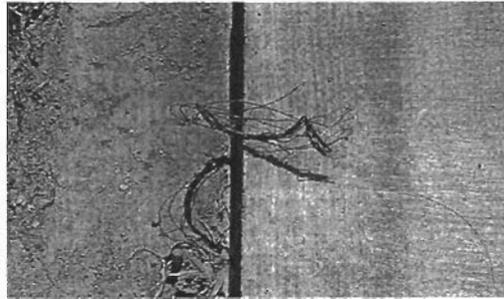


Fig. 6.14. Sistema de tierra para pararrayos, fueron cortados.

Se deben poner a tierra los envolventes y canalizaciones metálicos para los conductores que no son de la acometida (250-33).

Electrodo común de puesta a tierra. El mismo electrodo de la acometida del sistema se debe usar para conectar a tierra los envolventes y el equipo del edificio (250-54). El tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra de equipo, de cobre o aluminio, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 6.20.

Tabla 6.20. Tamaño nominal mínimo de los conductores de tierra para canalizaciones y equipos.

Capacidad o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. (A)	Tamaño nominal mm (AWG o Kcmil).	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
15	2,082 (14)	---
20	3,307 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,367 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,15 (4)
300	21,15 (4)	33,62 (2)
400	33,62 (2)	42,41 (1)
500	33,62 (2)	53,48 (1/0)
600	42,41 (1)	67,43 (2/0)
800	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01 (3/0)	126,7 (250)
1600	107,2 (4/0)	177,3 (350)
2000	126,7 (250)	202,7 (400)
2500	177,3 (350)	304 (600)
3000	202,7 (400)	304 (600)
4000	253,4 (500)	405,37 (800)
5000	354,7 (700)	608 (1200)
6000	405,37 (800)	608 (1200)

En los tablero de distribución de carga no se tienen línea a tierra del sistema, solamente cumple con esta norma el anexo del centro de computo pero todo el edificio carece de este sistema, en algunas modificaciones realizadas se encontró que si metieron cable de línea a tierra pero este solo llega al tablero sin ser fijado a ningún lugar o empalmado a otro cable.

6.8.1.11 Disposiciones varias

Tapas sencillas y ornamentales. En las instalaciones una vez terminadas, todas las cajas deben tener una tapa, una placa de cierre o una tapa ornamental (370-25).

Claros alrededor del Tablero (384-8, b). Los espacios libres alrededor de los tableros de distribución deben cumplir con lo establecido en 110-16 (90 cm libres).

El tablero principal del centro de computo tiene a su alrededor varios objetos que no permiten una libre manipulación de los interruptores al suscitarse un problema en el sistema. Será necesario mover escritorios y un archivero que obstruye el área de trabajo para el cumplimiento de la norma y una mayor seguridad.

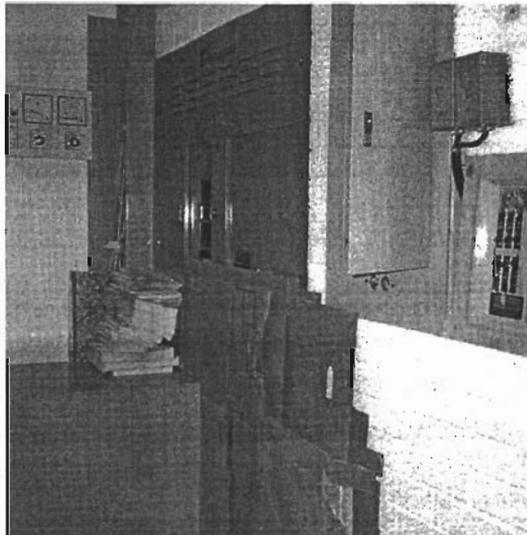


Fig. 6.15. Espacio ocupado frente al tablero principal.

Puesta a tierra de los marcos o armazones de los tableros de distribución. Los marcos de los tableros de distribución y las estructuras que soporten los elementos de desconexión, deben estar puestos a tierra (384-11).

Luminarias metálicas, transformadores y envolventes de transformadores. Se deben poner a tierra las luminarias metálicas, transformadores y envolventes de transformadores, en circuitos que funcionen a más de 150 V a tierra (410-19, a). Todos los equipos de los tableros de distribución así como los balastos del sistema de iluminación no cuentan con una conexión de tierra efectiva, Fig. 6.16.



Fig. 6.16 Tablero sin conexiones a tierra.

Se permite que el dispositivo de protección en el secundario consista de no más de seis interruptores automáticos o no más de seis juegos de fusibles agrupados en un solo lugar. Cuando se usen varios dispositivos contra sobrecorriente, el valor total de todas las capacidades o ajustes de estos dispositivos, no debe exceder el valor que se permita para un solo dispositivo de sobrecorriente. Si se instalan tanto interruptores automáticos como fusibles, el valor total de todas las capacidades o ajustes de estos dispositivos, no debe exceder el valor que se permita para fusibles (450-3).

En este caso se tiene la existencia de un interruptor que excede el límite de la corriente para el transformador de 45 KVA que es de aproximadamente 125 amperes este interruptor es de 400 amperes y alimenta al regulador de voltaje que ve al anexo del centro de computo alimentando el tablero de cargas.

Espacio de alambrado para terminales. Debe proporcionarse el espacio para formar curvas, de las guías de línea o en carga del transformador fijo de 600 V o menos, de acuerdo con lo requerido en la Tabla 6.5 (450-12).

Las conexiones del secundario para el transformador de 45 KVA no tienen suficiente espacio incluso al poner la tapa del gabinete se auxiliaron de un pedazo de difusor para luminario que aísla las conexiones de un posible corto circuito con la ubicación tan cercana de la tapa.

Tabla 6.21 Espacio mínimo para la curvatura de los cables en las terminales y ancho mínimo de los canales para cables (mm).

Tamaño nominal del cable en mm 2(AWG o KCMIL)	Cables por cada terminal				
	uno	dos	tres	cuatro	cinco
2,08-5,26 (14-10)	No especificado	---	---	---	---
8,3-13,3 (8-6)	40	---	---	---	---
21,15-26,6 (4-3)	50	---	---	---	---
33,6 (2)	65	---	---	---	---
42,41 (1)	75	---	---	---	---
53,4-67,4 (1/0-2/0)	90	125	180	---	---
85-107,2 (3/0-4/0)	100	150	200	---	---
126,7 (250)	115	150	200	250	---
152-177,3 (300-350)	125	200	250	300	---
202,7-253,4 (400-500)	150	200	250	300	350
304-354,2 (600-700)	200	250	300	350	400
380-456,4 (750-900)	200	300	350	400	450
506,7- 634 (1000-1250)	250	---	---	---	---
760-1013,4 (1500-2000)	300	---	---	---	---

El espacio del dobléz en las terminales se debe medir en línea recta de la punta del adaptador o del conector de alambre (en la dirección en que el alambre salga de la terminal) a la pared, barrera u obstrucción.

Drenaje. Cuando sea factible en las bóvedas que contengan más de 100 kVA de capacidad de transformadores, se debe construir un drenaje u otro medio que evacue hacia un depósito especial de confinamiento cualquier acumulación de líquido aislante o agua, a menos que las condiciones del local lo impidan; en este caso, el piso debe tener una inclinación hacia dicho drenaje (450-46).



Fig. 6.17 Existencia de agua en el registro interior del edificio.

No solo es el caso de esta subestación todo el sistema subterráneo de la FES Aragón sufre de este problema, pero en nuestro caso de análisis se tiene agua en los registros todo el año incluso se tiene la existencia de agua en el registro que se encuentra dentro del edificio figura.

Puesta a tierra (645-15). Todas las partes metálicas expuestas, que no transporten corriente eléctrica, de un sistema de procesamiento de datos y cómputo electrónico, deben ponerse a tierra de acuerdo con lo indicado en el Artículo 250 o deben ser de doble aislamiento. Los sistemas de suministro de energía derivados dentro del equipo aprobado que alimenten a equipo de cómputo y las cuales son suministradas como parte de ese equipo, no deben ser considerados separadamente como derivados para propósito de aplicación de lo indicado en 250-5 d).

Marcado (645-16). Cada unidad de un sistema de procesamiento de datos que vaya a ser alimentado por un circuito derivado debe estar provista de una placa de datos con el nombre del fabricante, tensión eléctrica de suministro, frecuencia nominal y la máxima carga nominal (A). El transformador de 150 KVA no tiene placa de datos solo se pudo saber de su carga nominal al estar pintada en una tabla ubicada en la parte de arriba, no se sabe su marca ni datos de operación.

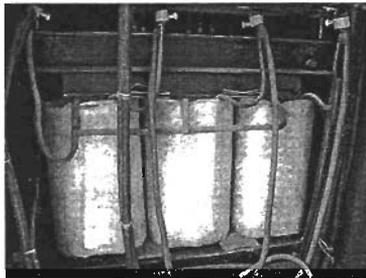


Fig. 6.18. Transformador de 150 KVA sin placa de identificación.

Desagüe (923-15, c). En los registros, pozos y bóvedas, cuando sea necesario debe instalarse un medio adecuado de desagüe. No debe existir comunicación con el sistema de drenaje.

Identificación del equipo eléctrico. Para identificar al equipo eléctrico en subestaciones se recomienda pintarlo y numerarlo, usando placas, etiquetas o algún otro medio que permita distinguirlo fácilmente, tanto respecto de su funcionamiento como del circuito al que pertenece. Es conveniente establecer un método de identificación uniforme en todo el equipo instalado en una subestación o en un grupo de instalaciones que correspondan a un mismo usuario (924-16).

Las identificaciones que estaban colocadas con el tiempo se han desprendido o perjudicado por lo que no son fácilmente identificables, es necesario renovar las placas de identificación del equipo, así como identificar las faltantes.

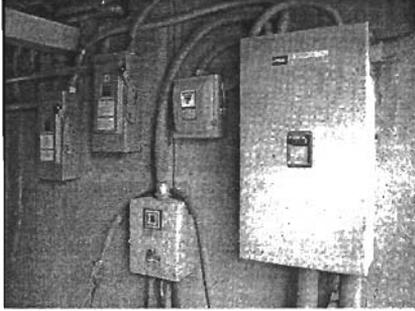


Fig.

6.19. Tableros con interruptores sin identificar.

6.9 Análisis para las mediciones realizadas con el pirometro y el termometro

6.9.1 Mediciones del pirómetro

Los niveles de temperatura medidos con el pirometro para el transformador de 150 KVA en la parte exterior fueron zonas que llegaban a 84 °C a una temperatura ambiente de 21 °C a la sombra. En los interruptores se tomaron también mediciones para localizar posibles puntos calientes pero las temperaturas máximas no rebasaron los 26 °C por lo que estos interruptores se encuentran en buenas condiciones, estas mediciones fueron efectuadas a medio día cuando el edificio se encuentra en una carga máxima.

En el transformador de 45 KVA la temperatura máxima de operación medida a medio día fue de 30 °C a una temperatura ambiente de 15 °C a la sombra y en los interruptores no se rebaso un límite máximo de 25 °C, las mediciones para los interruptores fueron para el interruptor encontrado en el devanado primario y 4 interruptores que están conectados directamente al secundario de este transformador.

El calentamiento máximo de un transformador a una carga nominal es de 60 °C por encima del nivel de temperatura ambiente debido a que el aislamiento en los devanados se podría ver perjudicado. Normalmente los niveles máximos de temperatura de los aislamientos están fabricados para un máximo de 90 °C, se observa como en el transformador de 150 KVA casi llega a este límite por causa de las armónicas que no llegan a pasar al primario y toda la corriente generada por las armónicas se convierte en calor afectando principalmente al devanado que esta conectado en estrella.

6.9.2 Mediciones con el terrómetro

La medición efectuada en el cable a tierra conectada en la subestación del edificio del Centro de Cómputo nos dio como resultado 2 ohms de resistencia a tierra con 0.1 volts. Esta medición no rebasa los límites de la Norma Oficial Mexicana NOM relativa a instalaciones eléctricas (en su capítulo 250), recomienda una resistencia a tierra nominal de 10 ohms-m.

Cabe mencionar que durante la medición se encontraba muy húmedo el suelo por lo que esto contribuyó a mejorar la resistencia, normalmente en esta área se riega el pasto por lo que todo esto ayuda al mejoramiento de la resistencia a tierra y la salinidad de la tierra también ayuda ya que es bien conocida la alta salinidad en esta área.

6.10 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

6.10.1 Niveles de iluminación

Dentro de los niveles encontrados con las mediciones efectuadas con el luxómetro dentro de las áreas de trabajo se realizó de acuerdo con el índice de área (Fórmula 5.1), donde se tomaron para la tabla 3 del Anexo E, referente a los de niveles de iluminación máximos y mínimos encontrados dentro del edificio.

Solo se tomaron en cuenta los niveles encontrados durante el día ya que las mediciones realizadas nos afectaron con el horario de verano, al durar más el día tenemos más iluminación natural durante el horario laboral del edificio. El horario de inicio de operaciones es aproximadamente a las 8 de la noche donde ya hay luz natural y en el cierre de actividades del edificio es aproximadamente a las 8 de la noche cuando todavía había luz natural. Por lo que se pudo prescindir de las mediciones nocturnas aunque sería conveniente tomar mediciones durante el horario de invierno con su respectivo análisis.

Durante este análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Los luminarios se encuentran en muy mal estado ya que se pudo observar que los difusores se encuentran rotos (algunos ya no cuentan con este aditamento) o muy sucios, muchos de los luminarios se encuentran con la mayoría de sus lámparas fundidas o en fase terminal al igual que sus balastos, no existe ningún programa de mantenimiento, otros luminarios se han quitado y no se han podido reemplazar.

Los niveles de iluminación tomados no cumplen con los mínimos establecidos en la tabla de niveles de iluminación proporcionada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación Asociación Civil (Tabla 1 del Anexo C) o la NOM-025-STPS-1999 (Tabla 3.16 del Capítulo 3), la mayoría están muy por debajo de lo establecido como se muestra en la Tabla 1 del Anexo B, donde se observa que solamente se utilizan el sistema de iluminación principalmente

durante el día, por las noches solo es utilizado para iluminación exterior y en su caso en alguna zona de trabajo.

Las mediciones nos muestran niveles bajos incluso cuando se tienen las persianas abiertas durante el día, ya que normalmente tienen cerradas las persianas, o si tienen las persianas abiertas en la mayoría de las oficinas no se cuenta con un interruptor o en el tablero no está identificado el circuito derivado. Cuando se tomaron las mediciones con las persianas cerradas encontramos que los niveles de iluminación son muy bajos como en el caso de los salones de centro de cómputo que mostraron unas mediciones de un máximo de 380 y un mínimo de 95 este mínimo se debe a que las lámparas están fundidas o no sirven, el nivel mínimo para una zona de trabajo con computadoras está en 600 luxes sobre el plano de trabajo.

Las aulas donde se imparte clase muestran graves deficiencias en su flujo luminoso que es muy perjudicial para los alumnos, como es el caso del laboratorio de fotografía donde no cuenta con iluminación natural y su máximo nivel que se encontró fue de 337 luxes y el mínimo de 200 luxes cuando para un aula de clases se debe tener como mínimo un nivel de 400, el aula del laboratorio de televisión que se obtuvieron mediciones de 225 a 32 luxes.

6.10.2 Análisis de la densidad de potencia eléctrica en el alumbrado (DPEA)

Durante el análisis de la DPEA como se muestra en la tabla 5 del Anexo E, donde nos muestra una comparación del DPEA calculado para cada zona de trabajo y los límites establecidos en este caso por el PROY- NOM-007-DOF, se ha marcado con un sombreado las zonas que rebasan el límite establecido que es en casi todas las áreas. Para estos cálculos nos auxiliamos principalmente de los planos de obra realizados.

Los casos más graves se encuentran en las oficinas de publicaciones donde se han instalado hasta tres luminarios para un área muy pequeña (ver Plano Planta Baja del Anexo I), donde se calculó una DPEA de 32.26 cuando se deben tener un máximo de 14, y en casi toda esta área se exceden por más de 30 los DPEA.

6.10.3 Propuestas para mejorar el sistema de iluminación en el edificio del centro de cómputo y anexos de la FES Aragón

Una forma de mejorar el sistema de iluminación del centro de cómputo y anexos de la FES Aragón sería la sustitución de balastos electromagnéticos a balastos electrónicos y la sustitución de luminarias T12 a luminarias T8, con estas medidas se obtendría la reducción en el consumo eléctrico de hasta el **29.5%** en iluminación lo que traería una reducción en el costo de facturación y demanda facturable.

Hacer un programa de mantenimiento del edificio en cuestiones de iluminación (correctivo-preventivo), lo cual ayudaría principalmente a aumentar los niveles de iluminación ya que se haría el cambio oportuno de luminarias ayudando a mantener los niveles de iluminación adecuados, lo cual traería beneficios extra.

6.11 CAMBIO DE LÁMPARAS

Se propone para mejorar el sistema de iluminación y tener ahorros en el consumo un cambio de lámparas de T12 con balastro electromagnético por unas lámparas T8 con balastro electrónico. Se muestra un análisis de las lámparas comparando sus características técnicas de la marca General Electric donde se toman de catalogo los datos para los dos tipos de lámpara con diferentes temperaturas de color.

Tabla 6.22. Características técnicas de lámparas fluorescentes General Electric.

Tipo de lámpara	Longitud nominal	Lúmenes iniciales	Lúmenes medios	Vida media	Temperatura de color	IRC
T 12	1,220	2,500	2,295	9000	6,250	75
T 12	1,220	2,875	2,710	9,000	4,150	62
T 12	1,220	2,900	2,675	9,000	3,000	52
T 8	1,220	2,950	2,800	20,000	3,000	86
T 8	1,220	2,950	2,800	20,000	3,500	86
T 8	1,220	2,950	2,800	20,000	4,100	86

Las lámparas más comúnmente utilizadas son las T 12 con una temperatura de color de 6250 (luz de día) e estas presentan los lúmenes medios mas bajos de la tabla comparativa y un IRC de 75, hay que recordar que el IRC es el porcentaje de la reproducción cromática, si decidimos cambiar por una lámpara también T 12 pero con una temperatura de color de 3000 que sería la más aproximada la longitud de onda de mas sensibilidad del ojo humano tendríamos un menor IRC que no se compensa con el incremento del flujo luminoso que sigue siendo aun menor a las lámparas T 8.

El cambio por una lámpara T 8 nos ofrece un mayor flujo luminoso y una mayor vida media, con temperaturas de color que mantienen un IRC alto, el cual ayuda a que los objetos y personas iluminadas se vean más reales. Esto nos ayudaría a mejorar la Densidad de Potencia Eléctrica en Iluminación (DPEA) como se puede ver en la Tabla 5 del Anexo E y los niveles de iluminación que están muy bajos seleccionando una lámpara que tenga una temperatura de color cercana a la ideal para el ojo humano que en este caso sería de 3000 °K cercana a 550 nm de longitud de onda, Fig. 3.1 del Capítulo 3.

En cuanto a costos por cambio del sistema se evalúa conforme a un costo anual uniforme equivalente², donde ese estimo un precio para el equipo de lámparas T 12 con balastro electromagnético de 100 pesos y para las lámparas T 8 con balastro electrónico de 180 pesos, la tasa de interés anual es del 12.5 %, el total de luminarias 2 x 39 es de 300.

El tiempo de recuperación se estimo restando el costo anual de las T 12 con el costo de la facturación eléctrica anual de las T 8 que dividen al costo inicial de la adquisición del nuevo equipo. Se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 6.23 Cálculos del costo anual uniforme equivalente.

Tipo de lámpara	Valor presente	%	Costo inicial	Costo adicional	Costo operación
T 12	47959.41745	12.5	25500	10150.6516	37808.7659
T 8	40216.24706	12.5	45900	10217.4812	29998.7659
Recuperación de la inversión (años)					
		2.555			

El tiempo de recuperación es un poco largo pero si estimamos que la vida promedio de las nuevas lámparas es de 7 años tendríamos 4.44 años con ahorros en el pago de energía (aproximadamente 7,743 pesos), y nos evitaríamos el cambio de lámparas cada 3.5 años (7 semestres), y solo se limitaría el mantenimiento a limpieza y posibles fallas en el sistema de iluminación.

El cambio en el sistema de iluminación nos da como beneficio no solo ahorro en el pago de la tarifa eléctrica, este también da el gran beneficio de una mejor iluminación con una mayor emisión de flujo luminoso y mejorando el índice de reflexión cromática (IRC), así como evitar el efecto estroboscópico que causa la fatiga visual, siendo de forma muy significativa una mejora para el confort visual de los usuarios evitando con el tiempo problemas de pérdida de la vista.

² CAUE, Método para evaluación de alternativas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron de forma congruente los conceptos y aspectos que implica un diagnóstico energético, se estableció un método de trabajo basado principalmente por métodos empleados por diversas empresas y organizaciones, en las que también se incorporaron métodos descritos en normas oficiales mexicanas, y para el nivel de armónicas fueron internacionales, las cuales fueron de mucha ayuda al tener una propuesta más general dentro de la metodología.

La metodología propuesta tuvo como objetivo aplicarse en el Edificio del Centro de Computo y Anexos, la cual permitió no solo hacer un diagnóstico energético sino también detallar y actualizar planos arquitectónicos, diagrama unifilares y cuadros de cargas con el objetivo de hacer el diagnóstico y de tener a la mano una referencia que es de vital importancia para poder tomar medidas de corrección o un posible cambio a el sistema eléctrico que sin la ayuda de los planos no sería posible o implicaría un mayor esfuerzo.

Al hacer una auditoría eléctrica en el sistema permitió conocer mas a detalle la situación de la instalación eléctrica de acuerdo a las NOM-001-SEDE-1999, las cuales al comparar el estado del sistema eléctrico con las disposiciones generales se encontraron varios problemas relacionados con una mala instalación o falta de mantenimiento del sistema eléctrico, de esta forma nos permite obtener un plan en el mejoramiento del sistema eléctrico.

Los problemas principales que se encontraron son los siguientes:

- No se tiene una buena calidad de la energía eléctrica, este problema es causado principalmente por las armónicas, generadas principalmente por las computadoras.
- Se registraron durante las mediciones varios Sags y Swell, que afectan principalmente a las cargas conectadas al sistema.
- Las armónicas de corriente están afectando considerablemente a todo el sistema eléctrico sobrecalentando a los transformadores y a los cables del neutro del sistema.
- Se tiene un desbalanceo en los tableros de carga y alumbrado, donde se calcularon desbalances de hasta el 65 % en un tablero con todos los circuitos bien identificados.
- El sistema de tierra del edificio no está bien realizado, los tableros y circuitos derivados de contactos e iluminación no están aterrizado a tierra, siendo una parte muy importante al estar conectadas varias computadoras necesitan de esta protección para su buen funcionamiento.

- Casi todos los circuitos de los tableros de carga y alumbrado no están identificados.
- Se observa una falta de mantenimiento para todo el sistema eléctrico del edificio.
- Las luminarias tienen varios problemas desde balastos quemados hasta lámparas en fase terminal de su vida útil, y falta de limpieza.
- Los niveles de iluminación están muy por debajo del nivel recomendado para estas áreas de trabajo.
- No se tienen planos arquitectónicos ni eléctricos de todo el sistema, ante la falta de información valiosa como esta no se pueden hacer correcciones ni cambios.
- El sistema de pararrayos no existe, pero se observa que si fue instalado.

Dentro de las propuestas para mejorar el suministro de energía eléctrica es dar un mantenimiento correctivo del sistema eléctrico que con anterioridad no se podía realizar debido a un completo desconocimiento del sistema, al tener en detalle el diagrama unifilar de la subestación y los cuadros de carga de los tableros de fuerza y alumbrado nos permitirá hacer una corrección rápida y efectiva del sistema, sin provocar errores ante el desconocimiento del estado actual del sistema eléctrico.

El cambio en el sistema de alumbrado permite al edificio tener ahorros importantes en el pago de la tarifa eléctrica, aunque la adquisición del equipo es demasiado cara esta se puede amortiguar con los beneficios del ahorro en el consumo. Pero también el cambio del sistema permite tener una mejor iluminación en los centros de trabajo mejorando las condiciones de trabajo y cumplir las condiciones que marcan las normas referentes a niveles de iluminación y densidad de potencia eléctrica en alumbrado, que aunque no se aplican en este sistema por estar construido el edificio e una fecha anterior a la expedición de las normas si se quisiera hacer una modificación si se tendría que cumplir con estas disposiciones.

El uso racional de la energía depende de hacer un esfuerzo en la planificación de un consumo racional donde se involucra de manera significativa a los usuarios. El trabajo realizado esta enfocado a un uso racional de la energía proponiendo un método de completo análisis y la implantación de programas de mantenimiento correctivo y preventivo que es necesario para evitar daños y futuros problemas al sistema que nos suministra energía.

Una de las mejoras que se podría implementar enfocado a mejorar la calidad del suministro de la energía eléctrica y mejorando el consumo es un sistema de tierra con muy baja impedancia que ha sido desarrollado y aplicado en la actualidad que incluye un dispositivo que sirve para atrapar armónicas, aunque su precio es un poco alto este nos permite obtener también ahorros en la facturación eléctrica y permite tener un buen sistema de tierra para el sistema del cual se padece. Son pocas las compañías que venden estos equipos en las que podemos mencionar a MAGNETIC GROUND, TOTAL GROUND Y SISTEMAS FARAGAUS. Los elementos con los que cuenta este sistema se describen a continuación (información extraída de los manuales de los fabricantes).

Estos sistemas son el último logro tecnológico basados en la mayor eficiencia conocida, con características que proporcionan una BAJA IMPEDANCIA (que a su vez actúa como filtro ante corrientes parásitas e interferencias) y es permanentemente estable durante toda su vida útil.

El equipo cuenta con un dispositivo que facilita el flujo de corriente hacia tierra en un rango de frecuencias muy grande. La bobina, está compuesta por elementos RLC los cuales permiten el mejor flujo de la corriente hacia la tierra en un amplio espectro de frecuencias. La bobina (circuito LCR) tiene dos funciones la primera el electrodo es unidireccional de las instalaciones a la tierra confinada, pero de la tierra a las instalaciones no, la otra función es que al brindarle una trayectoria a tierra de muy baja impedancia reduce las armónicas principalmente la tercera.

Con estas relaciones, se puede ver que cuando las frecuencias que se quieren drenar son pequeñas, la impedancia de la resistencia permanece constante, la impedancia del inductor se acerca a cero (es decir, corto circuito) y la impedancia del capacitor se hace muy grande. En bajas frecuencias, los elementos que drenan la corriente son la resistencia y el inductor. Cuando el evento a drenar tiene componentes de alta frecuencia (tal es el caso de los rayos), la impedancia de la resistencia permanece constante, la impedancia del inductor tiende a ser muy grande y la impedancia del capacitor tiende a disminuir. Cuando existen elementos de alta frecuencia en el evento a drenarse, los elementos que actúan son la resistencia y el capacitor.

Ventajas que brinda sobre los sistemas tradicionales.

- Impedancia baja menor a 2 ohms-m en forma permanente sin importar el tipo de terreno y condiciones climatológicas.
- Por el terminado, tratamiento y compuesto electro-acondicionador del terreno en contacto con el electrodo este tiene una vida útil de 15 a 20 años.
- Confina en forma unidireccional, esto es muy importante para que las corrientes telúricas no contaminen las instalaciones por el cable de tierra y

por otro lado para que las descargas atmosféricas (rayos) en su rebote no entren a las instalaciones.

- Con su acoplador podemos equipotencializar las diferentes masas en las instalaciones para evitar daños a las personas y equipos.
- Para equipo electrónico se le brinda el cero lógico que requieren para su óptimo funcionamiento.
- Mayor vida útil.

El otro elemento importante recomendado es el acoplador de impedancias el cual tiene como función el dirigir descargas de corriente hacia el camino de menor impedancia existente. En el caso de que se induzcan corrientes a través del electrodo del sistema a tierra el acoplador no permite que la corriente llegue las cargas conectadas mandando esta corriente a puntos alternos de tierra estructural.

Otra de las partes que necesita una mejora o más bien una nueva instalación es el sistema de pararrayos del edificio que esta completamente inservible, al ya no tener tanto como las puntas y el cable de conexión a tierra pero para este sistema se necesitaría hacer un estudio más completo.

Dentro de los objetivos no alcanzados que se pueden mencionar fue la localización de varios circuitos de los tableros de alumbrado y fuerza del centro de cómputo ya que normalmente siempre están los circuitos ocupados y no nos permitió la localización de estos circuitos, ya que el sistema empleado era abrir el circuito en los interruptores por lo que no se podían dejar sin alimentación a varios equipos como por ejemplo un servidor localizado en la aula de profesores del centro de computo.

Otro objetivo no alcanzado fue la identificación de los cables de los reguladores alimentan a las cargas del centro de computo, ya que las líneas no pudieran ser seguidas adecuadamente ante el problema de que en registro de entrada al edificio estaba inundado y no se pudo observar la dirección del tubo conduit, ni identificar las conexiones de estos cables, solo se supone que vienen de contactos que alimentan a computadoras.

La aplicación de esta metodología y los resultados obtenidos, demuestran la viabilidad de la propuesta de trabajo, no exenta de dificultades, pero se demuestra como partir de un buen análisis se pueden planear cambios y obtener muy buenos beneficios, que en un corto plazo se manifiestan en grandes ahorros de energía y a largo plazo en la vida útil de los equipos eléctricos de potencia.

El objetivo del diagnóstico se cumplió en forma significativa realizando el trabajo propuesto, analizando los resultados obtenidos y dando propuestas para el mejoramiento del sistema eléctrico y de alumbrado todo esto dirigido al ahorro de energía. Solo quedan los objetivos no alcanzados que sería conveniente se realizaran planeando el trabajo en días y horarios adecuados, los cuales se recomendaría en temporal vacacional para no irrumpir o causar problemas a usuarios.

El diagnóstico energético es una herramienta útil que facilita reconocer los problemas en el consumo irracional de la energía y darle un seguimiento con la implantación de programas de control y corrección de la energía. La importancia de que el diagnóstico sea efectuado exitosamente recae en la necesidad de una ardua labor del personal capacitado, y un amplio conocimiento de los sistemas eléctricos de potencia para poder hacer evaluaciones de forma rápida, donde el ingeniero eléctrico tiene como tarea el estudio y análisis de los temas relacionados y además involucrarse en la aplicación del desarrollo tecnológico para la obtención de beneficios a corto y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Artefactos Lumínicos S.A. de C.V., 2004.
Catálogo de especificaciones técnicas. Luminarios fluorescentes.
pp. 12.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE).
Conae, iluminación.
www.conae.gob.mx
Enero de 1998, pp. 153.
- Curso de iluminación eficiente.
Notas del modulo I, Iluminación eficiente de áreas y centros comerciales.
México 2004.
- Curso de iluminación eficiente.
Notas del modulo II, Iluminación eficiente y su control en edificios no residenciales.
México 2004.
- Curso de iluminación eficiente.
Notas del modulo III, Iluminación eficiente y ahorro de energía.
México 2004.
- Chagoya Montes de Oca, Javier Ángel.
Metodología del ahorro de energía en iluminación vía Internet.
Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica.
UNAM, ENEP Aragón. 2001.
- Enríquez Harper, Gilberto
El ABC de la calidad de la energía eléctrica.
Ed. Limusa (2ª edición), México 2001.
- Enríquez Harper, Gilberto
El ABC de las instalaciones eléctricas industriales.
Ed. Limusa (2ª edición), México 2000.
- Enríquez Harper, Gilberto
Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales.
Ed. Limusa (2ª edición), México 2004.
- FEDERAL PACIFIC, 2004.
Catálogo de especificaciones técnicas. Productos de distribución, baja y media tensión. pp. 122.
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.
Manual de recomendaciones para el ahorro de energía en instalaciones eléctricas.
México, 2000.

- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.
Curso, "Introducción al ahorro de energía en sistemas de iluminación interior".
México, D.F. Julio del 2003.
- Galeana Sánchez, Carlos.
Proyecto de modernización del sistema de iluminación del módulo de extensión universitaria del campus Aragón.
Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica. UNAM, ENEP Aragón. 2002.
- GENERAL ELECTRIC, 2004.
Catálogo de especificaciones técnicas. Catálogo de iluminación.
- HOLOPHANE, 2004.
Catálogo de especificaciones técnicas. Catálogo de iluminación.
- Indalux, 2002. *Luminotecnia.* España. 2004.
www.indalux.es
- Industria SICA S.A.I.C. Enero del 2000.
Manual "m" de calidad de la energía.
Editado en Argentina. pp. 357.
- Ing. Cip Eduardo Tiravantiz.
Recomendaciones generales para ahorrar energía.
México 2004, Biblioteca virtual del TEC de Monterrey.
- Ing. Rubén Corvalán Schmidt
Tierras Eléctricas Confiables Para un Sistema De Distribución
Director General Corvalán y Asociados de México, S.A. de C.V.
- Islas Cortes, Román.
Manual Básico de en instalaciones eléctricas.
Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica. UNAM, ENEP Aragón. 2004.
- LITHONIA LIGHTING, 2004.
Catálogo de especificaciones técnicas. Guía de selección de productos. pp. 36.
- Martínez Pérez, José Luís.
Proyecto eléctrico para el ahorro de energía de una escuela preparatoria.
Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica. UNAM, ENEP Aragón. Enero del 2003.

Nava Jáuregui, Ramón Alberto.

Proyecto de ahorro de energía y uso eficiente de la energía eléctrica en planteles de la DGETI, en el estado de Morelos.

Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica. UNAM, ENEP Aragón.

NMX-J-098-ANCE-1999, norma mexicana ANCE, *sistemas eléctricos de potencia - suministro - tensiones eléctricas normalizadas.*

NOM-001-SEDE-1999, *norma Oficial Mexicana, instalaciones eléctricas (utilización).*

NOM-007-ENER-1995, *norma Oficial Mexicana, eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.*

NOM-025-STPS-1999, *norma Oficial Mexicana, condiciones de iluminación en los centros de trabajo.*

OSRAM, 2004.

Catálogo de especificaciones técnicas. Información general de iluminación.

PHILIPS, 2002.

Catálogo de especificaciones técnicas. Información general de iluminación.

PROY-NOM-007-ENER-2003, *proyecto de Norma Oficial Mexicana, eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.*

Solís Maldonado, Ulises.

Consideraciones generales en el diseño de un programa de diagnóstico para el ahorro de energía eléctrica en la micro y pequeña empresa.

Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica.

UNAM, ENEP Aragón. Agosto, 2000.

SQUARE D, 2004.

Catálogo de especificaciones técnicas. Productos de distribución y control.

pp. 325.

TOTAL GROUND, 2004.

Catálogo de especificaciones técnicas. Tierras.

pp. 325.

ANEXO A

Normas de eficiencia energética

Actualmente se encuentran las siguientes normas del área eléctrica en vigor:

NOM DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	Publicación en el DOF	Entrada en vigor
NOM-073-SCFI-1994 Aire acondicionado tipo cuarto	08/09/1994	01/01/1995
NOM-001-ENER-1995 Bombas verticales	22/12/1995	06/1996
NOM-004-ENER-1995 Bombas centrifugas	22/12/1995	06/1996
NOM-005-ENER-1995 Lavadoras de ropa	11/07/1996	11/05/1997
NOM-006-ENER-1995 Sistemas de bombeo	09/11/1995	11/1996
NOM-007-ENER-1995 Alumbrado en edificios	01/09/1995	09/1996
NOM-010-ENER-1996 Bombas sumergibles	07/03/1997	01/1998
NOM-011-ENER-1996 Acondicionadores de aire tipo central	08/08/97	
NOM-013-ENER-1996 Alumbrado para vialidades	16/05/1997	16/05/1998
NOM-014-ENER-1997 Motores de corriente alterna monofásicos, de inducción	17/07/98	18/07/98
NOM-015-ENER-1997 Refrigeradores y congeladores electrodomésticos	11/07/1997	01/08/1997
NOM-016-ENER-1997 Motores de corriente alterna, trifásicos de inducción	17/06/98	
NOM-017-ENER-1997 Lámparas fluorescentes compactas	22/06/98	
NOM-018-ENER-1997 Aislantes térmicos para edificaciones	24/10/97	

1

¹ Normas tomadas de la Página de la CONAE

ANEXO B

Tabla 1 Densidad de potencia eléctrica

Tipo de edificio	Espacios comunes pertenecientes a diferentes tipos de edificios.																Potencia adicional permitida *		
	Oficina cerrada	Oficina abierta	Sala de juntas / usos múltiples	Salón de clases / lectura / entrenamiento	Auditorio	Vestíbulo	Patio interior primeros 3 pisos	Patio interior pisos adicionales	Área recreativa	Restaurante	Preparación de alimentos	Baños	Corredores	Escaleras	Almacén activo	Almacén inactivo		Cuarto de máquinas o eléctricos	Áreas específicas y DPEA W/m ²
Escuelas																			
Escuelas / universidades	16.1	14.0	16.1	17.2		19.4	14.0	2.1	15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0		*
Bibliotecas	16.1	14.0	16.1	17.2		19.4	14.0	2.1	15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Llenado de tarjetas 15.1 Almacenamiento 20.4 Área de lectura 19.4	* * *
Edificio de oficina																			
Oficinas	16.1	14.0	16.1	17.2		19.4	14.0	2.1	15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Actividades bancarias 25.8 Laboratorio 19.4	* *

ANEXO C

Tabla 1. Niveles de iluminación recomendados por la I.E.S. y S.M.I.I.

Tipo de actividad	Luxes I.E.S.	Luxes S.M.I.I.
Auditorios:		
Para exhibiciones.	300	200
Para asambleas.	150	100
Para actividades sociales.	50	50
Bibliotecas:		
Sala de lectura.	700	400
Anaqueles.	300	200
Reparación de libros.	500	300
Archiveros y catalogar.	700	400
Mesa checadora de salidas y entradas de libros	700	400
Escuelas:		
Salones de clases.	700	400
Salones de dibujo (sobre restirador).	1000a	600a
Lectura de movimientos de labios (sordo mudos), pizarrones, costura.	1500a	900a
Oficinas:		
Proyectos y diseños.	2000	1100
Contabilidad, auditoria.	1500	900
Trabajos ordinarios de oficina.	1000	600
Archivado intermitente o discontinuado.	700	400
Sala de conferencias, entrevistas, salas de receso, archivos de poco uso, áreas donde no se exige fijación de la vista en forma prolongada.	300	200
Bodegas o cuartos de almacenamiento:		
Inactivas.	50	30
Activas:		
Piezas toscas.	100	60
Piezas medianas.	200	100
Piezas finas.	500	300
Escaleras	200	100
Pasillos y corredores	200	100
Baños y tocadores		
Iluminación general.	100	60
Espejos.	300b	200b
Alumbrado exterior:		
Alrededor de edificios.		10
Entradas:		
Activas (peatones y/o transportes)		50
Inactivos (normalmente cerradas)		10
Iluminación general áreas inactivas.		2
Estacionamientos.		50

Notas:

- a. Se puede obtener con la combinación de alumbrado general y alumbrado suplementario especializado, manteniendo las relaciones de brillantes recomendadas. Estas tareas visuales generalmente hacen intervenir la discriminación de los detalles delicados por largos periodos de tiempo y bajo condiciones de contraste reducido. Para dar la iluminación requerida, es necesario usar una combinación del alumbrado general antes indicado más el alumbrado suplementario especializado. El diseño e instalación de estos sistemas combinados no deberá únicamente proveer una cantidad suficiente de luz, sino que también deberá dar la dirección apropiada a la luz, difusión y además protección al ojo humano. Deberá también, tanto como sea posible, eliminar el deslumbramiento directo o reflejado como sombras desagradables.
- b. Para inspección minuciosa, 500 luxes.
- c. Los manuscritos a lápiz y la lectura de reproducción pobre requieren 700 luxes.
- d. Para inspección minuciosa, 500 luxes. Esto se puede hacer en el cuarto del baño, pero si se tiene un tocador, es necesario un alumbrado localizado para obtener un nivel recomendado.

ANEXO D

PUESTA A TIERRA

En la actualidad para poder garantizar un buen funcionamiento del sistema eléctrico debemos de tomar en cuenta el tener un buen sistema de tierras.

El poner a tierra un sistema eléctrico tiene por objetivo, según lo indica las Normas es proteger la vida humana y animal, los bienes y los sistemas eléctricos.

El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es para limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

Se logra uniendo mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, una parte del sistema eléctrico al planeta tierra.

Clasificación de los sistemas de tierra

Sistemas de tierra para protección. Se utiliza para conectar a tierra partes de una instalación que normalmente no esta energizada, y las que estándolo su valor es tan bajo que no representa peligro al personal por contacto directo. Con esta conexión a tierra se evitan los choques eléctricos al personal y daños al equipo por corrientes locales.

Sistema de tierras para servicio. Se utilizan para interconectar las bajadas de tierra de los pararrayos, cuya misión es la de neutralizar o atenuar las sobretensiones transitorias que se presentan en líneas por efecto de descargas atmosféricas y cuyo potencial depende de las distancias de la nube a la tierra.

Sistema de tierras para trabajo. Consiste en aterrizar en forma provisional parte de una instalación para realizar un trabajo que implique algún riesgo de choque eléctrico chispa que pueda originar algún daño.

Propósito de la puesta a tierra

Puesta a tierra de los equipos eléctricos. Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades y, para que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos. Se logra conectando al punto de conexión del sistema eléctrico con el planeta tierra, todas las partes metálicas que pueden llegar a energizarse, mediante un conductor apropiado a la corriente de corto circuito del propio sistema en el punto en cuestión.

Puesta a tierra en señales electrónicas. Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero.

Puesta a tierra de protección electrónica. Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por voltaje, se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero.

Puesta a tierra de protección atmosférica. Sirve para canalizar la energía de los rayos a tierra sin mayores daños a personas y propiedades. Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

Puesta a tierra de protección electrostática. Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas.

La regla es: Cada sistema de tierras debe cerrar únicamente el circuito eléctrico que le corresponde.

EQUIPOS Y CANALIZACIONES QUE DEBEN ESTAR PUESTOS A TIERRA CONFORME A NOM-001-SEDE-1999

Canalizaciones Metálicas

Deben estar aterrizadas, en general, todas las canalizaciones metálicas.

Equipo Fijo en General (250-42)

Bajo cualquiera de las siguientes condiciones, las partes metálicas que no conduzcan electricidad y que estén expuestas y puedan quedar energizadas, serán puestas a tierra:

- a) Donde el equipo está localizado a una altura menor a 2.4 m y a 1.5 m horizontalmente de objetos aterrizados y al alcance de una persona que puede hacer contacto con alguna superficie u objeto aterrizado.
- b) Si el equipo está en un lugar húmedo y no está aislado, o está en contacto con partes metálicas.
- c) Si el equipo está en un lugar peligroso o, donde el equipo eléctrico es alimentado por cables con cubierta metálica.
- d) Si el equipo opera con alguna terminal a más de 150 V a tierra, excepto en:

(1) Cubiertas de Interruptores automáticos que no sean el interruptor principal y, que sean accesibles a personas calificadas únicamente (250-42 Exc. 1).

(2) Estructuras metálicas de aparatos calentadores, exentos mediante permiso especial y si están permanentemente y efectivamente aisladas de tierra (250-42 Exc. 2).

(3) Carcasas de transformadores y capacitores de distribución montados en postes de madera a una altura mayor de 2.4 m sobre nivel del piso (250-42 Exc. 3).

(4) Equipos protegidos por doble aislamiento y marcados de esa manera (250-42 Exc. 4).

Equipo Fijo Específico (250-43)

Todas las partes metálicas no conductoras de corriente de las siguientes clases de equipos, no importando voltajes, deben ser puestas a tierra, mediante los conductores calculados según la Tabla 250-95 de la NOM, observando que no obstante se corran cables en paralelo por diferentes canalizaciones, el calibre de todos los cables de puesta a tierra dependen únicamente de la protección.

- a) Armazones de Motores como se especifica en la NOM (430-142).
- b) Gabinetes de controles de motores, excepto los que van unidos a equipos portátiles no aterrizados.
- c) Equipos eléctricos de elevadores y grúas.
- d) Equipos eléctricos en talleres mecánicos automotrices, teatros, y estudios de cine, excepto luminarios colgantes en circuitos de no más de 150 Volts a tierra.
- e) Equipos de Proyección de cine.
- f) Anuncios luminosos y equipos asociados.
- g) Generador y motores en órganos eléctricos.
- h) Armazones de tableros de distribución y estructuras de soporte, exceptuando las estructuras de tableros de corriente directa aislados efectivamente.
- i) Equipo alimentado por circuitos de control remoto de clase 1, 2 y 3 y circuitos de sistemas contra incendios cuando la NOM en la parte B del artículo 250 requiera su aterrizado.
- j) Luminarios conforme a la NOM en sus secciones 410-17 a 410-21.
- k) Bombas de agua, incluyendo las de motor sumergible.
- l) Capacitores (460-10).
- m) Además metálicos de pozos con bomba sumergible.

Equipos No Eléctricos (250-44)

Las siguientes partes metálicas de equipos no eléctricos serán puestas a tierra:

- a) Estructuras y vías de grúas operadas eléctricamente.
- b) La estructura metálica de elevadores movidos no eléctricamente, a las que están sujetos conductores eléctricos.
- c) Los cables de acero de los elevadores eléctricos.
- d) Partes metálicas de subestaciones de voltajes de más de 1 KV entre conductores.
- e) Casas móviles y Vehículos de recreo. (550 y 551).

Equipos Conectados por cordón y clavija (250-45)

Exceptuando los aparatos doble aislado o, conectado mediante un transformador de aislamiento con secundario a no más de 50 Volts todas las partes metálicas que puedan llegar a estar energizadas de equipos conectados mediante cordón, deben ser puestas a tierra en:

- a) En lugares clasificados peligrosos {500-517}.
- b) Cuando operan esos equipos a más de 150 V a tierra.
- c) En casas habitación:
 1. refrigeradores, congeladores y, aires acondicionados;
 2. lavadoras de ropa, secadoras, lavaplatos, y equipos eléctricos de acuarios;
 3. herramientas manuales eléctricas y,
 4. lámparas portátiles de mano.
- d) En otros lugares, no residenciales.
 1. refrigeradores, congeladores, y aire acondicionado;
 2. lavadoras, secadoras y maquinas lavaplatos, computadoras, y equipos eléctricos de acuarios;
 3. herramientas manuales portátiles
 4. Los aparatos motorizados como: podadoras y limpiadoras de pisos.
 5. Herramientas que se usen en ambientes húmedos o mojados o por personas que trabajan dentro de tanques metálicos; y,
 6. lámparas portátiles de mano.

Instalaciones Provisionales

Los requisitos mencionados arriba también deben cumplirse para todas las instalaciones provisionales (305-5).

Líneas

Se debe poner a tierra toda cerca metálica que se cruce con líneas suministradoras, a uno y otro lado del cruce, a una distancia sobre el eje de la cerca no mayor a 45m (2103-6).

Las estructuras metálicas, incluyendo postes de alumbrado, las canalizaciones metálicas, los marcos, tanques y soportes del equipo de líneas, etc. (2201-8b)

Puesta a tierra de equipos conectados mediante cordón

Las partes metálicas de equipos conectados mediante cordón y que deben estar aterrizadas, se conectan de una de las siguientes maneras:

1. Por medio de un contacto "polarizado".
2. Por medio de la conexión fija del cordón a un conductor de puesta a tierra.
3. Por medio de un cable o trenza conductora, aislada o desnuda, protegida contra daño mecánico.

Partes metálicas de equipos fijos consideradas aterrizadas

Se consideran aterrizados satisfactoriamente los equipos fijos, como cajas, gabinetes y conectores, cuando:

- Están metálicamente conectados a una pantalla aterrizada de un cable o, a un gabinete aterrizado.
- Están aterrizados mediante un cable desnudo o de color verde que está bien conectado a tierra.
- El equipo en corriente directa está en contacto directo con la estructura aterrizada metálica de un edificio.

COMPONENTES DEL SISTEMA

Electrodo de tierra

Es el conductor (astas, perfiles, cables desnudos, cintas, etc.) o conjunto de conductores en contacto con la tierra que garantizan una unión íntima con ella. Cuando los electrodos de tierra están lo suficientemente distantes como para que la corriente máxima susceptible de pasar por uno de ellos no modifique sensiblemente el potencial de los otros se dice que los electrodos de tierra son independientes.

Conductor de protección

Deben estar presentes en todas las instalaciones de baja tensión, sea cual fuere el esquema de tierra adoptado, y sirven para garantizar la continuidad del circuito de tierra, siendo designados internacionalmente por sus siglas en inglés PE (Protección Earth).

En un circuito terminal el conductor de protección liga las masas de los equipos de utilización y, si fuera el caso, el terminal de tierra de las alimentaciones de corriente; en un circuito de distribución, el conductor de protección vincula el terminal de tierra del tablero de donde parte el circuito al terminal de tierra del tablero de alimentación del circuito.

Tierra Física

Es la que envuelve al electrodo de Puesta a Tierra.

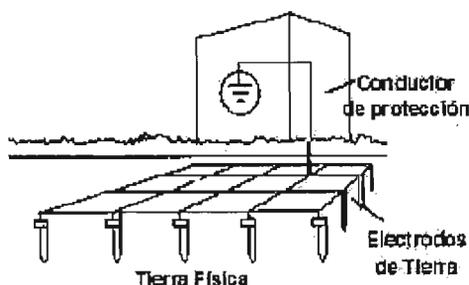


Fig. D.1 Distribución de los componentes de puesta a tierra.

Para ser efectivas las conexiones a tierra deben tener las siguientes características:

- Ser continuas y permanentes.
- Tener adecuada capacidad.
- Presentar baja impedancia.

ELECTRODOS PARA PUESTAS A TIERRA

Las partes enterradas del sistema de puesta a tierra (electrodos) son fundamentales para establecer el sistema de tierra exigido por las normas y por las necesidades operacionales de los equipos sensibles. Su función primaria es establecer una muy baja resistencia de referencia al potencial de tierra.

Las normas permiten emplear como electrodos a diversos elementos. Las mismas permiten seleccionar los materiales, longitudes, secciones de los conductores, etc., así como las conexiones a los mismos, de modo que presenten la sección adecuada para transportar las corrientes de fallas sin sobrecalentamientos. Adicionalmente, deben tener la suficiente resistencia mecánica para resistir los esfuerzos requeridos.

Es muy importante tomar en cuenta que por norma (250-26c), los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema.

De acuerdo con la norma oficial mexicana (250-81), el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos (siempre que existan):

- Tubería metálica de agua enterrada.
- Estructura metálica del inmueble.
- Electrodo empotrado en concreto.
- Anillo de tierra.

En caso de no disponer de alguno de los anteriores, se deben usar uno o más de los electrodos especialmente contruidos:

- Electrodos de varilla o tubería.
- Electrodos de Placa
- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.

Los tipos de electrodos fuera de la norma son:

1. Tuberías de gas enterradas.

2. Electrodos de aluminio. Aunque en Europa se han utilizado, los comités del NEC se opusieron a incluirlos porque el aluminio es un material que se corroe con mayor facilidad que el cobre y los compuestos químicos que se le forman no son buenos conductores eléctricos.

En los siguientes puntos se explica cada uno de esos tipos de electrodos.

Tubería metálica de agua enterrada

Para que una tubería de agua pueda usarse como electrodo de puesta a tierra, debe reunir los siguientes requisitos:

- a) Por lo menos tener 3 m en contacto directo con la tierra.
- b) Eléctricamente continua hasta el punto de conexión, puenteando el medidor del agua, si está colocado en una posición intermedia.

La única desventaja de su uso es que debe complementarse con un electrodo adicional, de cualquiera de los tipos mencionados arriba.

No confundir este tipo de electrodo, con el requerimiento, casi siempre olvidado, del artículo de la norma oficial mexicana (250-80a), de conectar los sistemas interiores de tuberías para agua al puente de unión principal o a los electrodos de puesta a tierra, de acuerdo con la tabla 250-94 de la misma norma, con el fin de poner a tierra los equipos.

Estructura metálica del edificio

La estructura metálica de los edificios puede ser usada, siempre que esté bien puesta a tierra, esto es, que su impedancia a tierra sea baja.

Para que sea baja la impedancia, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra de la norma (250-94) y, en caso de haber sellos formados por películas plásticas, se deben puentear éstos.

Electrodos de concreto armado o ufer

En las estructuras nuevas, el concreto armado puede ser utilizado como electrodo principal.

La NOM (250-81c) dice que debe de constar de por lo menos de 6 metros de una o más varillas de acero de no menos de 13 mm de diámetro localizado en y cerca del fondo de un cimiento o zapata, empotrado al menos 50 mm en el concreto.

El concreto tiene una estructura química alcalina y una composición que atrae y retiene humedad. La combinación de estas características permite al concreto exhibir una resistividad consistentemente de unos 30 ohms-m. Los electrodos de concreto tienen una resistencia a tierra mayor o igual que las varillas de cobre de un tamaño compatible, siempre que estén en contacto con suelos con resistividad de 50 ohms-m o menor.

Unas pruebas indican que la resistencia típica a tierra de una base para columna de anclaje medida en los pernos es de alrededor de 50 ohms, sin usar métodos especiales. De ahí que la resistencia efectiva de un edificio de estructura metálica con veintitantas columnas en paralelo es de menos de 5 ohms, siempre y cuando se asegure que la estructura esté conectada a las varillas. Para ello, se suelda por métodos de fusión un cable de acero a las varillas, mismo que se conectará a su respectiva columna.

Anillo de tierra

Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm y, que rodee al edificio o estructura.

Estos anillos de tierras se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA ESPECIALMENTE CONSTRUIDOS

Cuando no se dispone de alguno de los electrodos mencionados en el punto anterior, la norma oficial mexicana (250-83) dispone que se puedan usar uno o más de los electrodos siguientes:

- a) De Varilla o Tubería.
- b) Electrodos de Placa.
- c) Estructuras metálicas Subterráneas

Electrodos de varilla o tubería

De acuerdo con la NOM (250-83c) los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2.40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2.40 m de su longitud esté en contacto con la tierra.

Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm de diámetro, y las demás de por lo menos 16 mm. Las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 mm, y si son de hierro, deben tener una protección contra corrosión en su superficie.

Las varillas de acero con un recubrimiento de cobre de 10 milésimas dura un promedio de 35 años en un suelo promedio; si tiene un recubrimiento de 13 milésimas dura hasta 45 años. En cambio, una varilla de acero galvanizado tiene una vida estimada de 15 años.

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar. Ocasionalmente se ha sabido de casos donde las varillas han sido regresadas hacia la superficie después de haber tratado de clavarlas en terrenos rocosos.

Cuando la roca está a menos de 2,40 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 800 mm de profundidad por lo menos.

La alternativa al golpeado es perforar un agujero, instalar la varilla y rellenar nuevamente el agujero.



Fig. D.2 Varilla de tierra.

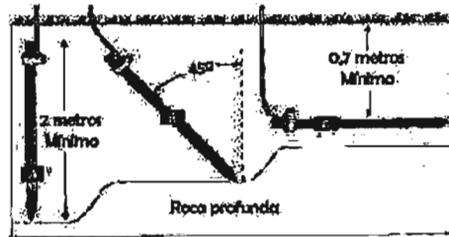


Fig. D.3 Colocación de la varilla.

Electrodos de placa

Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0,2 metros cuadrados de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o hierro deberán tener por lo menos 6,4 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1,52 mm de espesor.

Estructuras metálicas enterradas

La NOM menciona la puesta a tierra mediante sistemas de tuberías o tanques enterrados. Pero, puede ser cualquier clase de estructura metálica subterránea.

MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A TIERRA

La NOM (250-84) permite para los sistemas con un electrodo único que conste de una varilla, tubería o placa, que no tiene una resistencia a tierra de 25 ohms o menos, que se complemente con electrodos adicionales de los tipos mencionados en 8.1 separados por lo menos una distancia de 1,83 m entre sí.

En la práctica, cuando la resistencia del electrodo único mencionado, excede del valor buscado, esa resistencia se puede reducir de las siguientes maneras:

- a) Usando una varilla de mayor diámetro.
- b) Usando varillas más largas

- c) Poniendo dos, tres o más varillas en paralelo.
- d) Tratando químicamente el terreno.

Varillas de mayor diámetro

Usando varillas de 19 mm en lugar de varillas de 13 mm se logra una reducción en la resistencia a tierra de hasta un 10% máximo.

Varillas mas largas

Para los casos donde las capas superiores de la tierra son de arena y donde a gran profundidad se encuentra una capa de terreno húmedo, existen varillas que se acoplan unas a otras para lograr longitudes hasta de 15 m.

Aunque en algunas subestaciones de compañías eléctricas de los EU. han empleado varillas con longitudes de hasta 30 m.

Por lo general, doblando el largo, se obtiene una reducción del 40% de resistencia a tierra.

Varillas en paralelo

El colocar varias varillas en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistividad. Pero, las varillas de tierra no deben ser colocadas muy cerca una de otra, porque cada varilla afecta la impedancia del circuito.

La NOM (250-83) dice que la distancia entre ellas no debe ser menos de 1,83 m, aunque se recomienda que estén separadas más del largo de cualquiera de ellas.

Cuando se utilizan múltiples electrodos, la impedancia es mayor y cada electrodo adicional no contribuye con una reducción proporcional en la resistencia del circuito. Por ejemplo, dos varillas reducen la resistencia al 58% de una sola, mientras que 20 varillas apenas reducen ese valor al 10 %.

Mejoramiento del terreno

El problema de lograr una resistencia baja en la roca así como en otros suelos de alta resistividad, está asociada con el material en contacto con el electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. La bentonita entre otros compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, o de compuestos químicos patentados (THOR GEL, GEM, etc.) cumple con esos requisitos.

La bentonita es una arcilla consistente en el mineral montmorillonita, un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco. Y tiene una resistividad de 2.5 ohms-m con humedad del 300%.

Se puede utilizar uno de los cementos puzolánicos grafiticos conductores (EarthLink 101, etc.) de la siguiente manera: se cubre el cable del electrodo (4/0 AWG) colocado horizontalmente en una zanja de unos 75 cm de profundidad, con una capa de cemento seco de unos 5 cm de grueso y 50 cm de ancho. Con el tiempo, el cemento toma la humedad del suelo y endurece. Este método desarrollado en Japón en los 70s, tiene la ventaja que no requiere mantenimiento, es antirrobo, y por el tipo de material, no se corroen los cables con el tiempo. Y, se adapta perfectamente a los lugares donde la capa superficial es poco profunda y de alta resistividad.

Asumiendo que el suelo tiene resistividad uniforme, la mayor resistencia se encuentra en la superficie adyacente a la misma. Esto es así debido a que ésta es la menor superficie normal a las líneas de corriente que fluyen del electrodo. Cada capa sucesiva tiene una sección mayor y por lo tanto menor resistencia. A una distancia de 2,5 a 3 metros del electrodo, el área de paso de la corriente resulta ser tan grande que en una instalación normal, la resistencia es despreciable comparada con la que rodea directamente al electrodo. Se han realizado ediciones que demuestran que aproximadamente el 90% de la resistencia eléctrica total que rodea a un electrodo se encuentra en el límite de 2 a 3 m. del dispersor y esto es independiente de su longitud (Fig. D.4).



Fig. D.4 Resistencia del suelo.

Generalmente se emplean tres métodos para aplicar los químicos, ellos son:

1. Método de trinchera

Requiere la excavación del suelo en forma de anillo alrededor de la barra, y la colocación de los químicos en la trinchera (Fig. D.5). Este método elimina el contacto directo de los químicos con la barra.

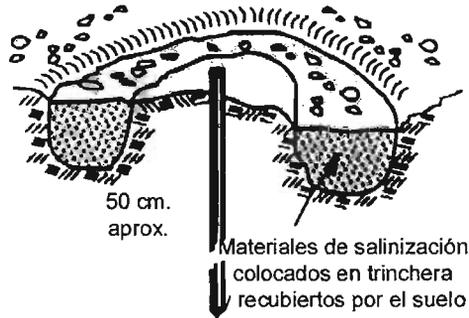


Fig. D.5 Método de trinchera.

2. Método de base

Involucra la excavación de tierra alrededor del electrodo y rellenarlo con productos químicos, que de esta manera quedan en contacto con el electrodo (Fig. 2.18), Fig. D.6.

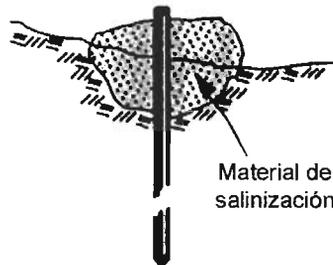


Fig. D.6 Método de base.

3. Método de "container"

Es mas lento para actuar pero mucho más duradero. Consiste en un caño de alrededor de 4 metros y 4" de diámetro que se entierra paralelo y cercano al electrodo de tierra. El tubo contiene elementos químicos permitiendo que drenen lentamente hacia el suelo en cercanías del electrodo (Figura D.7.).

Una versión mejorada del sistema "container" consiste en emplear un tubo de cobre de 2" de diámetro, lleno con sales metálicas, y con longitudes de hasta 5 metros. Los cambios en la presión atmosférica bombean aire a través de agujeros efectuados en la tapa del tubo. La humedad del aire se condensa en las paredes del tubo y desciende lentamente a través de la cama de sales metálicas hasta el fondo del tubo

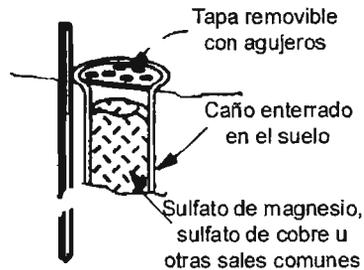


Fig. D.7 Método de "container".

MALLAS

La norma oficial mexicana de instalaciones eléctricas requiere de un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto (921-18).

La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0,30 a 1,0 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamiento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.

El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico de la subestación o planta generadora. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas (921-25).

En cada cruce de conductores de la malla, éstos deben conectarse rígidamente con soldadura exotérmica entre sí y en los puntos donde se conectan los equipos que pudieran presentar falla o, en las esquinas de la malla, los conductores deben conectarse a electrodos de varilla o tubo de 2,4 m de longitud mínima, clavados verticalmente.

Los cables que forman la malla deben colocarse preferentemente a lo largo de las hileras de estructuras o equipo para facilitar la conexión a los mismos, ya que es una práctica común de ingeniería aterrizar a dos cables diferentes todos los equipos.

Los conectores empleados en la malla del sistema de tierras de una subestación deben ser de tipo de compresión o soldables.

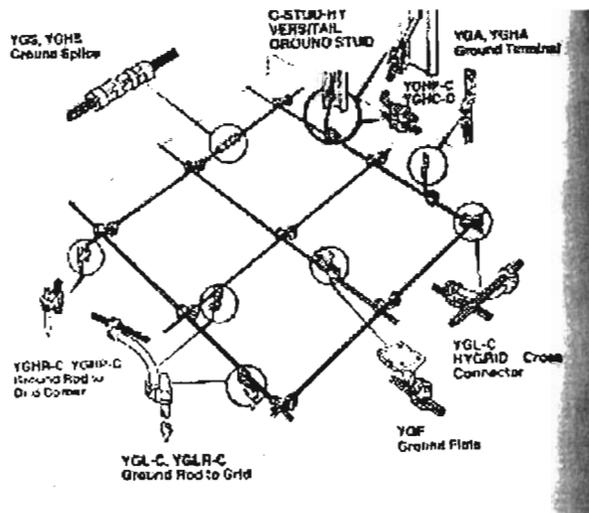


Fig. D.8 Malla de tierra.

CONECTORES

Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, abrazaderas u otros medios aprobados (250-115). Y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.)

Las abrazaderas deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores. Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado (250-115). Estos conectores apropiados tienen marcada la leyenda BURIED.

Importancia de la puesta a tierra de equipos

La importancia de la puesta a tierra en instalaciones domiciliarias, radica en la seguridad contra tensiones peligrosas para las personas por contactos indirectos. Las protecciones eléctricas deben, en estos casos de fallas, actuar desconectando la alimentación en tiempos que estén vinculados a los efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano.

Nota: Cuando una persona forma parte de un camino eléctrico recibe un shock eléctrico.

La intensidad y el daño originados por el shock están determinados por el nivel de corriente, la duración de la descarga y el camino que sigue la misma a lo largo del cuerpo. En este caso, como se ve en la figura D.9 la persona forma parte de un circuito en serie y ocurre, por ejemplo, cuando las personas toman contacto con un dispositivo que presente una falla.

El cuerpo humano cierra el circuito

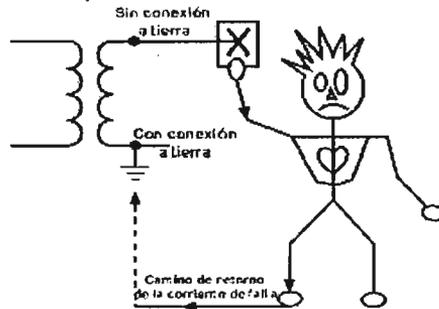


Fig. D.9 Descarga de corriente por el cuerpo.

En un circuito en paralelo, como aquellos en que el dispositivo con falla tiene conexión a tierra, además de la persona existe otro camino para la corriente. En este caso, una parte mínima de la falla a tierra fluye a través de las personas, pero en una magnitud suficiente como para hacer actuar a las protecciones. Fig. D.10.

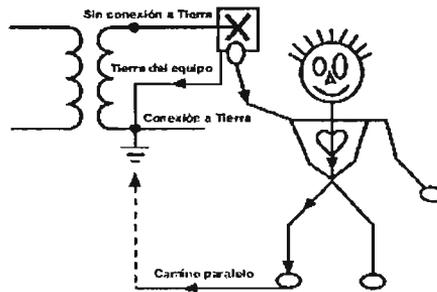


Fig. D.10 Falla a tierra, la corriente puede fluir por las personas.

MODELO DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA EN INSTALACIONES DE SISTEMAS DE CÓMPUTO Y COMUNICACIONES

¿Por qué se debe proteger el equipo de cómputo ante los picos de voltaje?

Un pico de voltaje es el incremento en el potencial eléctrico, más allá del nivel para el que un aparato está diseñado. La causa más frecuente de este fenómeno son las tormentas eléctricas. Un rayo que impacte cerca de líneas de transmisión de energía puede inducir presiones de millones de voltios. En estas condiciones no se recomienda siquiera el uso de los protectores. La mejor opción entonces sería desconectar el equipo, a menos que el sitio en donde se esté usando la computadora posea otros medios de protección, como pararrayos, que desvían la electricidad estática hacia la tierra.

Existen dispositivos para el suministro seguro de energía a la computadora son las Fuentes de Poder Ininterrumpible (UPS). Una UPS, además de regular la energía y suprimir los picos de voltaje, convierte el suministro de corriente alterna (AC) en corriente directa (DC) que se almacena en unas baterías. Si llega a haber una interrupción en el suministro externo de electricidad, la computadora seguirá operando mientras las baterías tengan energía y el proceso de conversión de corriente directa a alterna pueda efectuarse sin problema.

Dado que el tiempo no es demasiado -y cada vez menor si varios aparatos están conectados a la UPS- debe guardarse la información que se esté procesando y apagar de forma normal el equipo a la brevedad. El proceso de conversión entre AC y DC reduce los picos y las interferencias en la línea. El costo de una UPS puede ser desde mil a decenas de miles de pesos, en función de la cantidad de equipos por proteger y la energía necesaria. A pesar de que la UPS cubre a la computadora de los picos de voltaje, esto no elimina el uso de un protector por separado, ya que la misma UPS se puede estar dañando por los picos de voltaje que entran a ella.

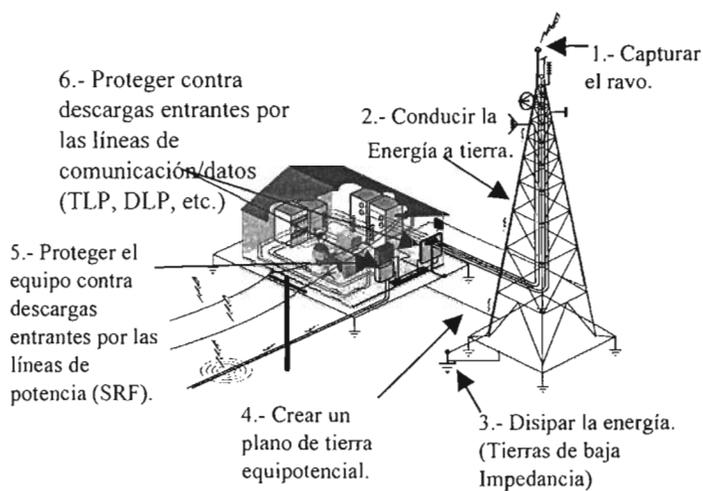


Fig. D.11 Sistema de tierras.

ANEXO E

Tabla 1 Censo de cargas en Iluminación

CENSO DE EQUIPO DE ILUMINACIÓN INSTALADO EN EL EDIFICIO Y ANEXO DE CENTRO DE COMPUTO									
UNAM, ENEP ARAGÓN, CTA					CENTRO DE COMPUTO				
NIVEL:	TIPO DE EDIF.			No de equipos	FECHA:		Carga tot. conectada:		
Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo.	Pot. (w)		Tot. W	Uso Horario (Hrs/día)			Observaciones
CENTRO DE COMPUTO									
						Lun.-Vie.	Sab.	Dom.	
Aula 1	51.15	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Luminarios sin funcionar bien.
Aula 2	51.15	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Una luminario no funciona.
Aula 3	50.88	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Interruptor roto.
Aula 4	50.88	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Luminarios sin funcionar bien.
Aula 5	60.57	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Algunas no sirven y no tienen difusor.
Aula 6	60.57	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Una lámpara parpadea, otras sin difusor.
Aula 7	75.34	Luminarias 2 x 39	100	18	1800	7 - 21 Hrs	0	0	Luminarios sin funcionar.
Pasillo de aulas	40.00	Luminarias 2 x 39	100	4	400	7 - 21 Hrs	0	0	
Minisistemas	49.60	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	Un luminario sin funcionar
Profesores	33.00	Luminarias 2 x 39	100	8	800	7 - 21 Hrs	0	0	
Profesores-2	10.50	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Recepción	20.45	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	Luminarias encendidas durante el día.
Ofic. Encargado	11.62	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Recepción Ppal.	26.40	Luminarias 2 x 39	100	5	500	7 - 21 Hrs	0	0	Luminarias encendidas durante el día.
Cubículo de PC	4.00	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	Luminario sin difusor.
Sala de analistas	43.10	Luminarias 2 x 39	100	10	1000	7 - 21 Hrs	0	0	
Cuarto de int.	7.05	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
Bodega	7.88	Luminarias 2 x 39	100	1	100		0	0	
PUBLICACIONES									
Púb. -1	9.30	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	
Púb. -2	12.80	Luminarias 2 x 39	100	4	400	7 - 21 Hrs	0	0	
Dif. Y Púb.	11.12	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	

Apoyos Gráficos.	10.30	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	
Pasillo	36.20	Luminarias 2 x 39	100	6	600	7 - 21 Hrs	0	0	
Publicaciones	9.30	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	
Redacción	20.60	Luminarias 2 x 39	100	6	600	7 - 21 Hrs	0	0	
REDACCIÓN									
Redacción-Lab	77.23	Luminarias 2 x 39	100	13	1300	7 - 21 Hrs	0	0	Luminarios sin difusor.
Redacción-Ofic.	9.81	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
FOTOGRAFÍA									
L-1	6.85	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
		Lámparas infrarrojas	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
L-2	6.82	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
		Lámparas infrarrojas	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
L-3	8.04	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
		Lámparas infrarrojas	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
L-4	5.86	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
		Lámparas infrarrojas	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Acabados	18.9	Luminarias 2 x 39	100	4	400	7 - 21 Hrs	0	0	Luminario sin funcionar bien.
Salón de clases	76.83	Luminarias 2 x 39	100	4	400	7 - 21 Hrs	0	0	
Recepción	6.76	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	
Lab. Profesional	13.25	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Pasillo, ppal.	5.85	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
Pasillo lab.	4.59	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
Pasillo a salón.	9.67	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
Bodega TM	9.37	Luminarias 2 x 39	100	2	200				
Bodega TV	12.24	Luminarias 2 x 39	100	2	200				
RADIO									
Cabina prod. - 1	9.20	Dicroicas	50	4	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Canina postprod.	9.00	Dicroicas	50	4	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Cabina prod.- 2	8.85	Dicroicas	50	4	200	7 - 21 Hrs	0	0	

Cabina control	8.73	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Oficina	9.32	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Salón de clases	36.22	Luminarias 2 x 39	100	8	800	7 - 21 Hrs	0	0	
TELEVISIÓN									
Entrada	25.00	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Maquillaje	8.00	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Baño	5.07	Luminarias 2 x 39	100	1	100	7 - 21 Hrs	0	0	
Estudio	92.50	Reflectores	250	4	1000		0	0	Con tablero de 100 Amp. Trifásicos.
		Reflectores	150	8	1200				Con tablero de 100 Amp. Trifásicos.
		Lámparas	1500	6	9000				Con tablero de 100 Amp. Trifásicos.
		Lámparas 2 x 75	150	10	1500				4 lámparas no sirven.
		Lámparas	1000	6	6000				Con tablero de 100 Amp. Trifásicos.
		Lámparas	250	4	1000				Con tablero de 100 Amp. Trifásicos.
Cabina de ilum.	8.10	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Almacén	14.36	Luminarias 2 x 39	100	3	300		0	0	
Cintoteca	7.50	Luminarias 2 x 39	100	2	200		0	0	
Mantenimiento	11.38	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
Cabina de postprod.	17.15	Luminarias 2 x 39	100	2	200	7 - 21 Hrs	0	0	
		Lámparas dicroicas	50	4	200	7 - 21 Hrs	0	0	No sirven todas las lámparas.
Pasillo arriba	22.00	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	
Cabina prod.	23.71	Lámparas incand.	100	4	400	7 - 21 Hrs	0	0	Falta mantenimiento.
		Lámparas dicroicas	50	4	200	7 - 21 Hrs	0	0	No sirven todas las lámparas.
Cabina locución	9.80	Lámparas incand.	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	
Aula - 1	34.00	Luminarias 2 x 39	100	6	600	7 - 21 Hrs	0	0	
Aula - 2	15.40	Luminarias 2 x 39	100	3	300	7 - 21 Hrs	0	0	No sirve un luminario
PASILLOS Y ESCALERAS									
Pasillo PB.	55.50	Luminarias 2 x 39	100	4	400	20-22 Hrs	0	0	
Pasillo primer nivel.	34.12	Luminarias 2 x 39	100	4	400	20-22 Hrs	0	0	
Pasillo segundo nivel	35.80	Luminarias 2 x 39	100	4	400	20-22 Hrs	0	0	

Reflectores de azotea		VSAP	0	6	0	20-7 Hrs	0	0	
Escaleras		Lámpara inc.	100	2	200	20-7 Hrs	0	0	
Baños		Luminarias 2 x 39	100	2	200				

Tabla 2 Censo de cargas para equipo eléctrico

CENSO DE CARGAS INSTALADAS EN EL EDIFICIO Y ANEXO DE CENTRO DE COMPUTO									
UNAM, ENEP ARAGÓN, CTA									
NIVEL:		TIPO DE EDIF.			Carga tot. conectada:				
Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo.	Pot. (w)	No.	Tot.	Uso Horario (Hrs/día)			Observaciones
				Equipos	Watts.	Lun.-Vie.	Sab.	Dom.	
CENTRO DE COMPUTO									
Aula 1	51.15	CPU	230.00	19	4370	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	19	2660	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
Aula 2	51.15	CPU	230.00	21	4830	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	21	2940	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
Aula 3	50.88	CPU	230.00	29	6670	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	29	4060	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	2	110	7 - 21 Hrs			
		Impresora	100.00	1	100	7 - 21 Hrs			
Aula 4	50.88	CPU	230.00	19	4370	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	19	2660	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
		Impresora	100.00	1	100	7 - 21 Hrs			
Aula 5	60.57	CPU	230.00	20	4600	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	20	2800	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
		Impresora	100.00	1	100	7 - 21 Hrs			

Aula 6	60.57	CPU	230.00	19	4370	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	19	2660	7 - 21 Hrs		
Aula 7	75.34	CPU	230.00	20	4600	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	20	2800	7 - 21 Hrs		
Minisistemas	49.60	CPU	230.00	8	1840	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	8	1120	7 - 21 Hrs		
		Ventilador	55.00	3	165	7 - 21 Hrs		
		Impresora HP400	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
		Impresora HP3420	100.00	2	200	7 - 21 Hrs		
Profesores	33.00	CPU	230.00	8	1840	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	8	1120	7 - 21 Hrs		
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		
		Impresora	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
		Scanner	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
Profesores-2	10.50	CPU	230.00	6	1380	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	6	840	7 - 21 Hrs		
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		
Recepción	20.45	Copiadora	1100.00	1	1100	7 - 21 Hrs		Poco uso
		CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Impresora HP1200	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
		Bocinas	50.00	1	50	7 - 21 Hrs		
Ofic. Encargado	11.62	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		
		Bocinas	50.00	1	50	7 - 21 Hrs		
Recepción Ppal.	26.40	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Impresora	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		
Cubículo de PC	4.00	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		

Sala de analistas	43.10	CPU	230.00	9	2070	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	9	1260	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
Cuarto de int.	7.05	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	5.00	1	5	7 - 21 Hrs			
PUBLICACIONES									
Púb. -1	9.30	CPU	230.00	2	460	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	2	280	7 - 21 Hrs			
		Fax	16.00	1	16	7 - 21 Hrs			
Púb. -2	12.80	CPU	230.00	3	690	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	3	420	7 - 21 Hrs			
		Cafetera	850.00	1	850	7 - 21 Hrs			
		Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
		Escaner	100.00	1	100	7 - 21 Hrs			
		Impresora	450.00	1	450	7 - 21 Hrs			Uso continuo.
		Impresora	390.00	1	390	7 - 21 Hrs			Uso continuo.
		Impresora	45.00	1	45	7 - 21 Hrs			Poco uso.
		Impresora	18.00	1	18	7 - 21 Hrs			Poco uso.
Dif. Y Púb...	11.12	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs			
		Bocinas	50.00	1	50	7 - 21 Hrs			
		Fax	50.00	1	50	7 - 21 Hrs			
Apoyos Graf.	10.30	Parrilla	1000.00	1	1000	7 - 21 Hrs			
		Televisión	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
Pasillo	36.20	Maquina escribir	30.00	2	60	7 - 21 Hrs			
		CPU	230.00	2	460	7 - 21 Hrs			
		Monitor	140.00	2	280	7 - 21 Hrs			
		Impresora	3.00	1	3	7 - 21 Hrs			
		Fotocopiadora	9.90	1	9.9	7 - 21 Hrs			
		Calentador de agua	400.00	1	400	7 - 21 Hrs			

		Ventilador	55.00	2	110	7 - 21 Hrs		
Publicaciones	9.30	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
Redacción	20.60	CPU	230.00	7	1610	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	7	980	7 - 21 Hrs		
		Impresora	100.00	4	400	7 - 21 Hrs		
		Scanner	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		Poco uso.
		Bocinas	50.00	2	100	7 - 21 Hrs		
REDACCIÓN								
Redacción-Lab	77.23	CPU	230.00	18	4140	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	18	2520	7 - 21 Hrs		
Redacción-Ofic.	9.81	CPU	230.00	2	460	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	2	280	7 - 21 Hrs		
		Impresora	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
		Scanner	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
FOTOGRAFÍA								
L-1	6.85	Expositor de películas	75.00	1	75	7 - 21 Hrs		Uso en cursos.
L-2	6.82	Expositor de películas	75.00	1	75	7 - 21 Hrs		Uso en cursos.
L-3	8.04	Calentador de agua	200.00	1	200	7 - 21 Hrs		
Acabados	18.9	Mesa de trabajo	200.00	2	400	7 - 21 Hrs		
		Mesa de trabajo	400.00	1	400	7 - 21 Hrs		
Salón de clases	76.83	Mesa de trabajo	180.00	1	180	7 - 21 Hrs		
		Reflectores	300.00	2	600	7 - 21 Hrs		Poco uso
Recepción	6.76	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
Lab. Profesional	3.36	Expositor de películas	75.00	1	75	7 - 21 Hrs		
RADIO								
Cabina postprod.	9.00	Aire acondicionado	500.00	1	500	7 - 21 Hrs		Uso continuo.
		CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Consola	40.00	1	40	7 - 21 Hrs		
		Consola	45.00	1	45	7 - 21 Hrs		
		Grabador	100.00	3	300	7 - 21 Hrs		

		Amplificadores	30.00	6	180	7 - 21 Hrs		
Cabina control	8.73	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Amplificador	28.00	1	28	7 - 21 Hrs		
		Amplificador	12.00	1	12	7 - 21 Hrs		
		Amplificador	30.00	1	30	7 - 21 Hrs		
		Amplificador	12.00	1	12	7 - 21 Hrs		
		Amplificador	10.00	1	10	7 - 21 Hrs		
		Grabador	100.00	1	100	7 - 21 Hrs		
		Enfriador de agua	150.00	1	150	7 - 21 Hrs		
		Consola	20.00	2	40	7 - 21 Hrs		
Oficina	9.32	CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Cafetera	1500.00	1	1500	7 - 21 Hrs		
		Radio	4.00	1	60	7 - 21 Hrs		
TELEVISIÓN								
Estudio	92.50	Televisores	55.00	2	110	7 - 21 Hrs		
Mantenimiento	11.38	Televisores	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		Contactos flameados
		Videocasetera	25.00	1	27	7 - 21 Hrs		
		CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
Cabina de postprod.	17.15	Monitores	140.00	4	560	7 - 21 Hrs		
		Consola de audio	35.00	1	35	7 - 21 Hrs		
		CPU	230.00	1	230	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	1	140	7 - 21 Hrs		
		Televisión	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		
		Amplificador de audio	110.00	1	110	7 - 21 Hrs		
		Monitor, 8 in	55.00	1	55	7 - 21 Hrs		
		Videograbadora	25.00	1	27	7 - 21 Hrs		
Cabina prod.	23.71	CPU	230.00	3	690	7 - 21 Hrs		
		Monitor	140.00	3	420	7 - 21 Hrs		
		Amplificador de audio	12.00	3	36	7 - 21 Hrs		
		Unidad de grabación	27.00	2	54	7 - 21 Hrs		

	Videograbadoras	27.00	3	81	7 - 21 Hrs			
	Consola de audio	35.00	1	35	7 - 21 Hrs			
	Televisores	55.00	3	165	7 - 21 Hrs			
	Monitores	140.00	7	980	7 - 21 Hrs			
	Ventilador	55.00	1	55	7 - 21 Hrs			
	Aire acondicionado	500.00	3	1500	7 - 21 Hrs			Uso continuo.

Tabla 3. Niveles máximos y mínimos encontrados en el edificio.

NIVELES DE ILUMINACIÓN				
Áreas		Día		
Zona	Área específica.	Pers. Cerradas	Persianas abiertas	
		Luces encendidas	Luces encendidas	Luces apagadas
C.C.	Oficina encargado	260/198	3000/510	No hay apag.
	Minisistemas	288/135	1200/320	1242/94
	Profesores - 2	284/128	398/158	No hay apag.
	Aula 7	376/140	1380/304	No hay apag.
	Pasillo de aulas	298/144	1820/280	No hay apag.
	Aulas 1-6	380/95	No hay persianas	
	Sala de analist.	271/210	285/275	No hay apag.
Taller de redacción	Oficina.	264/166	510/300	406/188
	Aula	330/100	830/173	No hay apag.
Publicaciones	Pasillo	290/211	290/231	128/85
	Redacción	370/84	1277/146	990/123
	Dif. Y Pub.	No hay persianas	294/164	560/94
	Pub. -1	365/200	769/240	500/205
	Pub -2	509/533	1042/760	755/410
Radio	Salon	180/112	586/170	485/64
	Oficina	377/110	No sirven las persianas	
	Cabina de producción	367/44	Es una aula cerrada	
	Cab. De radio	No hay persianas	670/55	0
	Cabina de control	No hay persianas	367/44	8/1
Televisión	Cabina de postprod.	No hay persianas	850/125	0
	Aula	No hay persianas	225/32	0
	Cab. Prod.	No hay persianas	170/21	0
	Cab locución	No hay persianas	58/64	0
	Pasillo	No hay persianas	165/81	0
	Escaleras	No hay persianas	164/70	0
Fotografía	Aula	337/200	No hay ventanas	
	Recepción	91/77	No hay ventanas	
	Acabados	139/16	No hay ventanas	
	L - 1	139/16	No hay ventanas	
	L - 2	170/76	No hay ventanas	
	L - 3	143/84	No hay ventanas	
	L - 4	151/103	No hay ventanas	
	Pasillo	48/25	No hay ventanas	

Tabla 4. Cambio de lámparas fluorescentes.

CAMBIO DE LÁMPARAS FLUORESCENTES PARA EL EDIFICIO					
Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo.	Pot. (w)	No de equipos	Tot. W
CENTRO DE COMPUTO					
Aula 1	51.15	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Aula 2	51.15	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Aula 3	50.88	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Aula 4	50.88	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Aula 5	60.57	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Aula 6	60.57	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Aula 7	75.34	Luminarias 2 x 32	67.2	18	1209.6
Pasillo de aulas	40.00	Luminarias 2 x 32	67.2	4	268.8
Minisistemas	49.60	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Profesores	33.00	Luminarias 2 x 32	67.2	8	537.6
Profesores-2	10.50	Luminarias 2 x 32	67.2	2	134.4
Recepción	20.45	Luminarias 2 x 32	67.2	3	201.6
Ofic. Encargado	11.62	Luminarias 2 x 32	67.2	2	134.4
Recepción Ppal.	26.40	Luminarias 2 x 32	67.2	5	336
Cubículo de PC	4.00	Luminarias 2 x 32	67.2	1	67.2
Sala de analistas	43.10	Luminarias 2 x 32	67.2	10	672
Cuarto de int.	7.05	Luminarias 2 x 32	67.2	1	67.2
Bodega	7.88	Luminarias 2 x 32	67.2	1	67.2
PUBLICACIONES					
Púb. -1	9.30	Luminarias 2 x 32	67.2	3	201.6
Púb. -2	12.80	Luminarias 2 x 32	67.2	4	268.8
Dif. Y Púb...	11.12	Luminarias 2 x 32	67.2	3	201.6
Apoys Graf.	10.30	Luminarias 2 x 32	67.2	3	201.6
Pasillo	36.20	Luminarias 2 x 32	67.2	6	403.2
Publicaciones	9.30	Luminarias 2 x 32	67.2	3	201.6
Redacción	20.60	Luminarias 2 x 32	67.2	6	403.2
REDACCIÓN					
Redacción-Lab	77.23	Luminarias 2 x 39	67.2	13	873.6
Redacción-Ofic.	9.81	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
FOTOGRAFÍA					
L-1	6.85	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
		Lámparas infrarrojas	67.2	2	134.4
L-2	6.82	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
		Lámparas infrarrojas	67.2	2	134.4
L-3	8.04	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
		Lámparas infrarrojas	67.2	2	134.4
L-4	5.86	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
		Lámparas infrarrojas	67.2	2	134.4
Acabados	18.9	Luminarias 2 x 39	67.2	4	268.8
Salón de clases	76.83	Luminarias 2 x 39	67.2	4	268.8
Recepción	6.76	Luminarias 2 x 39	67.2	3	201.6

ANEXO E CENSO DE CARGAS EN ILUMINACIÓN Y SISTEMA ELÉCTRICO, NIVELES DE ILUMINACIÓN EN EL EDIFICIO DEL CENTRO DE CÓMPUTO Y ANEXOS

Lab. Profesional	3.36	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
Pasillo, ppal.	5.85	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
Pasillo lab.	4.59	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
Pasillo a salón.	9.67	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
Bodega TM	9.37	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Bodega TV	12.24	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
RADIO					
Cabina prod. - 1	9.20	Dicroicas	50	4	200
Canina postprod.	9.00	Dicroicas	50	4	200
Cabina prod.- 2	8.85	Dicroicas	50	4	200
Cabina control	8.73	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Oficina	9.32	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Salón de clases	36.22	Luminarias 2 x 39	67.2	8	537.6
TELEVISIÓN					
Entrada	25.00	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Maquillaje	8.00	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Baño	5.07	Luminarias 2 x 39	67.2	1	67.2
Estudio		Lámparas 2 x 58	121.8	10	1218
Cabina de ilum.	8.10	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Almacén	14.36	Luminarias 2 x 39	67.2	3	201.6
Cintoteca	7.50	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Mantenimiento	11.38	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
Cabina de postprod.	17.15	Luminarias 2 x 39	67.2	2	134.4
		Lámparas dicroicas	67.2	4	268.8
Pasillo arriba	22.00	Luminarias 2 x 39	67.2	3	201.6
Cabina prod.	23.71	Lámparas incand.	67.2	4	268.8
		Lámparas dicroicas	67.2	4	268.8
Cabina locución	9.80	Lámparas incand.	67.2	3	201.6
Aula - 1	34.00	Luminarias 2 x 39	67.2	6	403.2
Aula - 2	15.40	Luminarias 2 x 39	67.2	3	201.6
PASILLOS Y ESCALERAS					
Pasillo PB.	55.50	Luminarias 2 x 39	67.2	4	268.8
Pasillo primer nivel.	34.12	Luminarias 2 x 39	67.2	4	268.8
Pasillo segundo nivel	35.80	Luminarias 2 x 39	67.2	4	268.8
Reflectores de azotea		VSAP	0	6	0
Escaleras		Lámpara inc.	67.2	2	134.4
Baños		Luminarias 2 x 39	67.2	4	268.8
Total					20163.6
Total anterior					28900
Ahorro %					29.51

Tabla 5. Densidad de potencia eléctrica del sistema de iluminación instalado.

Densidad de potencia eléctrica en alumbrado. Cálculos para el sistema instalado.						
Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo.	No de	Tot.	DPEA	DPEA
			equipos	W		NORMA
CENTRO DE COMPUTO						
Aula 1	51.15	Luminarias 2 x 39	10	1000	19.55	17.2
Aula 2	51.15	Luminarias 2 x 39	10	1000	19.55	17.2
Aula 3	50.88	Luminarias 2 x 39	10	1000	19.65	17.2
Aula 4	50.88	Luminarias 2 x 39	10	1000	19.65	17.2
Aula 5	60.57	Luminarias 2 x 39	10	1000	16.51	17.2
Aula 6	60.57	Luminarias 2 x 39	10	1000	16.51	17.2
Aula 7	75.34	Luminarias 2 x 39	18	1800	23.89	17.2
Pasillo de aulas	40.00	Luminarias 2 x 39	4	400	10.00	19.4
Minisistemas	49.60	Luminarias 2 x 39	10	1000	20.16	14
Profesores	33.00	Luminarias 2 x 39	8	800	24.24	14
Profesores-2	10.50	Luminarias 2 x 39	2	200	19.05	14
Recepción	20.45	Luminarias 2 x 39	3	300	14.67	19.4
Ofic. Encargado	11.62	Luminarias 2 x 39	2	200	17.21	14
Recepción Ppal.	26.40	Luminarias 2 x 39	5	500	18.94	19.1
Cubículo de PC	4.00	Luminarias 2 x 39	1	100	25.00	16.1
Sala de analistas	43.10	Luminarias 2 x 39	10	1000	23.20	16.1
Cuarto de int.	7.05	Luminarias 2 x 39	1	100	14.18	16.1
Bodega	7.88	Luminarias 2 x 39	1	100	12.69	11.8
PUBLICACIONES						
Púb. -1	9.30	Luminarias 2 x 39	3	300	32.26	14
Púb. -2	12.80	Luminarias 2 x 39	4	400	31.25	14
Dif. Y Púb...	11.12	Luminarias 2 x 39	3	300	26.98	14
Apoyos Graf.	10.30	Luminarias 2 x 39	3	300	29.13	14
Pasillo	36.20	Luminarias 2 x 39	6	600	16.57	19.4
Publicaciones	9.30	Luminarias 2 x 39	3	300	32.26	14
Redacción	20.60	Luminarias 2 x 39	6	600	29.13	14
REDACCIÓN						
Redacción-Lab	77.23	Luminarias 2 x 39	13	1300	16.83	14
Redacción-Ofic.	9.81	Luminarias 2 x 39	2	200	20.39	14
FOTOGRAFÍA						
L-1	6.85	Luminarias 2 x 39	1	100	14.61	16.1
		Lámparas infrarrojas	2	200		
L-2	6.82	Luminarias 2 x 39	1	100	14.66	16.1
		Lámparas infrarrojas	2	200		
L-3	8.04	Luminarias 2 x 39	2	200	24.88	16.1
		Lámparas infrarrojas	2	200		
L-4	5.86	Luminarias 2 x 39	1	100	17.06	16.1
		Lámparas infrarrojas	2	200		
Acabados	18.9	Luminarias 2 x 39	4	400	21.16	16.1
Salón de clases	76.83	Luminarias 2 x 39	4	400	5.21	17.2
Recepción	6.76	Luminarias 2 x 39	1	100	14.79	19.4
Lab. Profesional	13.25	Luminarias 2 x 39	2	100	7.55	16.1

ANEXO E CENSO DE CARGAS EN ILUMINACIÓN Y SISTEMA ELÉCTRICO, NIVELES DE ILUMINACIÓN EN EL EDIFICIO DEL CENTRO DE CÓMPUTO Y ANEXOS

Pasillo, ppal.	5.85	Luminarias 2 x 39	1	100	17.09	19.4
Pasillo lab.	4.59	Luminarias 2 x 39	1	100	21.79	19.4
Pasillo a salón.	9.67	Luminarias 2 x 39	1	100	10.34	19.4
Bodega TM	9.37	Luminarias 2 x 39	2	200	21.34	11.8
Bodega TV	12.24	Luminarias 2 x 39	2	200	16.34	11.8
RADIO						
Cabina prod. - 1	9.20	Dicroicas	4	200	21.74	16.1
Canina postprod.	9.00	Dicroicas	4	200	22.22	16.1
Cabina prod.- 2	8.85	Dicroicas	4	200	22.60	16.1
Cabina control	8.73	Luminarias 2 x 39	2	200	22.91	16.1
Oficina	9.32	Luminarias 2 x 39	2	200	21.46	14
Salón de clases	36.22	Luminarias 2 x 39	8	800	22.09	17.2
TELEVISIÓN						
Entrada	25.00	Luminarias 2 x 39	2	200	8.00	17.2
Maquillaje	8.00	Luminarias 2 x 39	2	200	25.00	16.1
Baño	5.07	Luminarias 2 x 39	1	100	19.72	10.8
Cabina de ilum.	8.10	Luminarias 2 x 39	2	200	24.69	16.1
Almacén	14.36	Luminarias 2 x 39	3	300	20.89	11.8
Cintoteca	7.50	Luminarias 2 x 39	2	200	26.67	11.8
Mantenimiento	11.38	Luminarias 2 x 39	2	200	17.57	14
Cabina de postprod.	17.15	Luminarias 2 x 39	2	200	11.66	16.1
	17.50	Lámparas dicroicas	4	200	11.43	16.1
Pasillo arriba	22.00	Luminarias 2 x 39	3	300	13.64	19.4
Cabina prod.	23.71	Lámparas incand.	4	400	16.87	17.2
	23.71	Lámparas dicroicas	4	200	8.44	17.2
Cabina locución	9.80	Lámparas incand.	3	300	30.61	17.2
Aula - 1	34.00	Luminarias 2 x 39	6	600	17.65	17.2
Aula - 2	15.40	Luminarias 2 x 39	3	300	19.48	17.2
PASILLOS Y ESCALERAS						
Pasillo PB.	55.50	Luminarias 2 x 39	4	400	7.21	19.4
Pasillo primer nivel.	34.12	Luminarias 2 x 39	4	400	11.72	19.4
Pasillo segundo nivel	35.80	Luminarias 2 x 39	4	400	11.17	19.4
Reflectores de azotea		VSAP	6	0		
Escaleras		Lámpara inc.	2	200		19.4
Baños	9.20	Luminarias 2 x 39	2	200	21.74	10.8

Tabla 6. Densidad de potencia eléctrica del sistema de iluminación con cambio a lámparas ahorradoras.

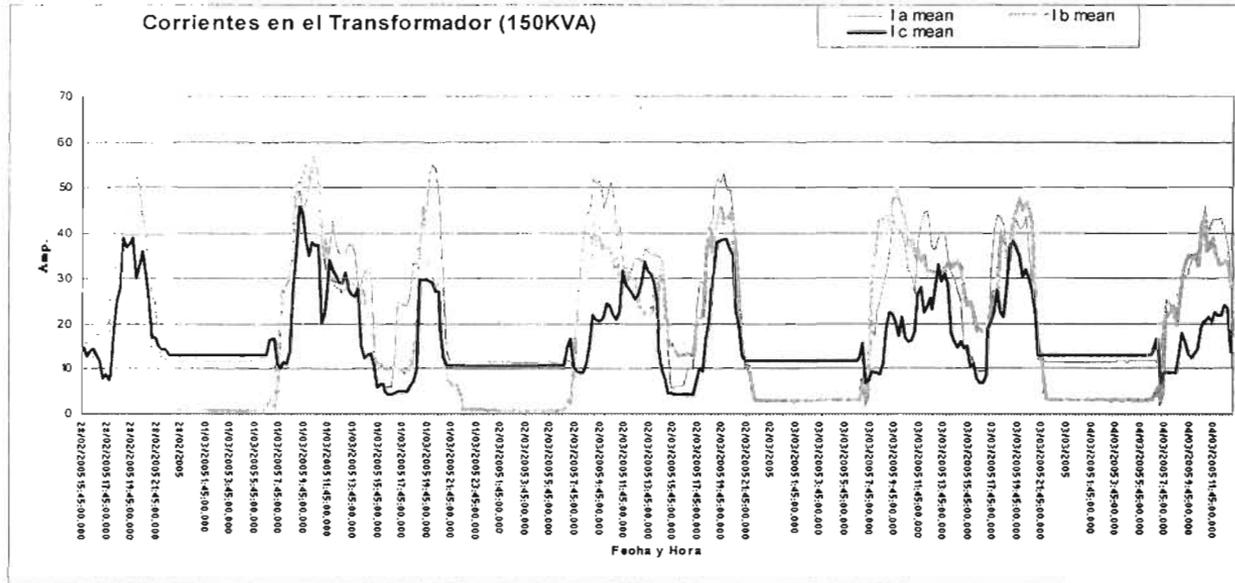
Densidad de potencia eléctrica en alumbrado. Cambio a luminarios de lámparas T8.						
Zona	Área (m ²)	Tipo de equipo.	No de	Tot. W	DPEA	DPEA
			equipos			NORMA
CENTRO DE COMPUTO						
Aula 1	51.15	Luminarias 2 x 39	10	670	13.10	17.2
Aula 2	51.15	Luminarias 2 x 39	10	670	13.10	17.2
Aula 3	50.88	Luminarias 2 x 39	10	670	13.17	17.2
Aula 4	50.88	Luminarias 2 x 39	10	670	13.17	17.2
Aula 5	60.57	Luminarias 2 x 39	10	670	11.06	17.2
Aula 6	60.57	Luminarias 2 x 39	10	670	11.06	17.2
Aula 7	75.34	Luminarias 2 x 39	18	1206	16.01	17.2
Pasillo de aulas	40.00	Luminarias 2 x 39	4	268	6.70	19.4
Minisistemas	49.60	Luminarias 2 x 39	10	670	13.51	14
Profesores	33.00	Luminarias 2 x 39	8	536	16.24	14
Profesores-2	10.50	Luminarias 2 x 39	2	134	12.76	14
Recepción	20.45	Luminarias 2 x 39	3	201	9.83	19.4
Ofic. Encargado	11.62	Luminarias 2 x 39	2	134	11.53	14
Recepción Ppal.	26.40	Luminarias 2 x 39	5	335	12.69	19.1
Cubiculo de PC	4.00	Luminarias 2 x 39	1	67	16.75	16.1
Sala de analistas	43.10	Luminarias 2 x 39	10	670	15.55	16.1
Cuarto de int.	7.05	Luminarias 2 x 39	1	67	9.50	16.1
Bodega	7.88	Luminarias 2 x 39	1	67	8.50	11.8
PUBLICACIONES						
Púb. -1	9.30	Luminarias 2 x 39	3	201	21.61	14
Púb. -2	12.80	Luminarias 2 x 39	4	268	20.94	14
Dif. Y Púb...	11.12	Luminarias 2 x 39	3	201	18.08	14
Apoyos Graf.	10.30	Luminarias 2 x 39	3	201	19.51	14
Pasillo	36.20	Luminarias 2 x 39	6	402	11.10	19.4
Publicaciones	9.30	Luminarias 2 x 39	3	201	21.61	14
Redacción	20.60	Luminarias 2 x 39	6	402	19.51	14
REDACCIÓN						
Redacción-Lab	77.23	Luminarias 2 x 39	13	871	11.28	14
Redacción-Ofic.	9.81	Luminarias 2 x 39	2	134	13.66	14
FOTOGRAFÍA						
L-1	6.85	Luminarias 2 x 39	1	67	9.79	16.1
		Lámparas infrarrojas	2			
L-2	6.82	Luminarias 2 x 39	1	67	9.82	16.1
		Lámparas infrarrojas	2			
L-3	8.04	Luminarias 2 x 39	2	134	16.67	16.1
		Lámparas infrarrojas	2			
L-4	5.86	Luminarias 2 x 39	1	67	11.43	16.1
		Lámparas infrarrojas	2			
Acabados	18.9	Luminarias 2 x 39	4	268	14.18	16.1

ANEXO E CENSO DE CARGAS EN ILUMINACIÓN Y SISTEMA ELÉCTRICO, NIVELES DE ILUMINACIÓN EN EL EDIFICIO DEL CENTRO DE CÓMPUTO Y ANEXOS

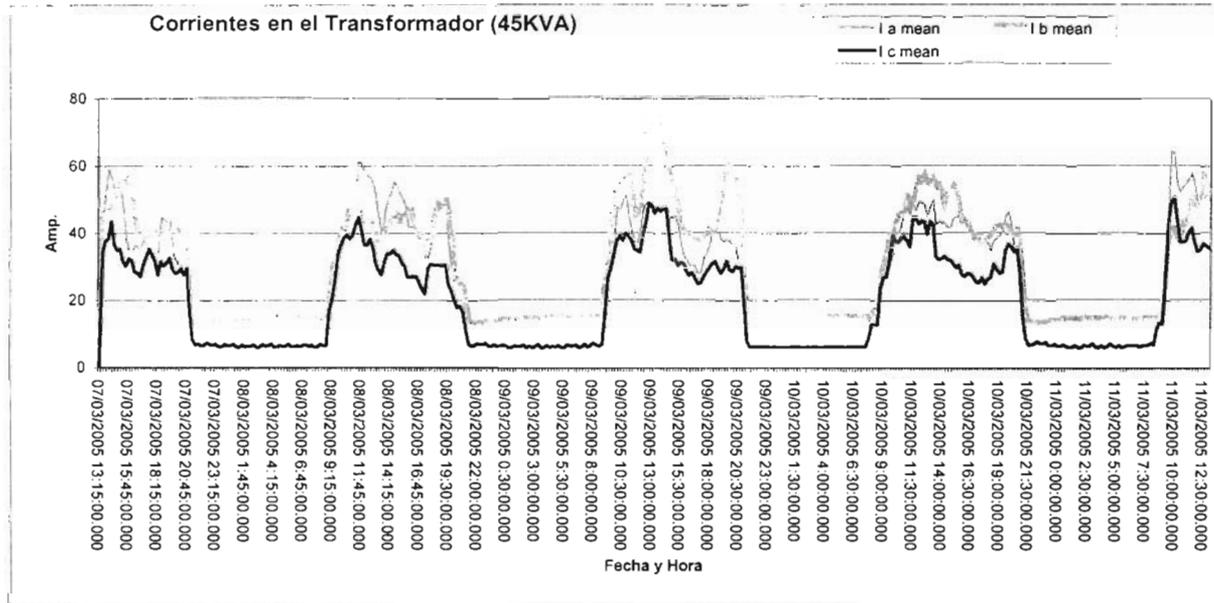
Salón de clases	76.83	Luminarias 2 x 39	4	268	3.49	17.2
Recepción	6.76	Luminarias 2 x 39	1	67	9.91	19.4
Lab. Profesional	13.25	Luminarias 2 x 39	2	134	10.11	16.1
Pasillo, ppal.	5.85	Luminarias 2 x 39	1	67	11.45	19.4
Pasillo lab.	4.59	Luminarias 2 x 39	1	67	14.60	19.4
Pasillo a salón.	9.67	Luminarias 2 x 39	1	67	6.93	19.4
Bodega TM	9.37	Luminarias 2 x 39	2	134	14.30	11.8
Bodega TV	12.24	Luminarias 2 x 39	2	134	10.95	11.8
RADIO						
Cabina prod. - 1	9.20	Luminarias 2 x 39	2	134	14.57	16.1
Canina postprod.	9.00	Luminarias 2 x 39	2	134	14.89	16.1
Cabina prod.- 2	8.85	Luminarias 2 x 39	2	134	15.14	16.1
Cabina control	8.73	Luminarias 2 x 39	2	134	15.35	16.1
Oficina	9.32	Luminarias 2 x 39	2	134	14.38	14
Salón de clases	36.22	Luminarias 2 x 39	8	536	14.80	17.2
TELEVISIÓN						
Entrada	25.00	Luminarias 2 x 39	2	134	5.36	17.2
Maquillaje	8.00	Luminarias 2 x 39	2	134	16.75	16.1
Baño	5.07	Luminarias 2 x 39	1	67	13.21	10.8
Cabina de ilum.	8.10	Luminarias 2 x 39	2	134	16.54	16.1
Almacén	14.36	Luminarias 2 x 39	3	201	14.00	11.8
Cintoteca	7.50	Luminarias 2 x 39	2	134	17.87	11.8
Mantenimiento	11.38	Luminarias 2 x 39	2	134	11.78	14
Cabina de postprod.	17.15	Luminarias 2 x 39	2	134	7.81	16.1
	17.50	Luminarias 2 x 39	2	134	7.66	16.1
Pasillo arriba	22.00	Luminarias 2 x 39	3	201	9.14	19.4
Cabina prod.	23.71	Lámparas incand.	4	268	11.30	17.2
	23.71	Lámparas dicroicas	4			17.2
Cabina locución	9.80	Lámparas incand.	3	201	20.51	17.2
Aula - 1	34.00	Luminarias 2 x 39	6	402	11.82	17.2
Aula - 2	15.40	Luminarias 2 x 39	3	201	13.05	17.2
PASILLOS Y ESCALÉRAS						
Pasillo PB.	55.50	Luminarias 2 x 39	4	268	4.83	19.4
Pasillo primer nivel.	34.12	Luminarias 2 x 39	4	268	7.85	19.4
Pasillo segundo nivel	35.80	Luminarias 2 x 39	4	268	7.49	19.4
Reflectores de azotea		VSAP	6			
Escaleras		Lámpara inc.	2	134		19.4
Baños	9.20	Luminarias 2 x 39	2	134	14.57	10.8

ANEXO F

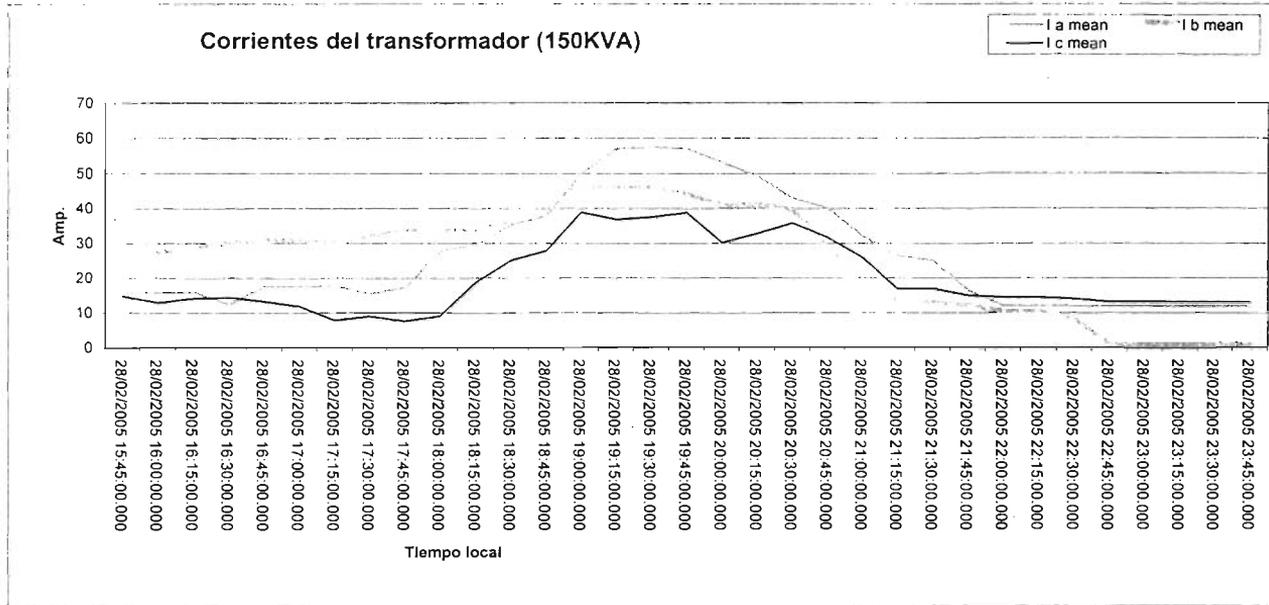
Gráfica 1



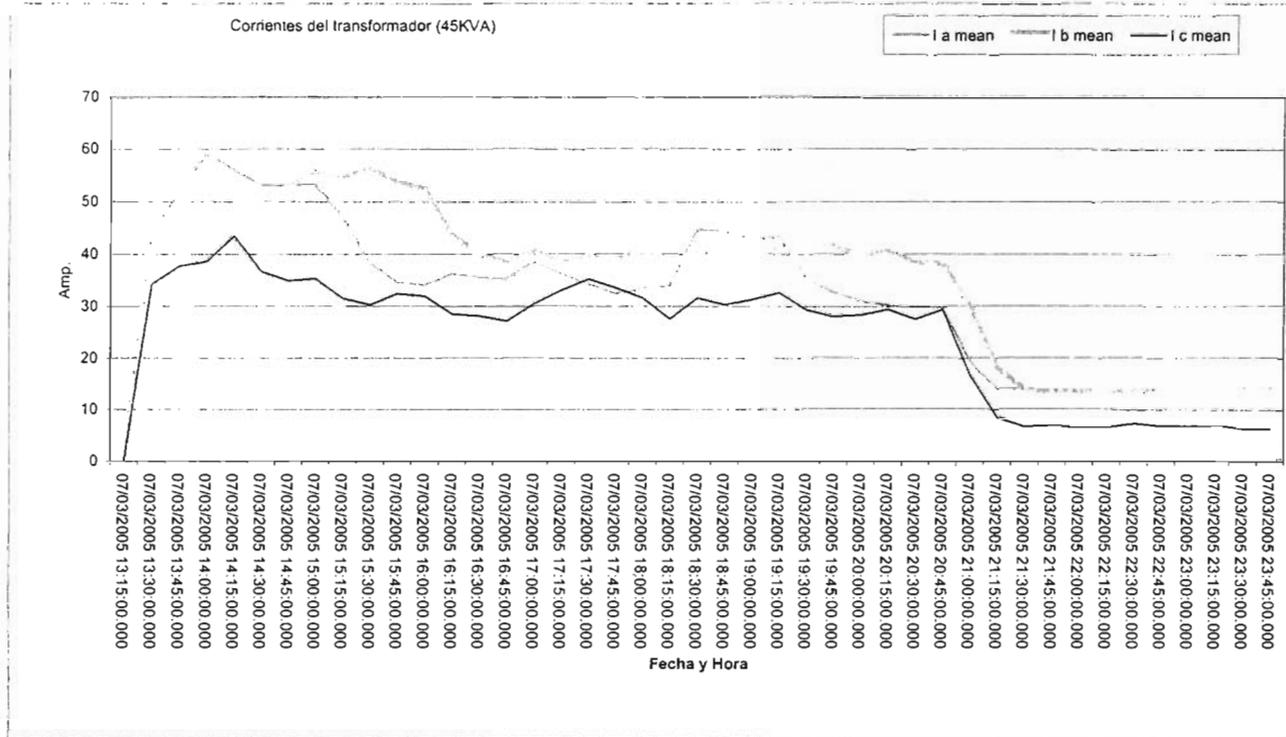
Gráfica 2



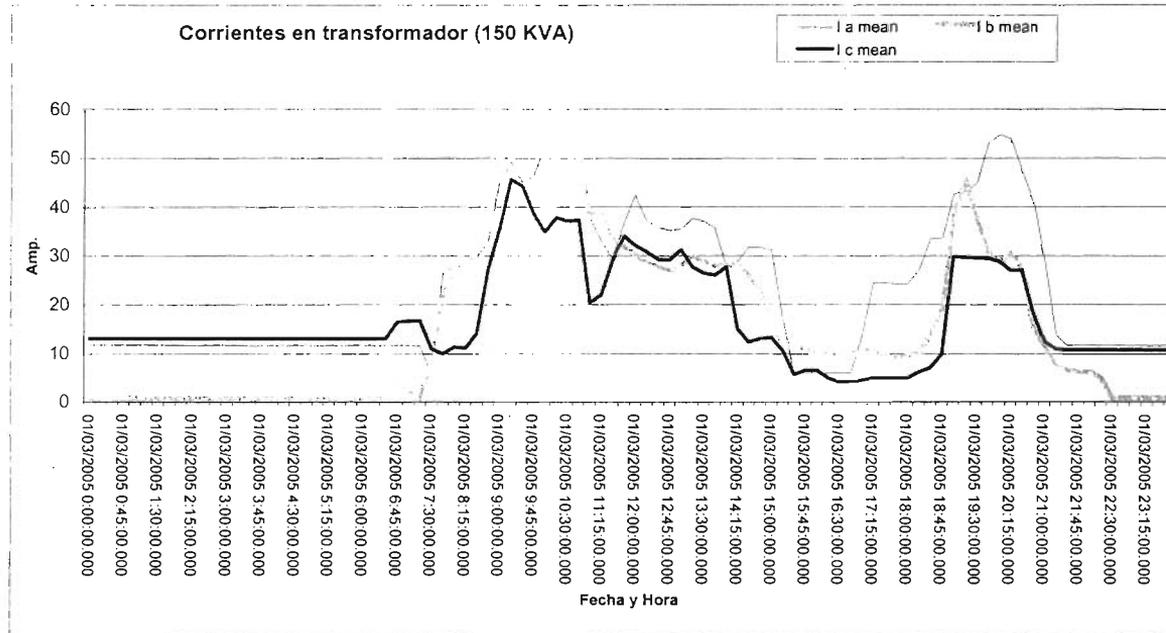
Gráfica 3



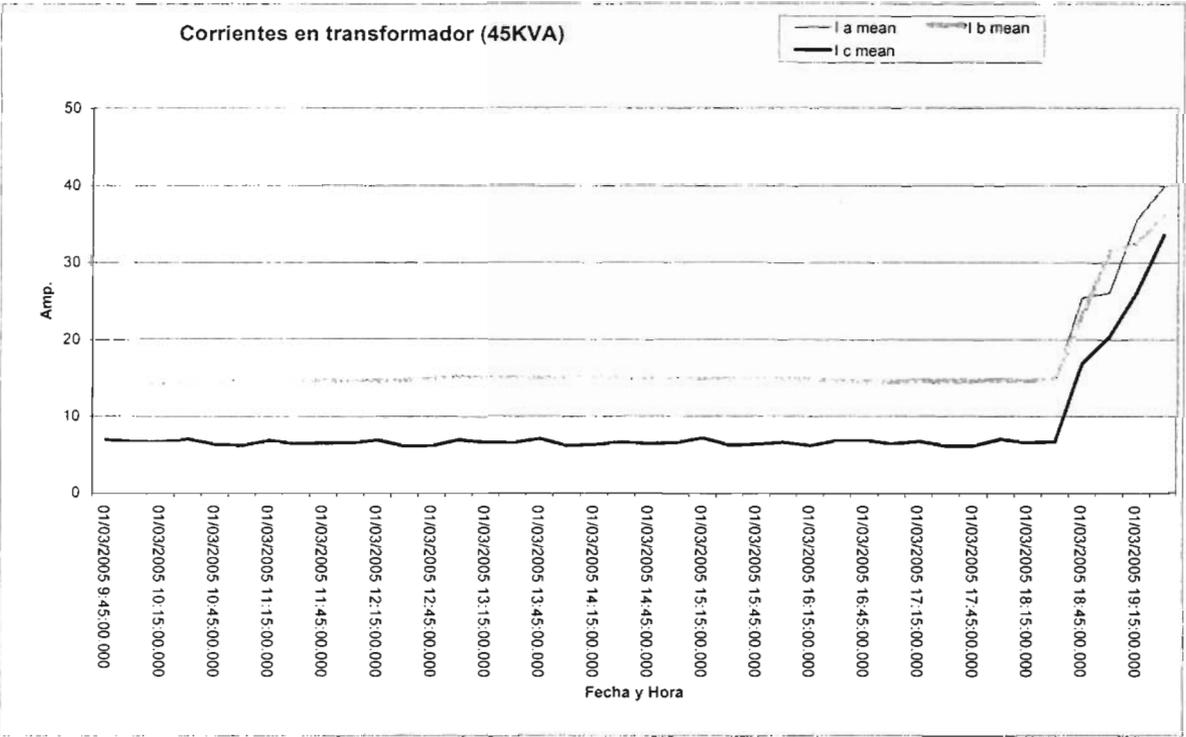
Gráfica 4



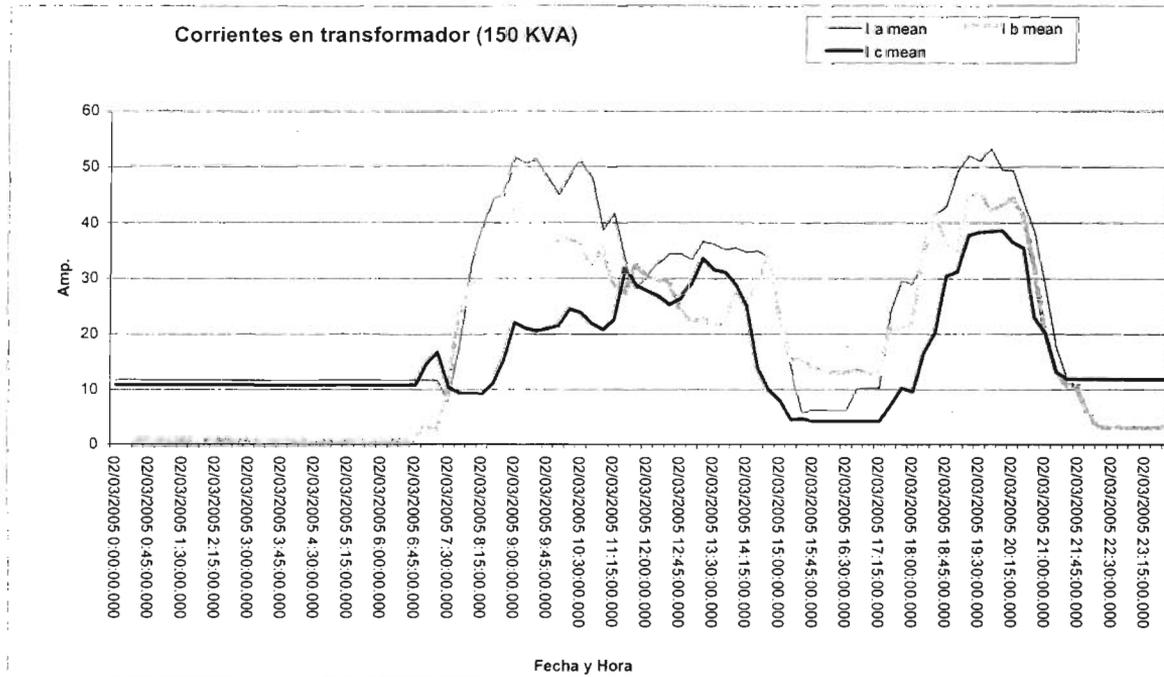
Gráfica 5



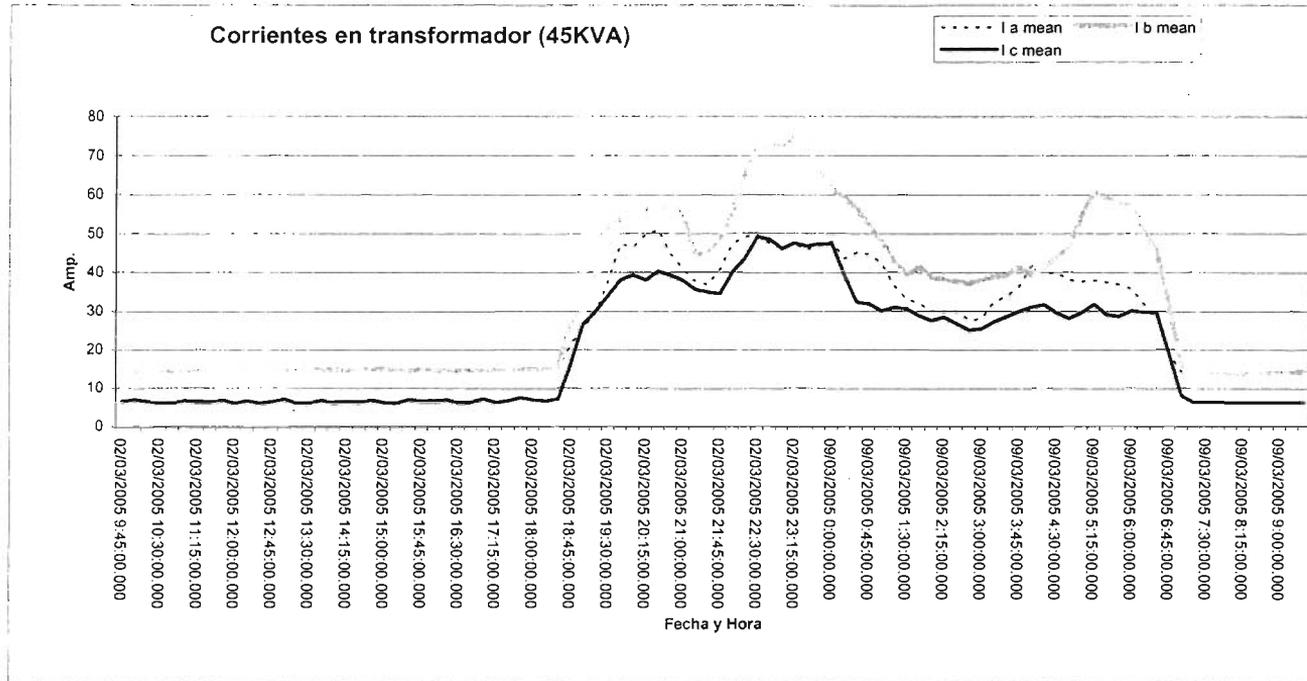
Gráfica 6



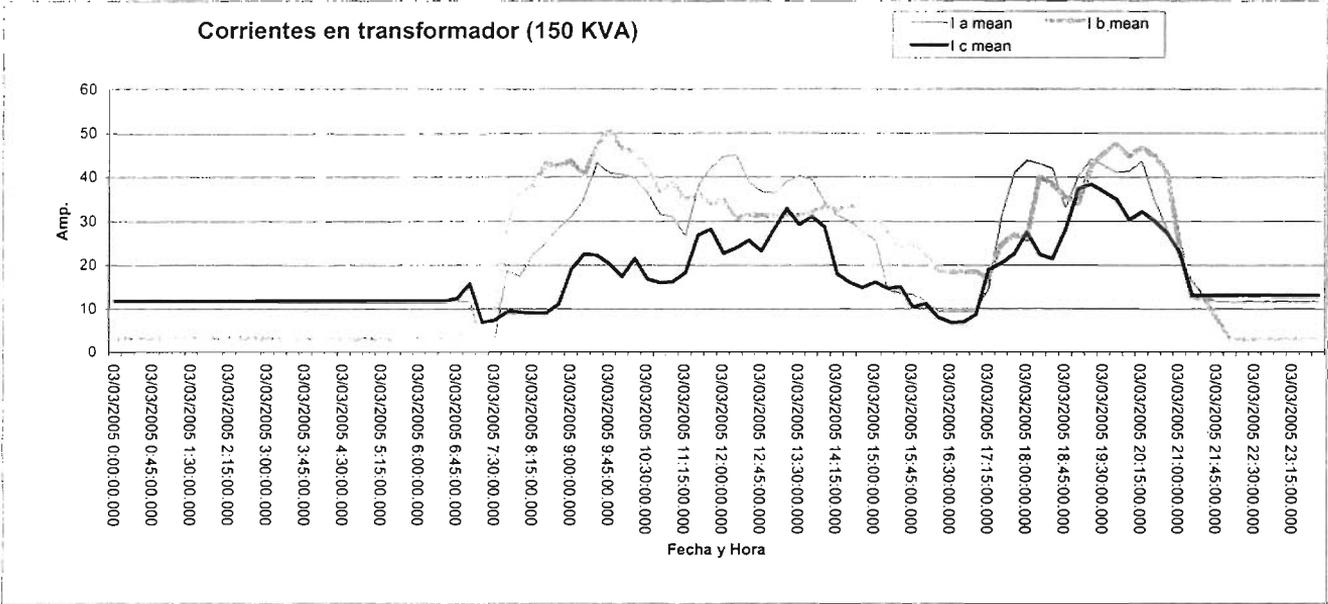
Gráfica 7



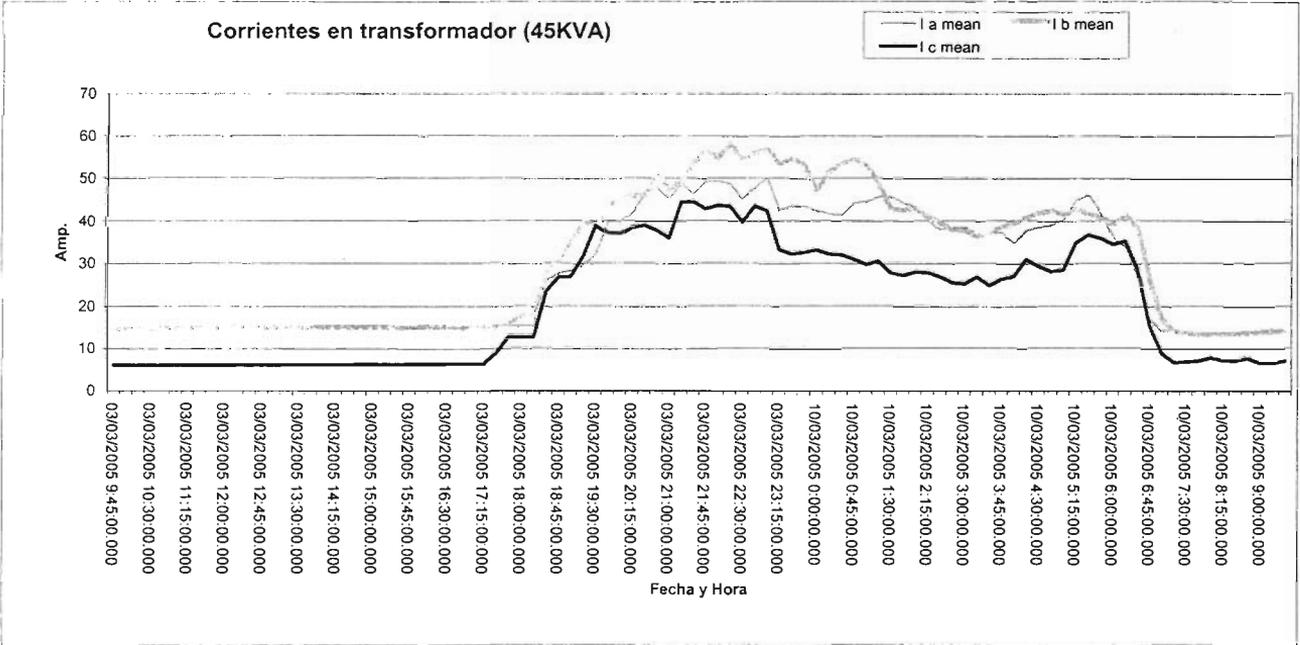
Gráfica 8



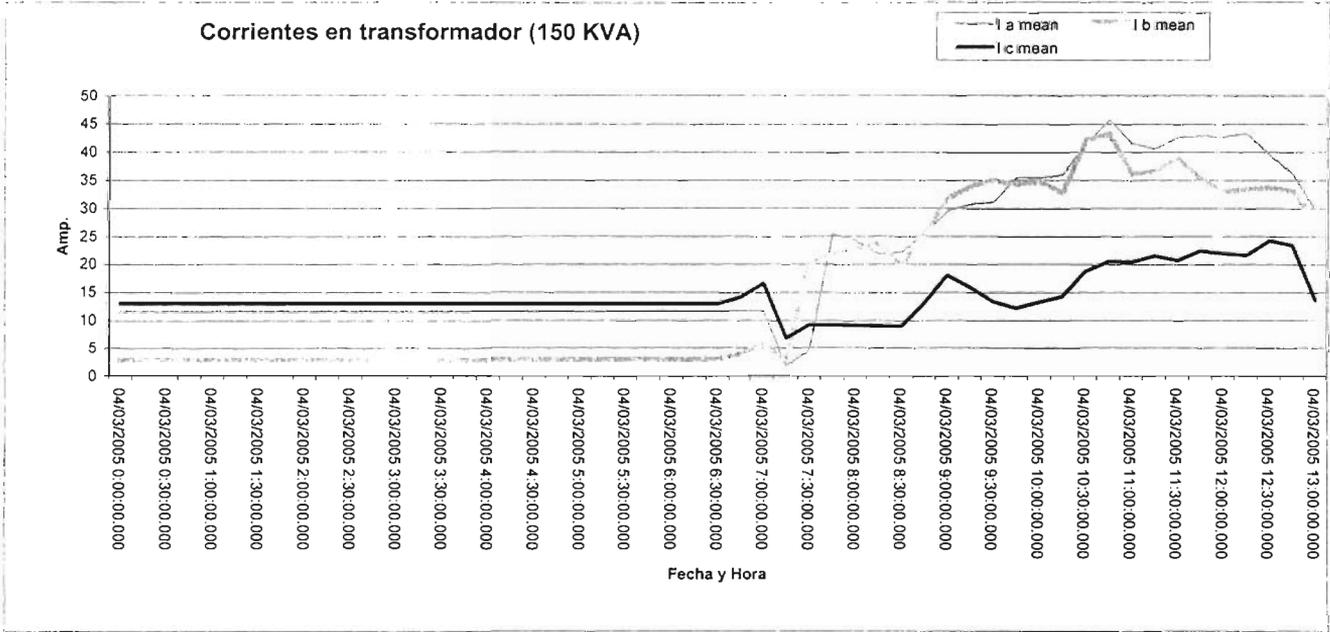
Gráfica 9



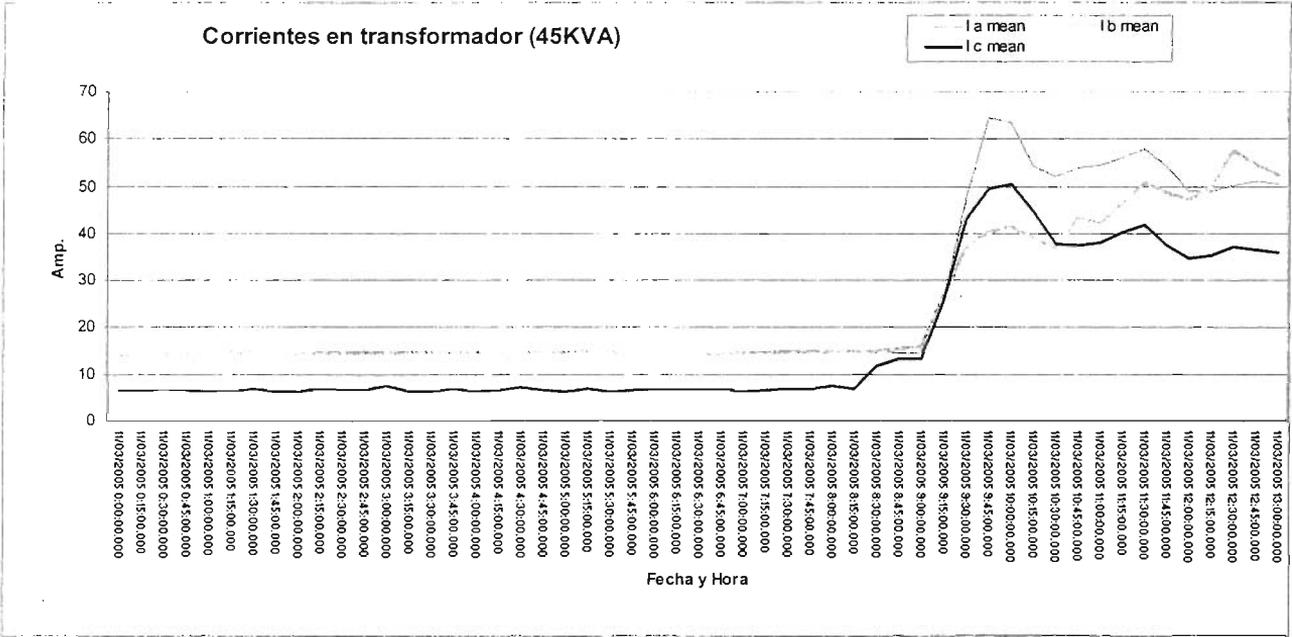
Gráfica 10



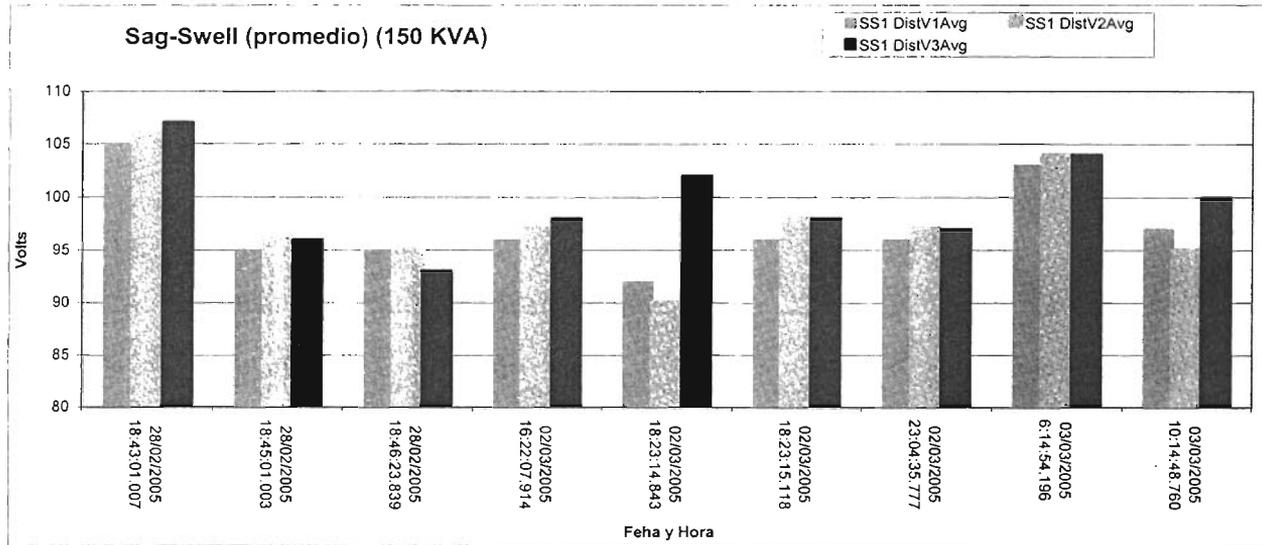
Gráfica 11



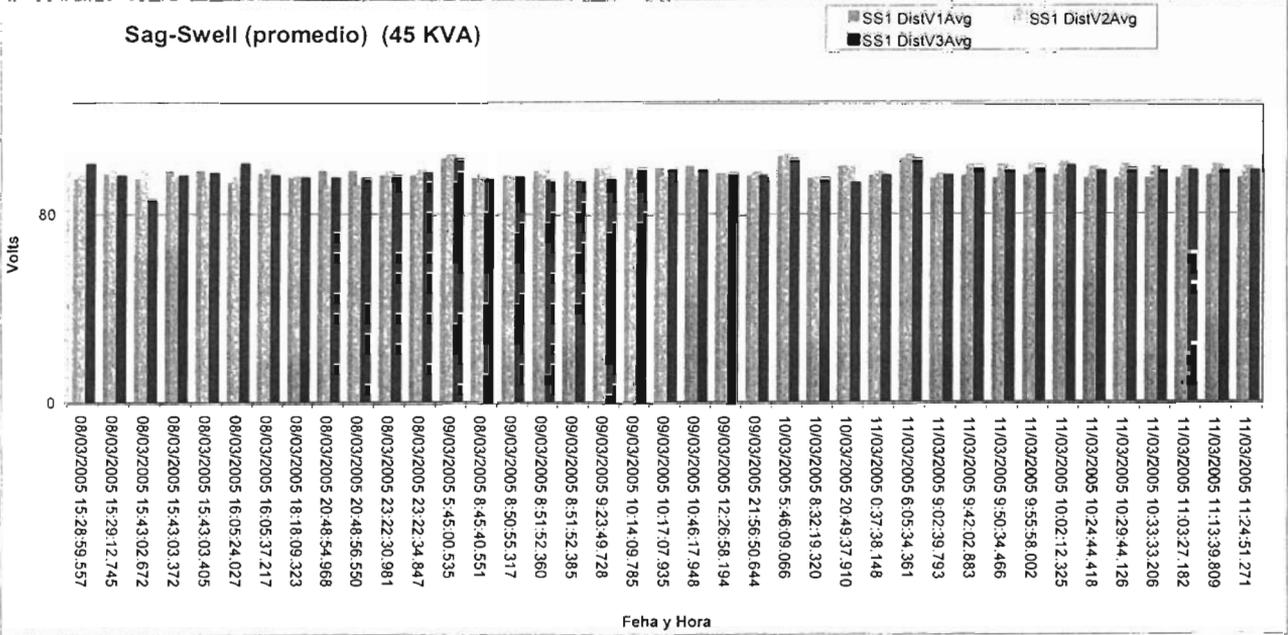
Gráfica 12



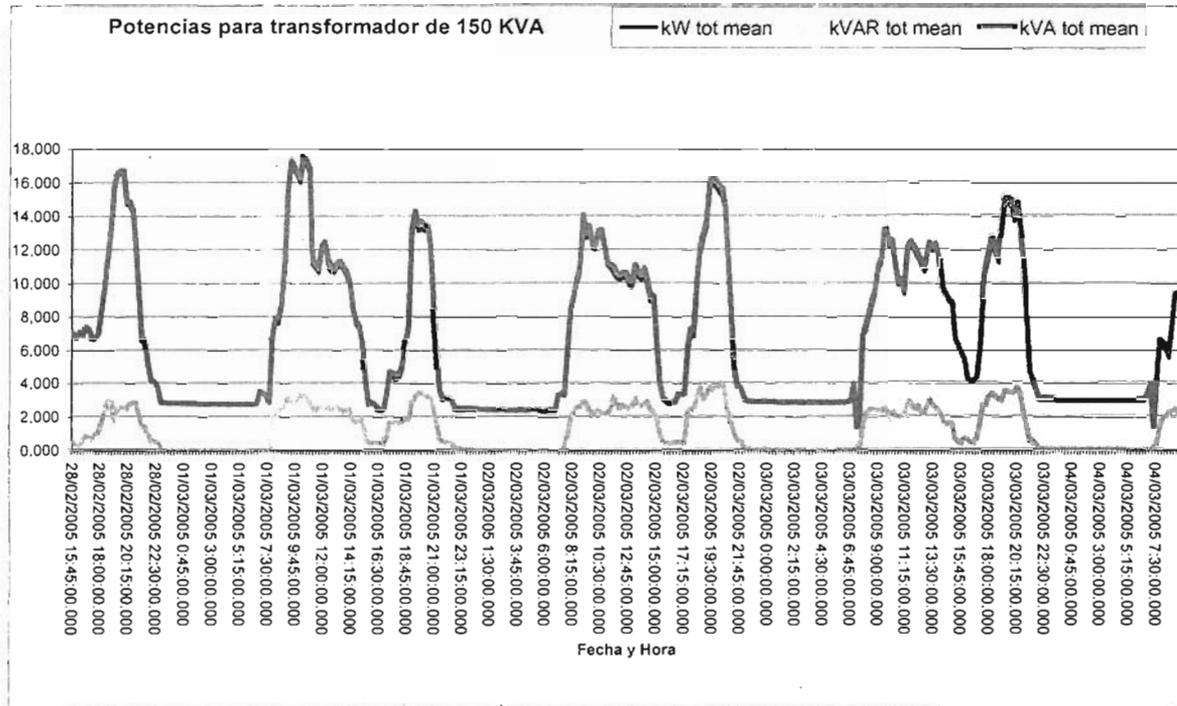
Gráfica 13



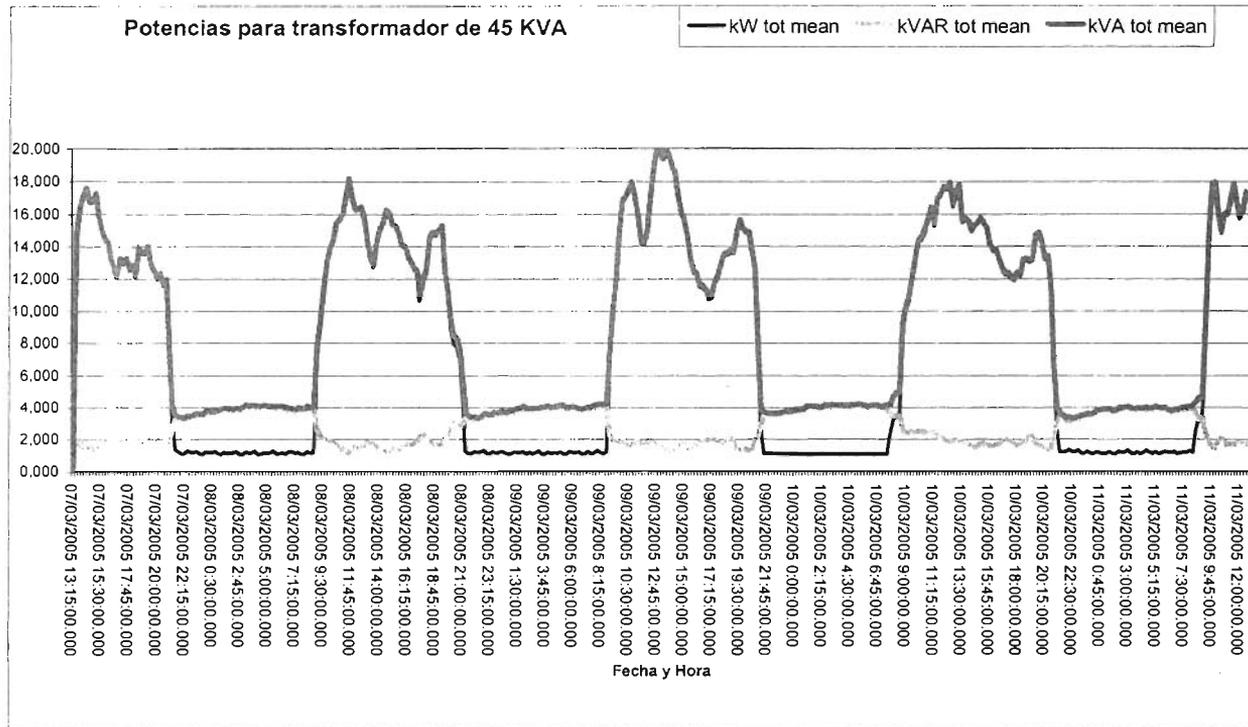
Gráfica 14



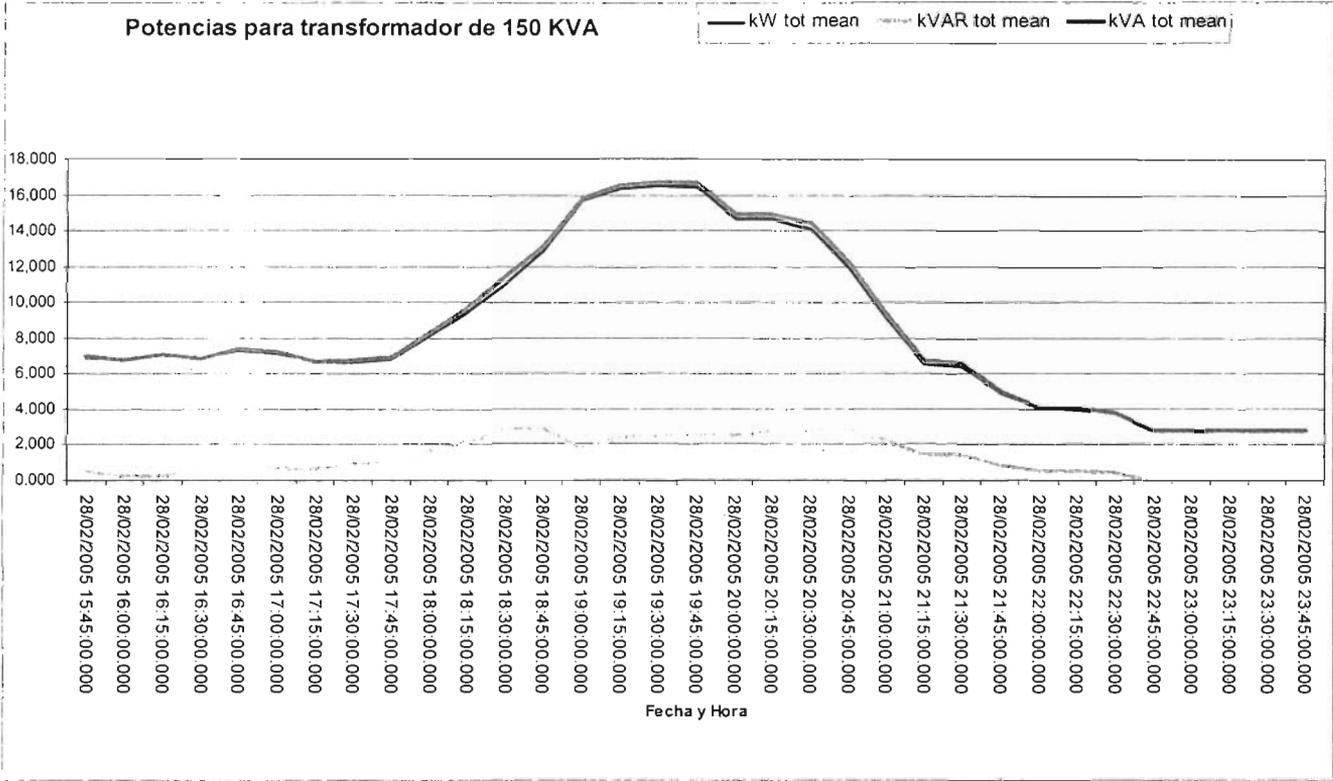
Gráfica 15



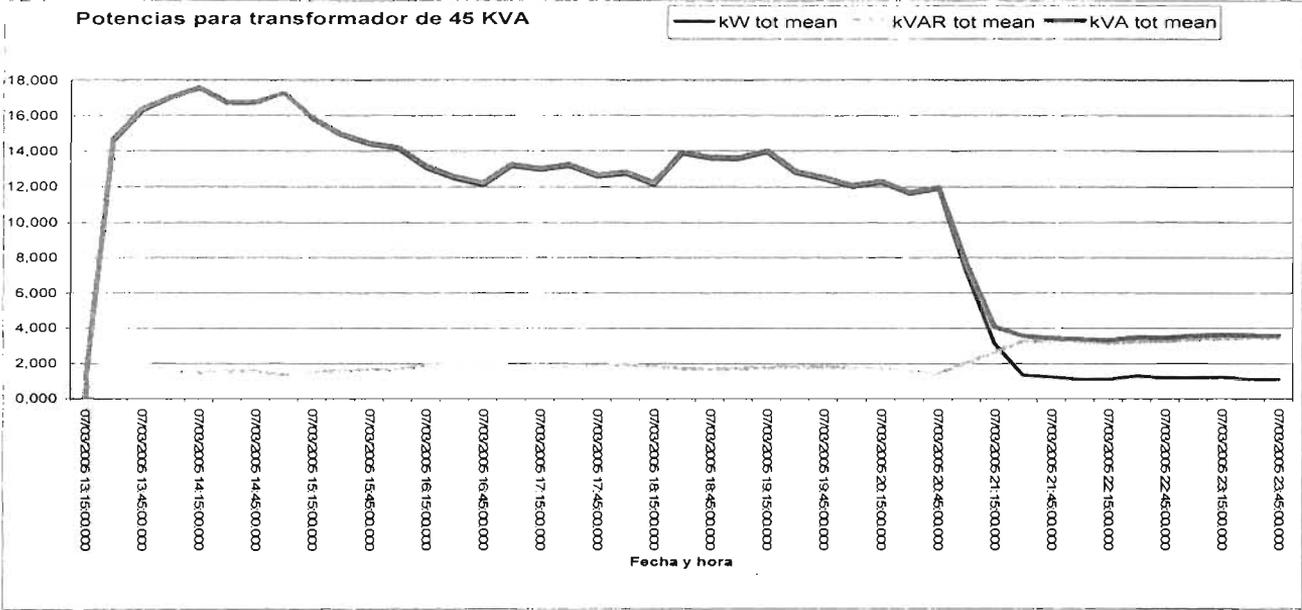
Gráfica 16



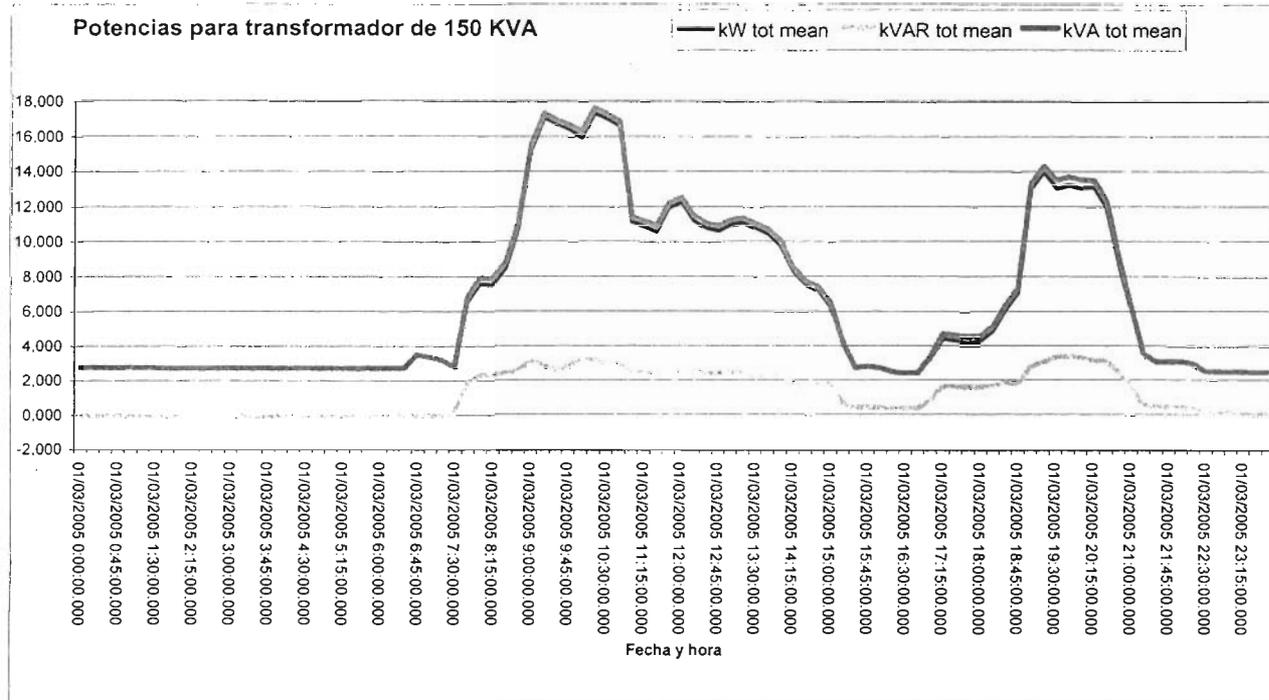
Gráfica 17



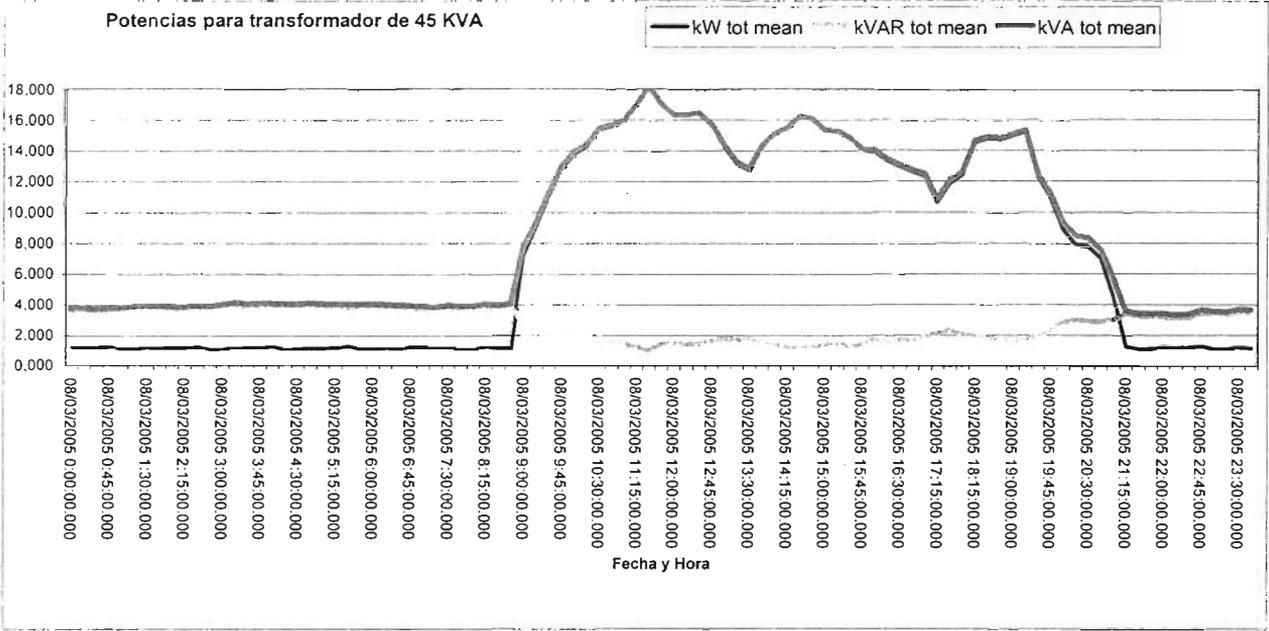
Gráfica 18



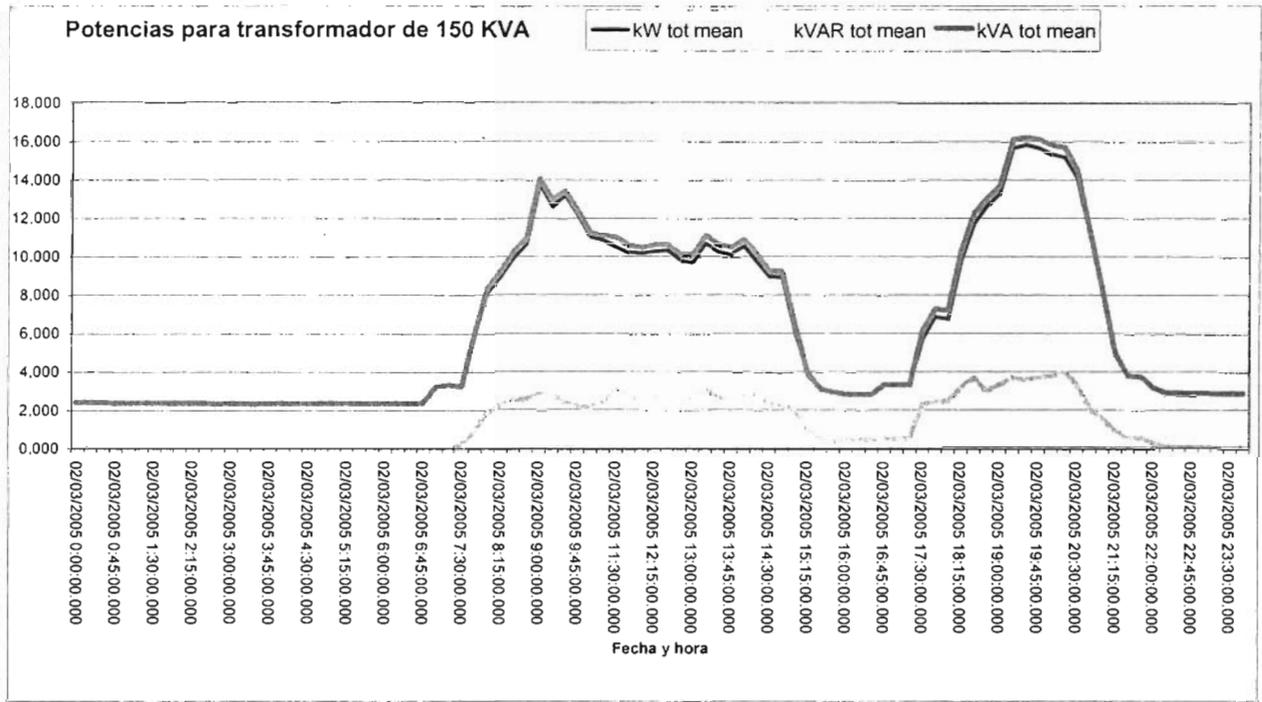
Gráfica 19



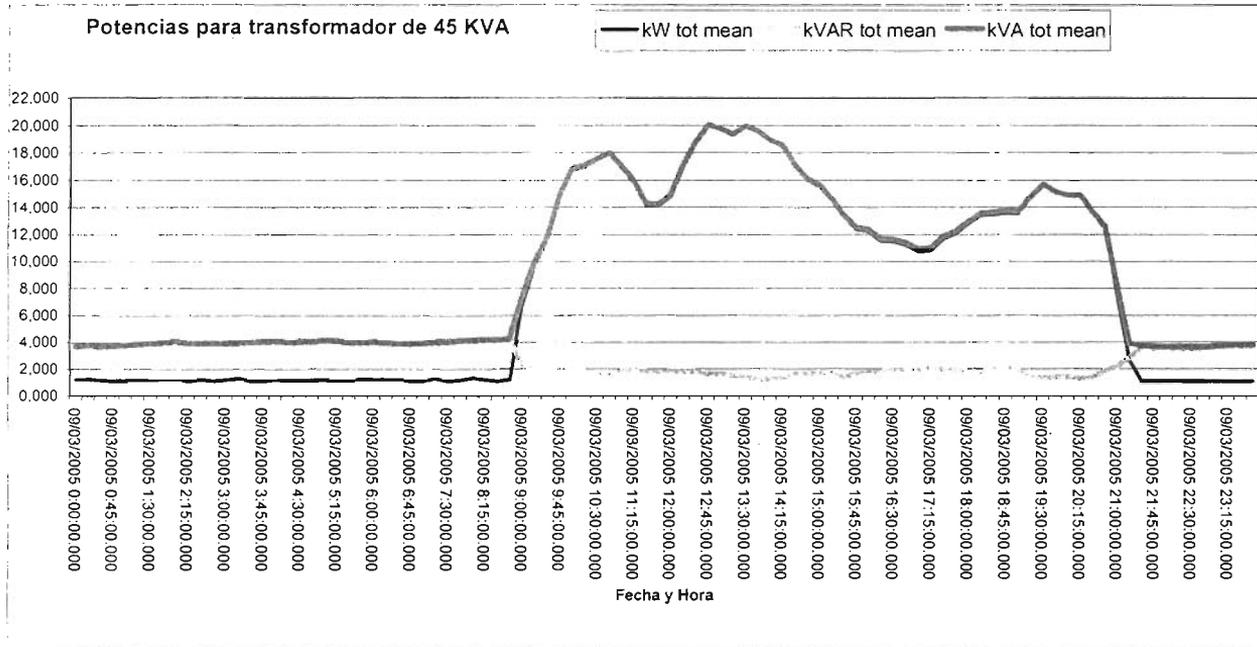
Gráfica 20



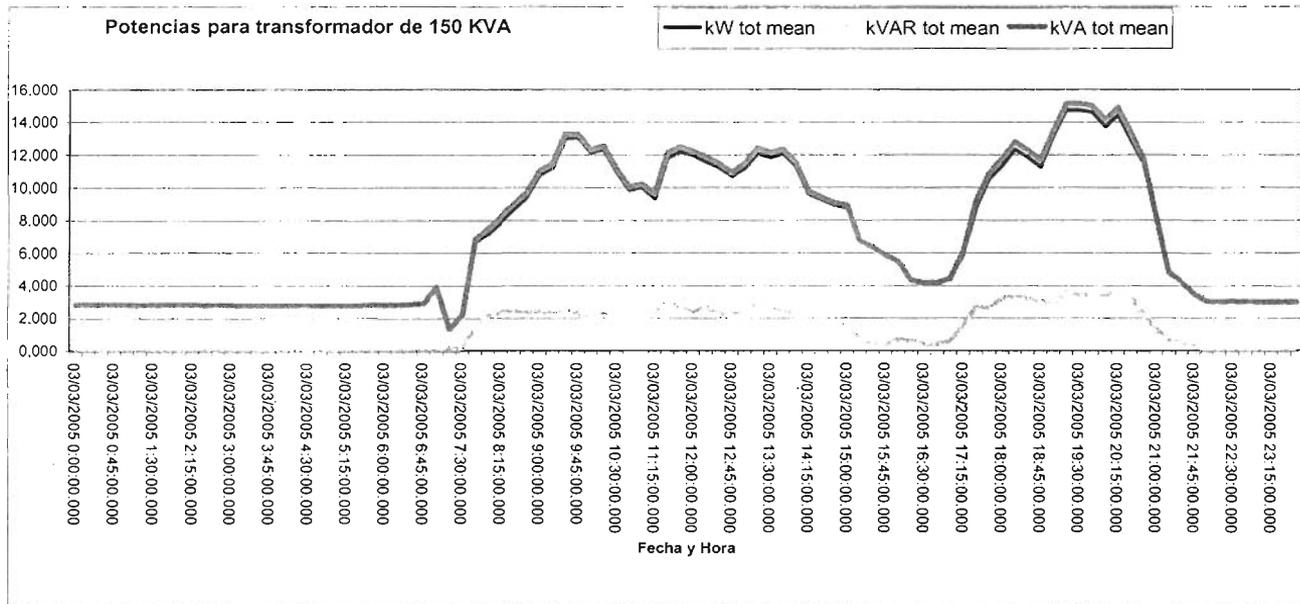
Gráfica 21



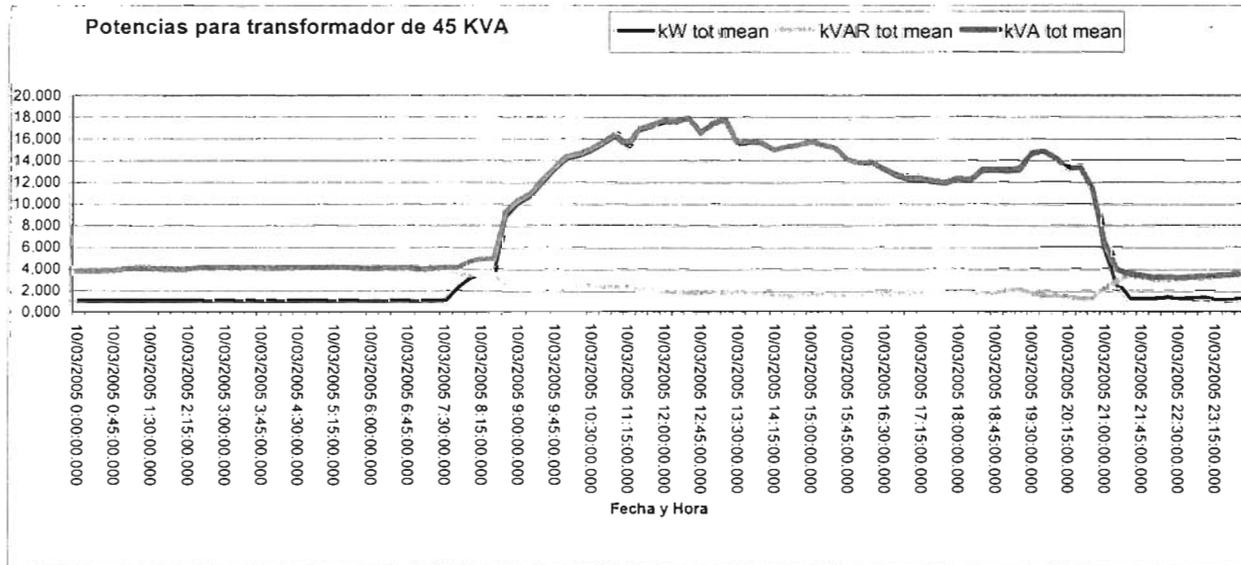
Gráfica 22



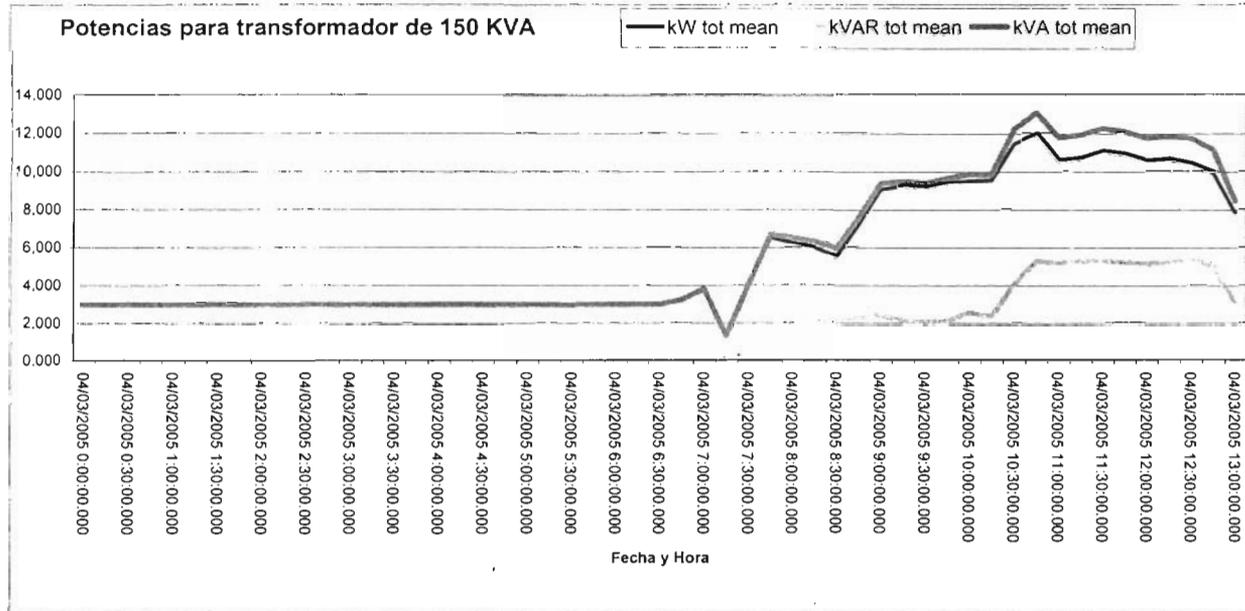
Gráfica 23



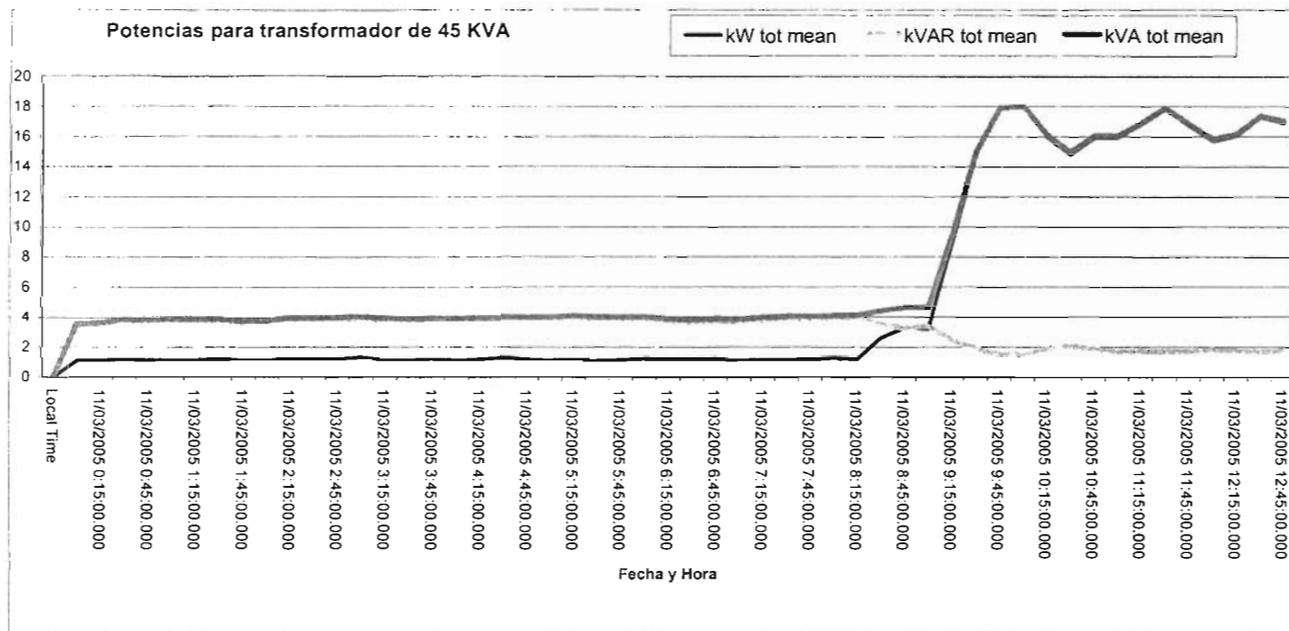
Gráfica 24



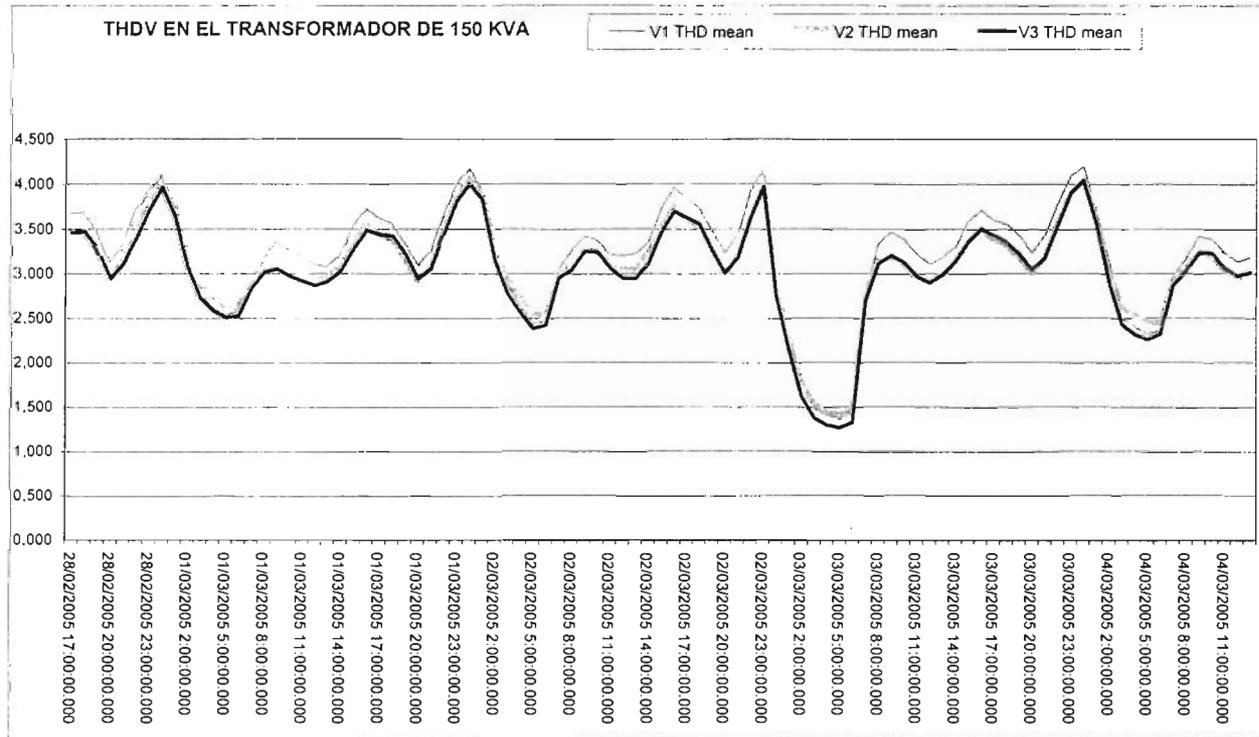
Gráfica 25



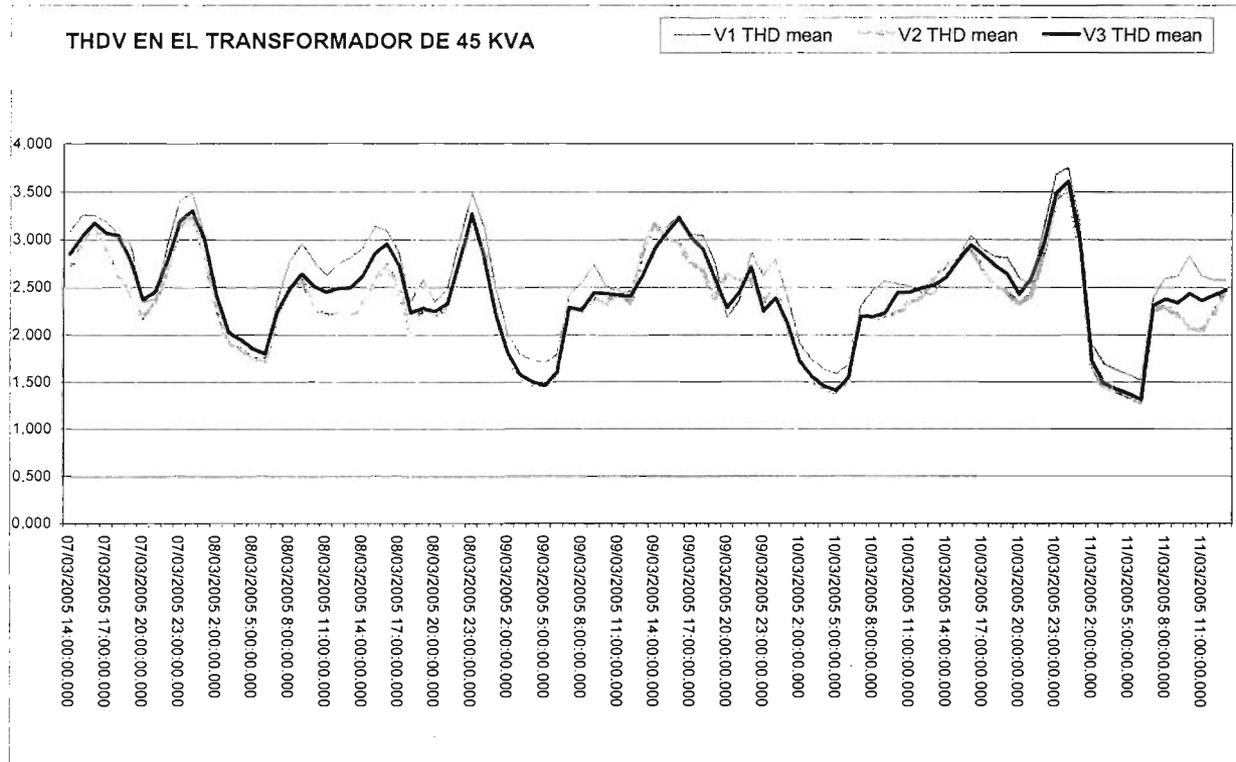
Gráfica 26



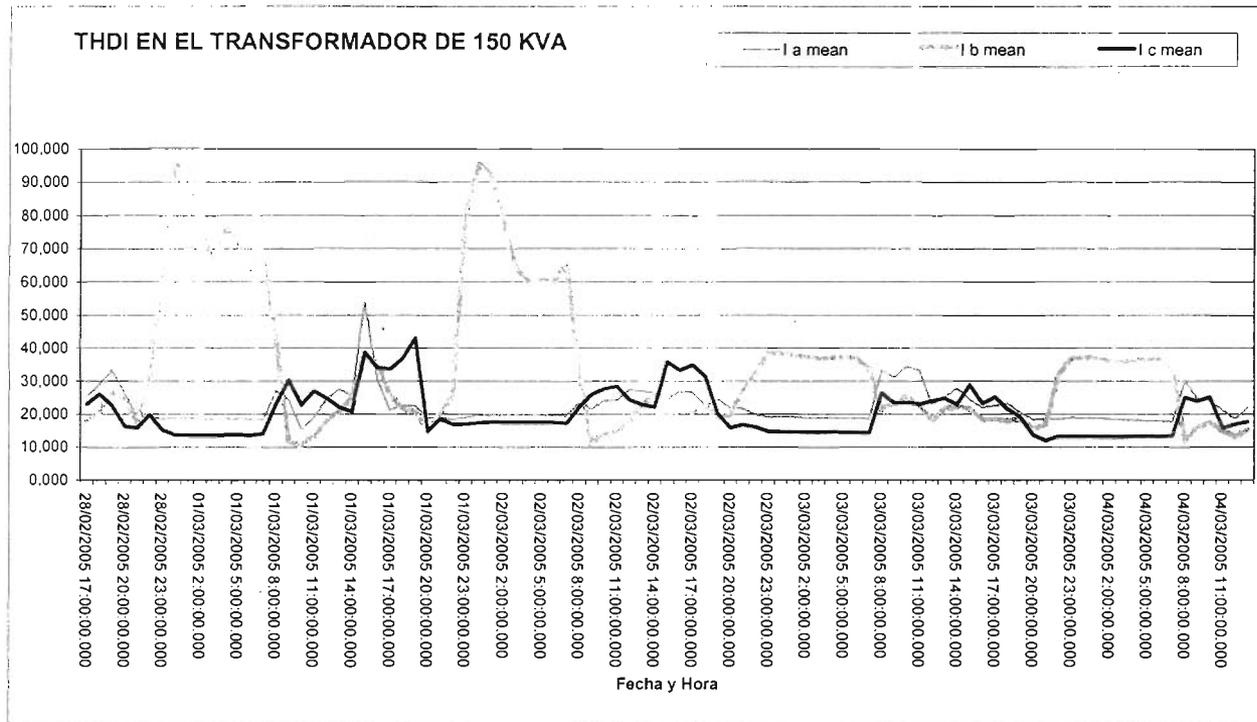
Gráfica 27



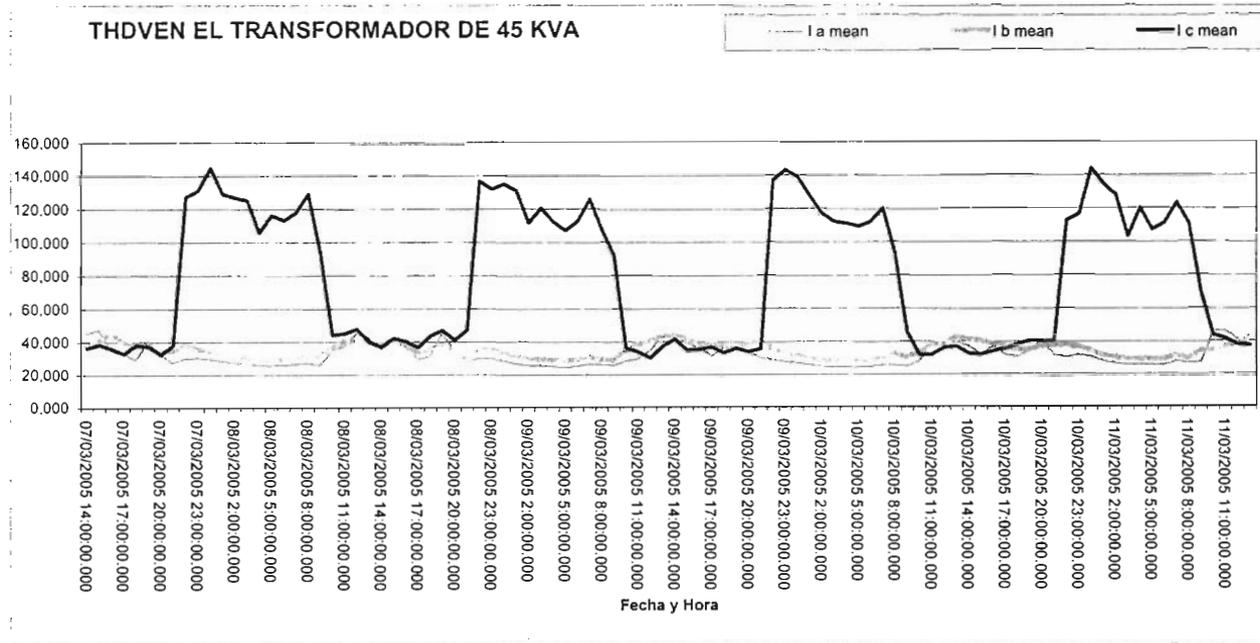
Gráfica 28



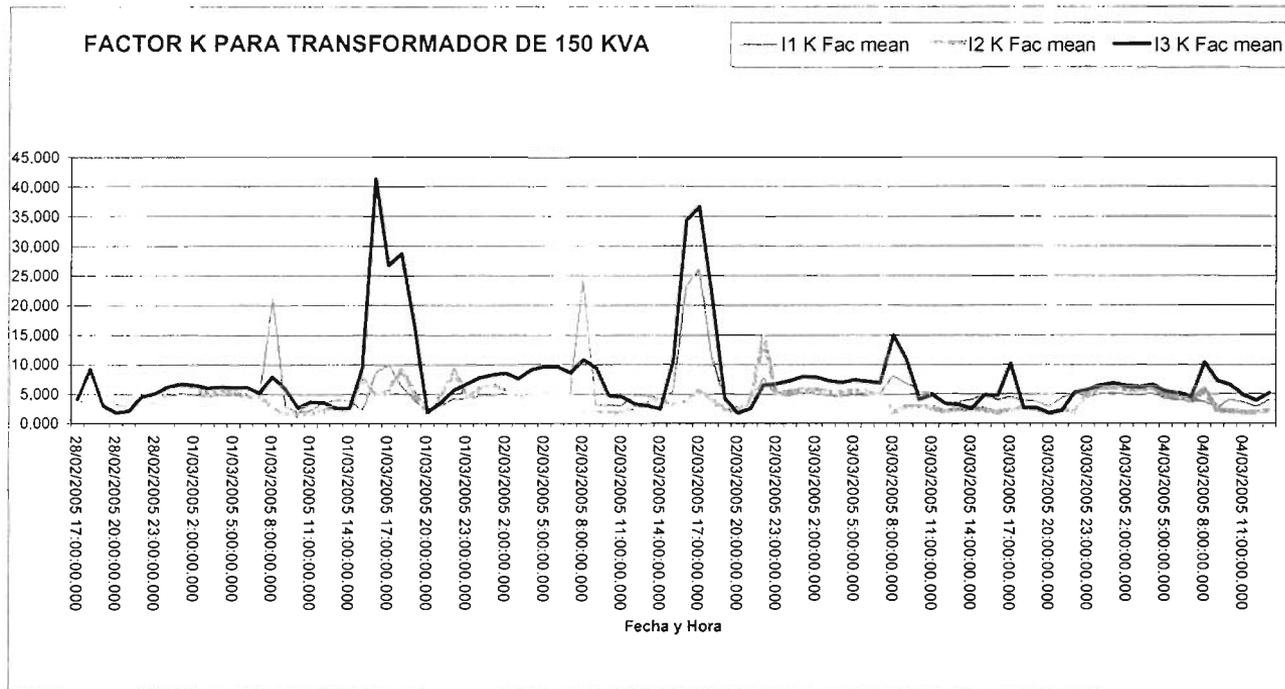
Grafica. 29



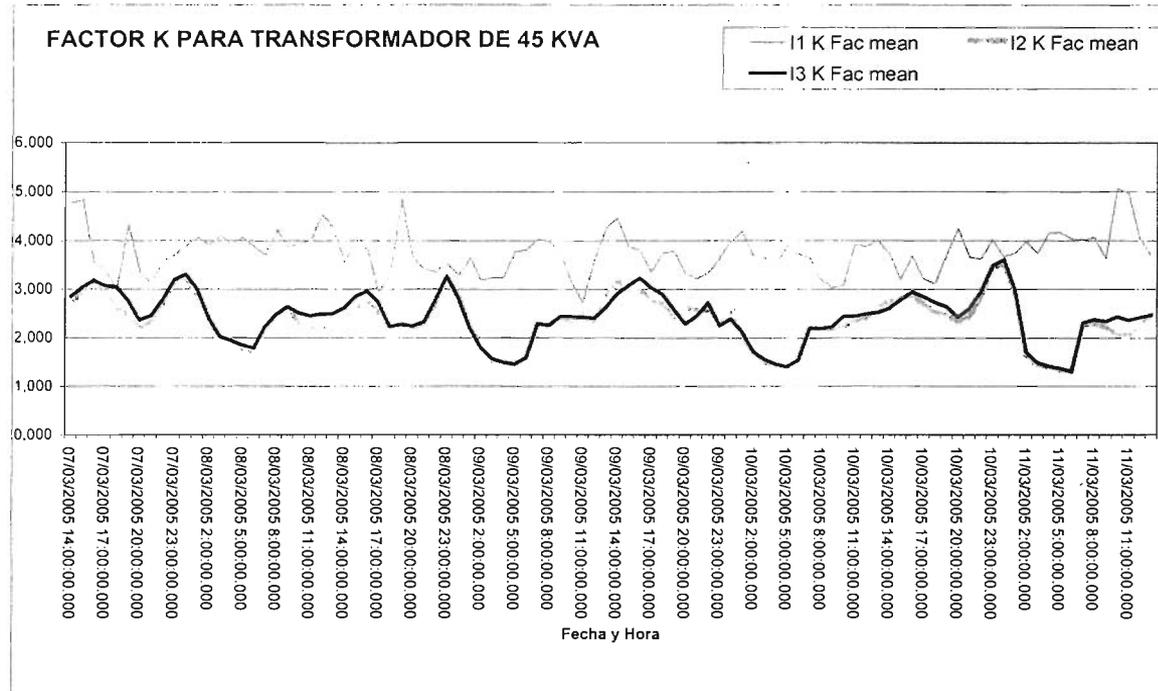
Gráfica 30



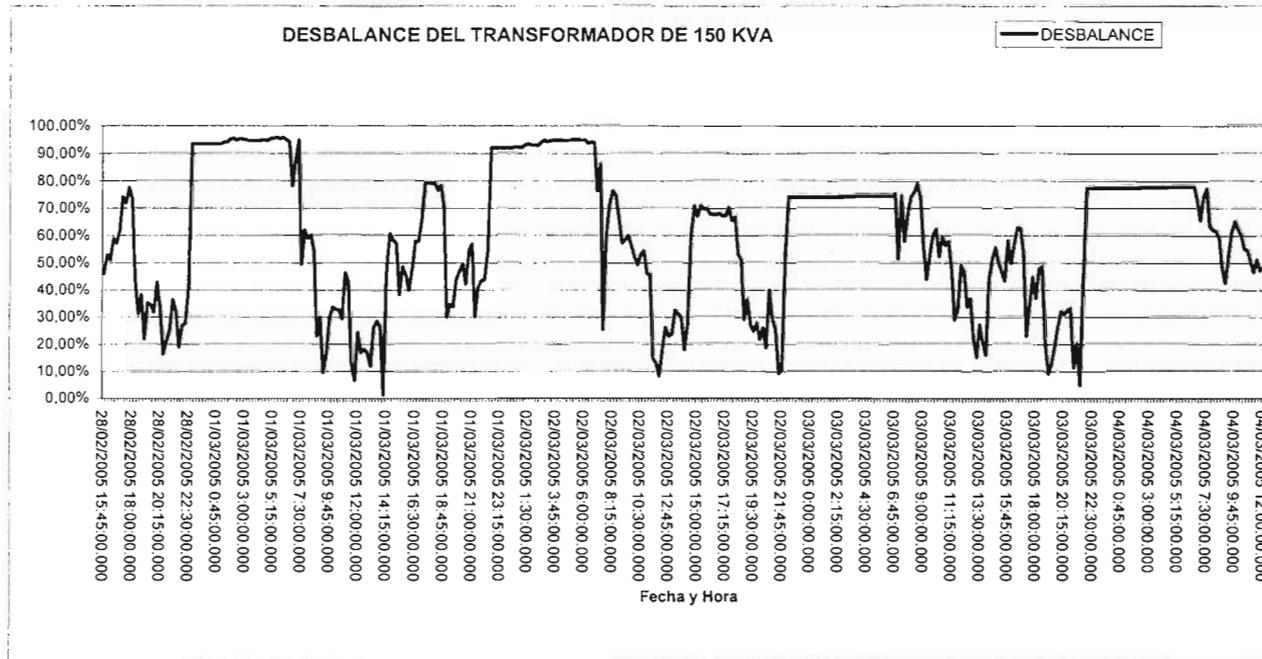
Gráfica 31



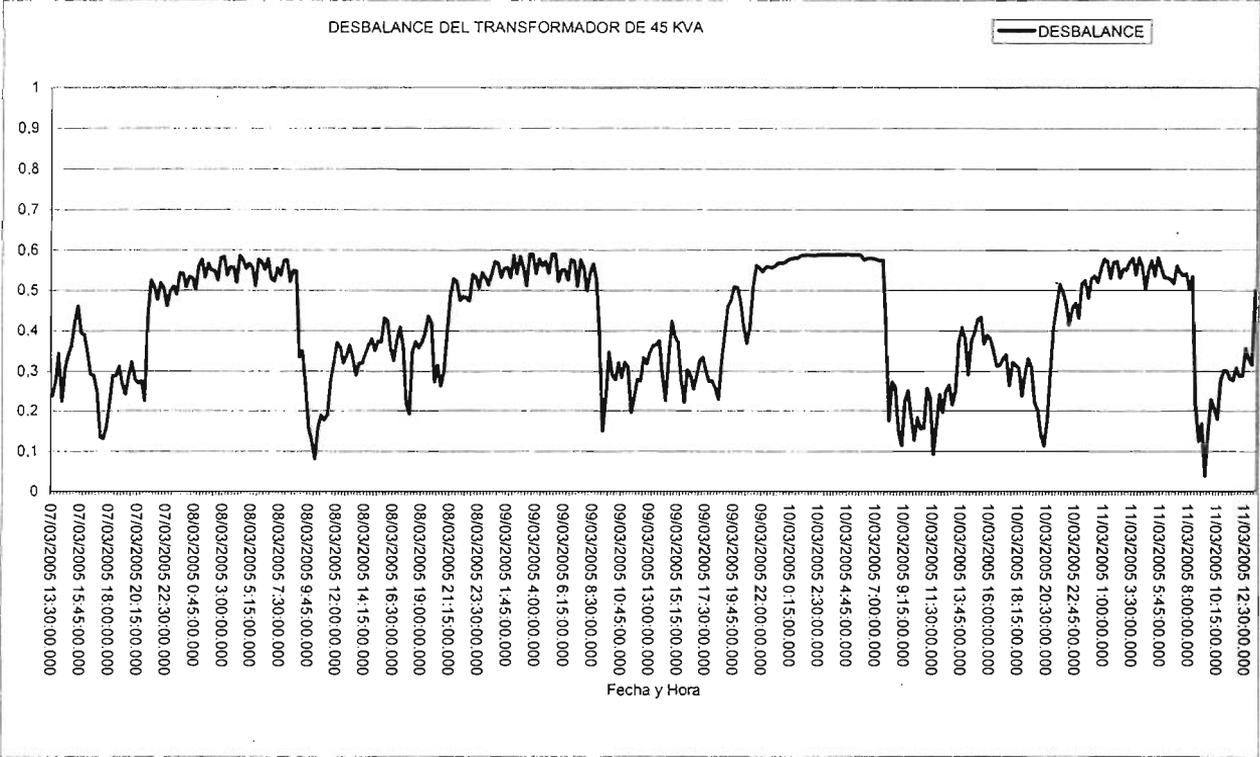
Gráfica 32



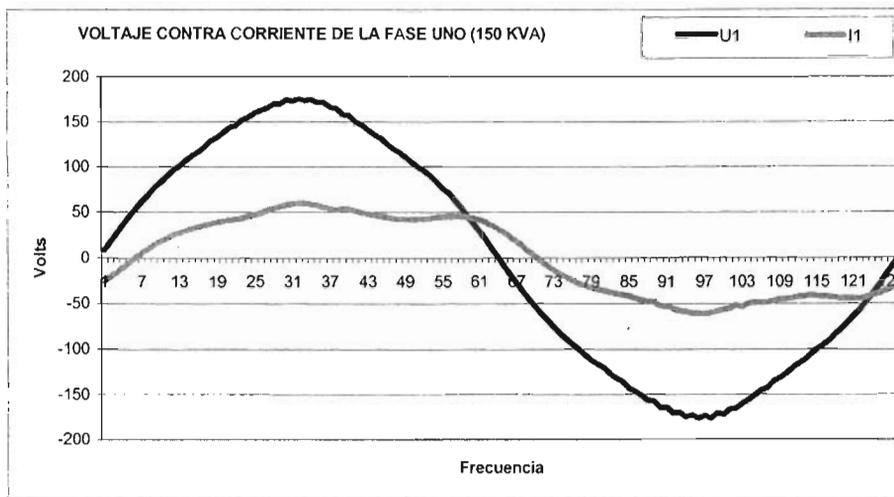
Gráfica 33



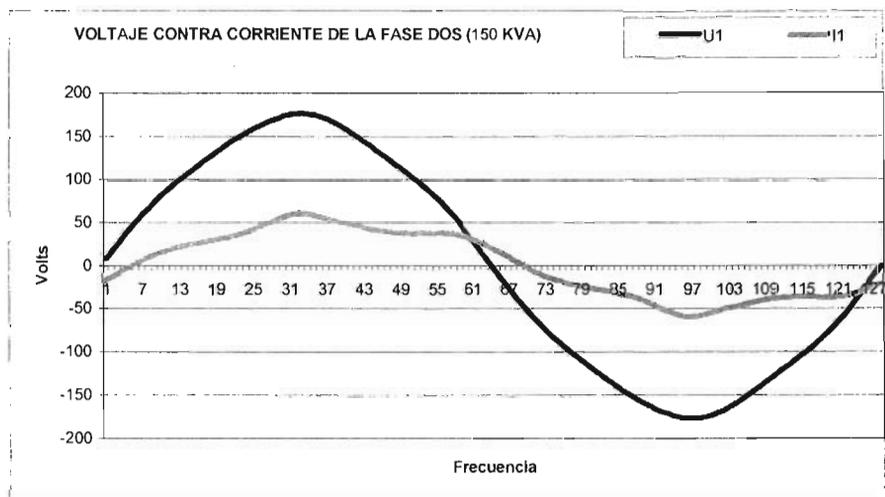
Gráfica 34



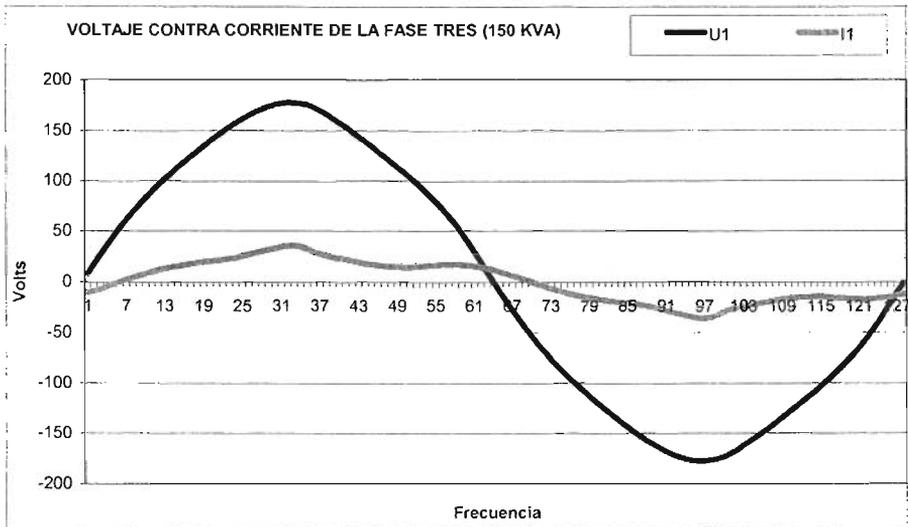
Gráfica 35 Gráfica del GENIUS HT5060



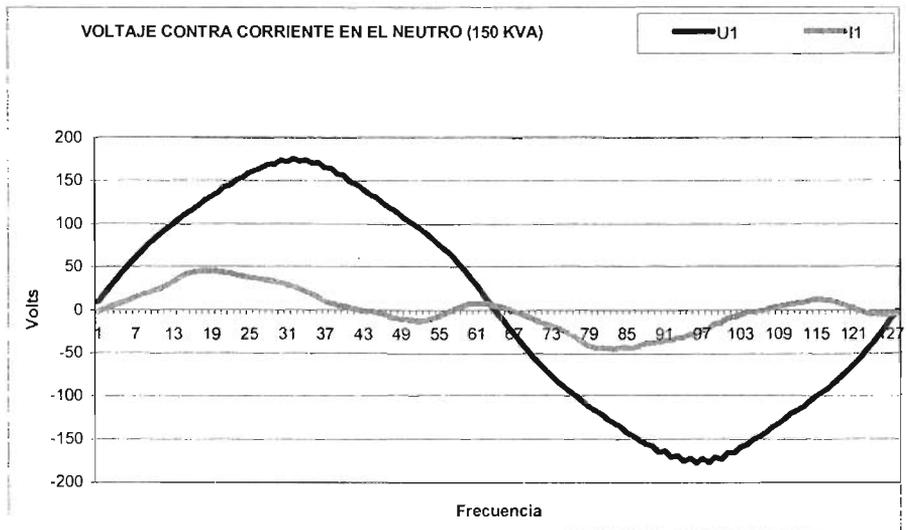
Gráfica 36 Gráfica del GENIUS HT5060



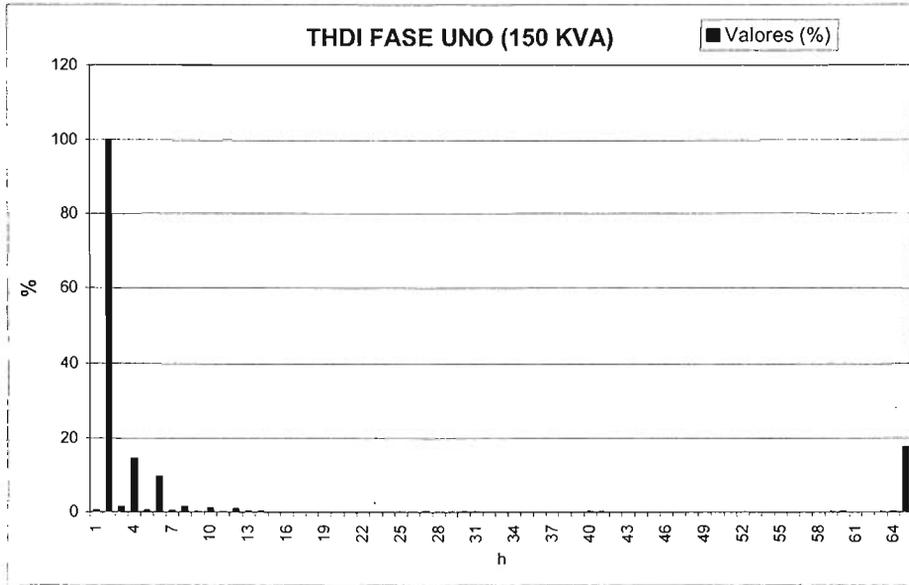
Gráfica 37 Gráfica del GENIUS HT5060



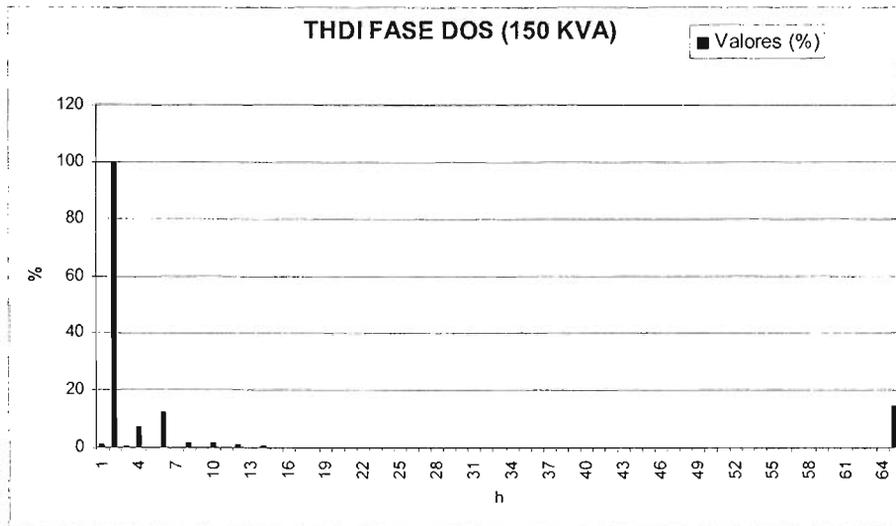
Gráfica 38 Gráfica del GENIUS HT5060



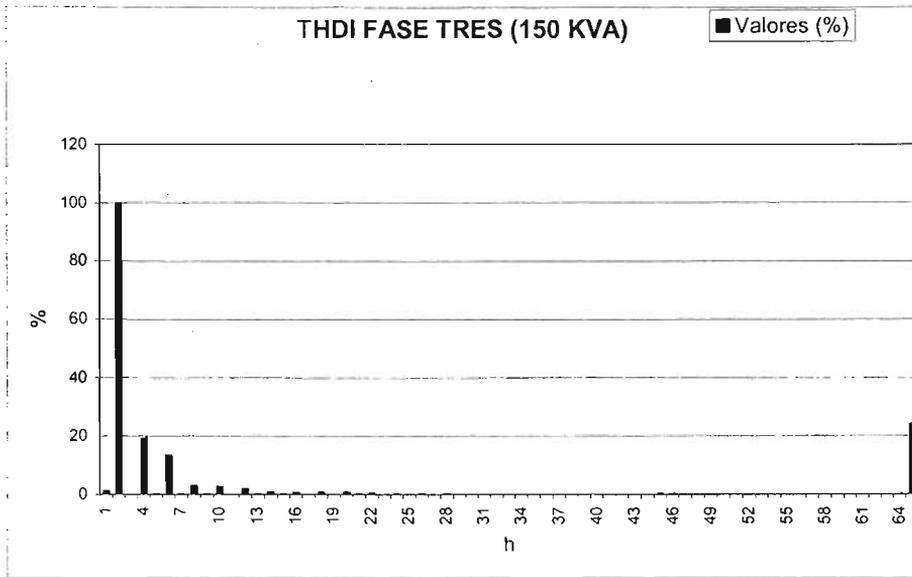
Gráfica 39 Gráfica del GENIUS HT5060



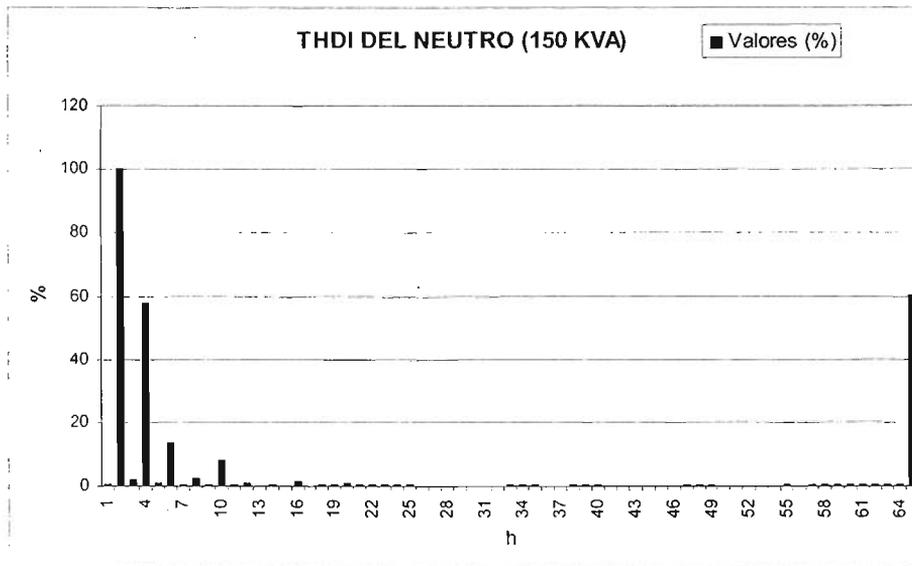
Gráfica 40 Gráfica del GENIUS HT5060



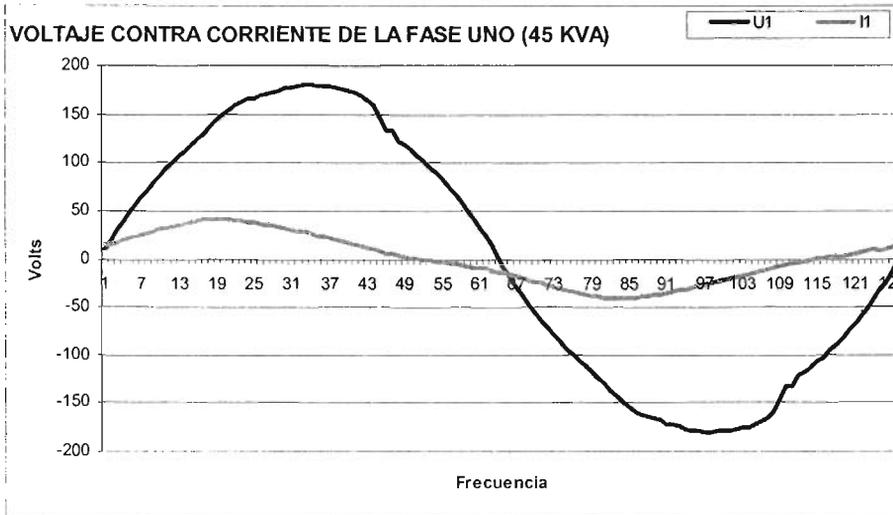
Gráfica 41 Gráfica del GENIUS HT5060



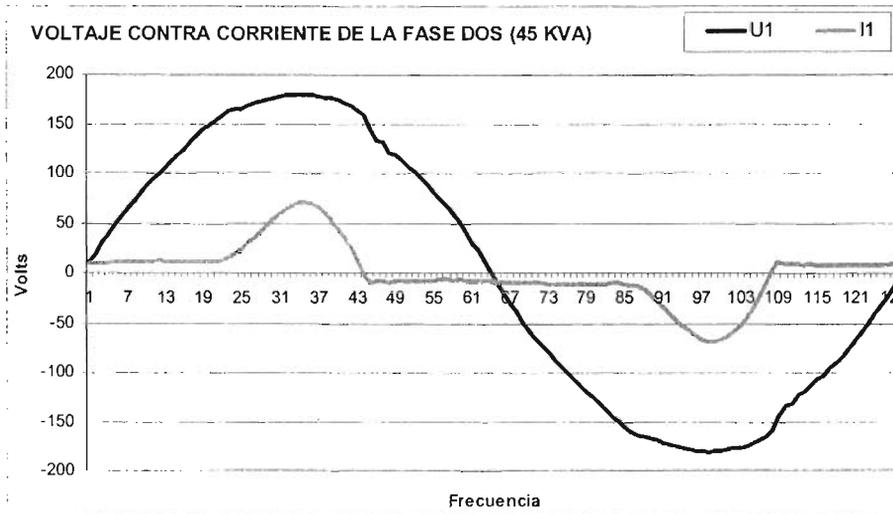
Gráfica 42 Gráfica del GENIUS HT5060



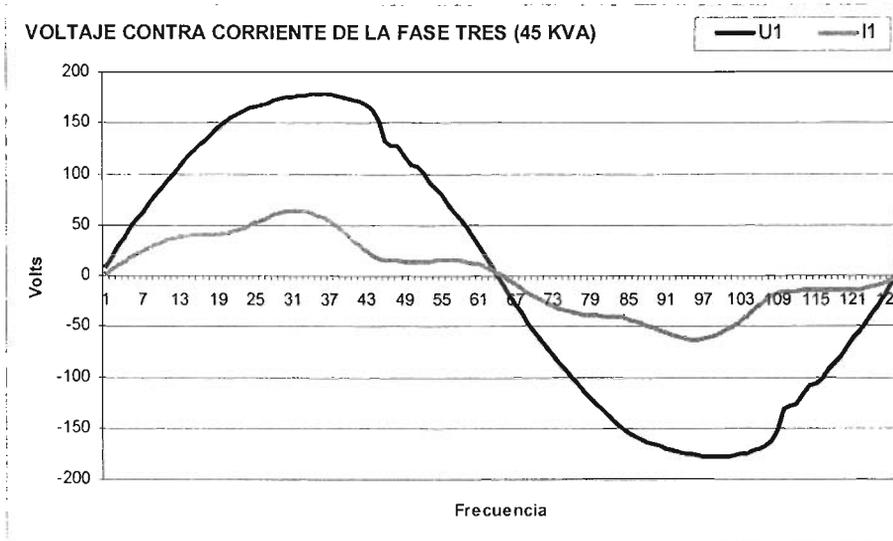
Gráfica 43. Gráfica del GENIUS HT5060



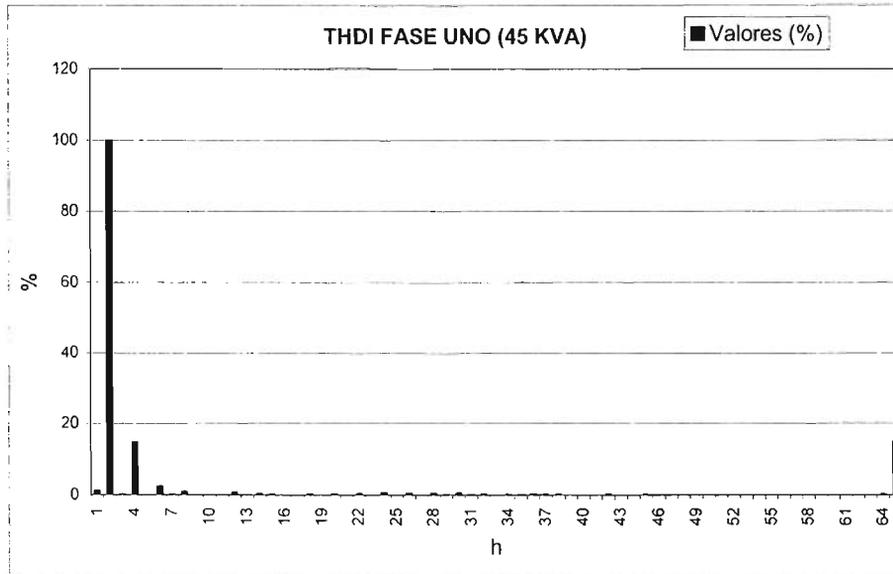
Gráfica 44 Gráfica del GENIUS HT5060



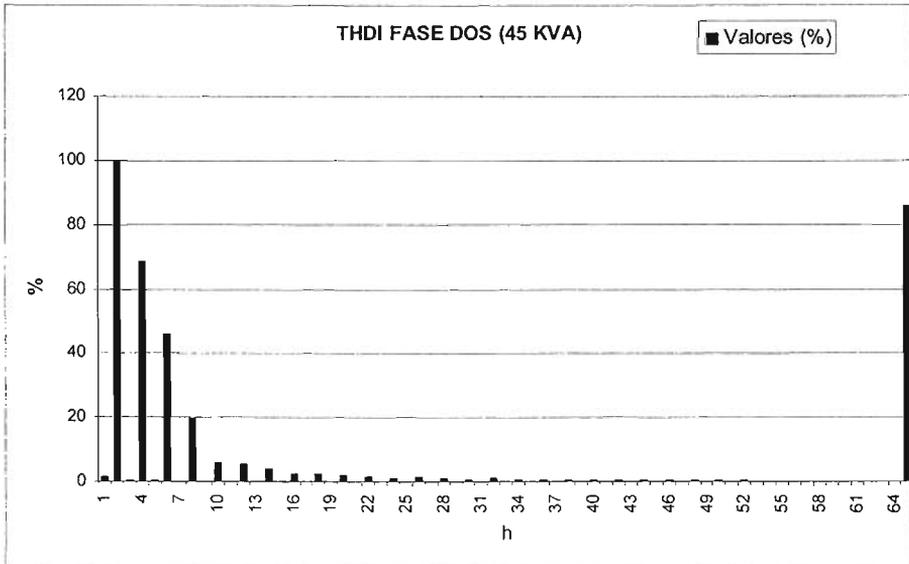
Gráfica 45 Gráfica del GENIUS HT5060



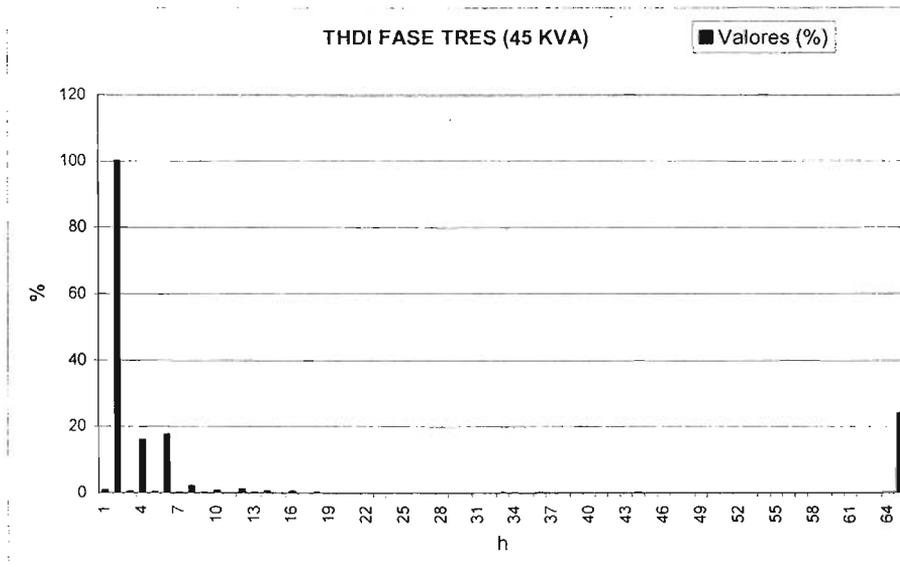
Gráfica 46 Gráfica del GENIUS HT5060



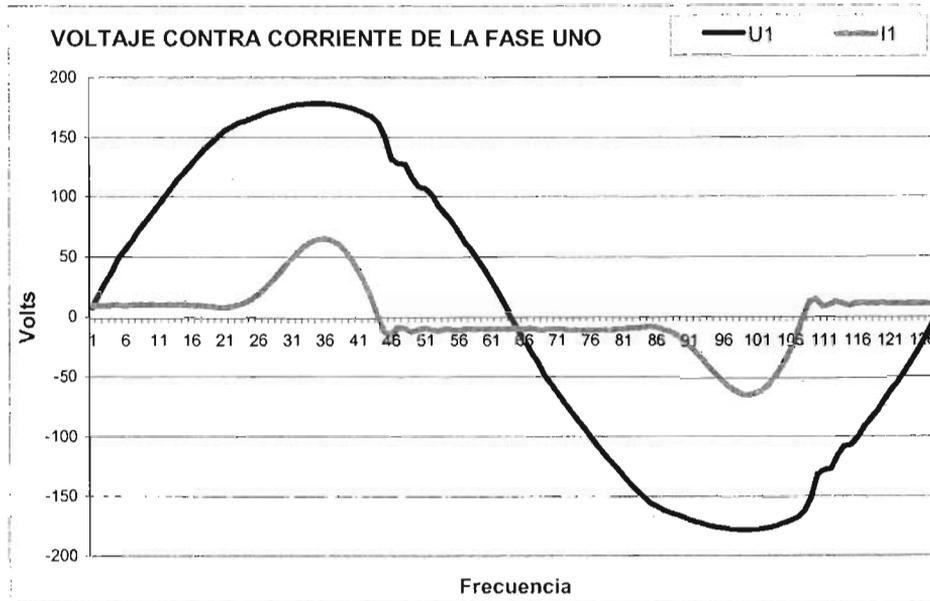
Gráfica 47. Gráfica del GENIUS HT5060



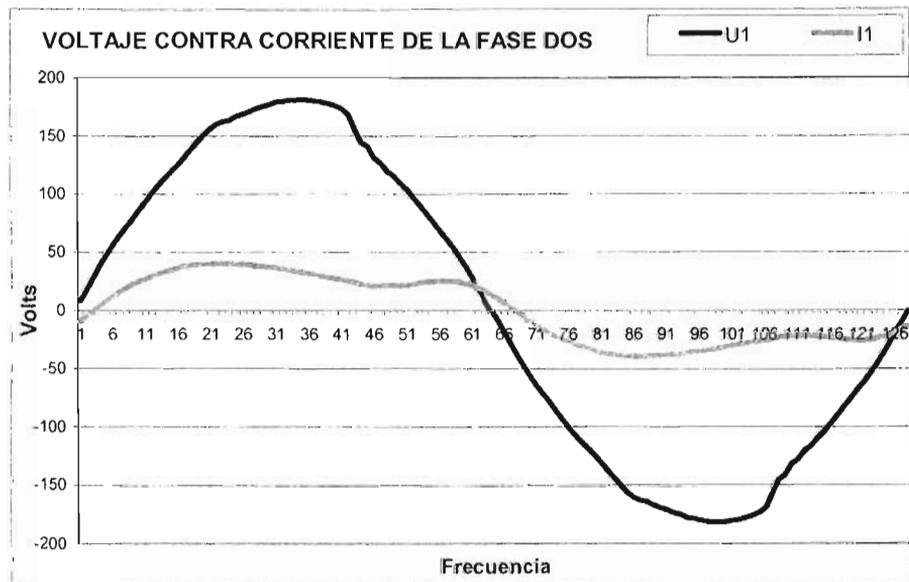
Gráfica 48 Gráfica del GENIUS HT5060



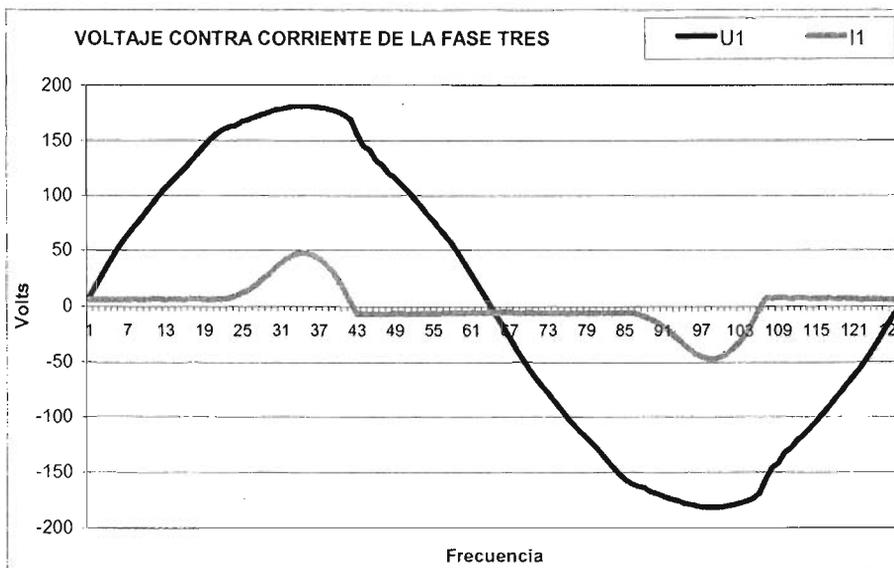
Gráfica 49 Gráfica del GENIUS HT5060



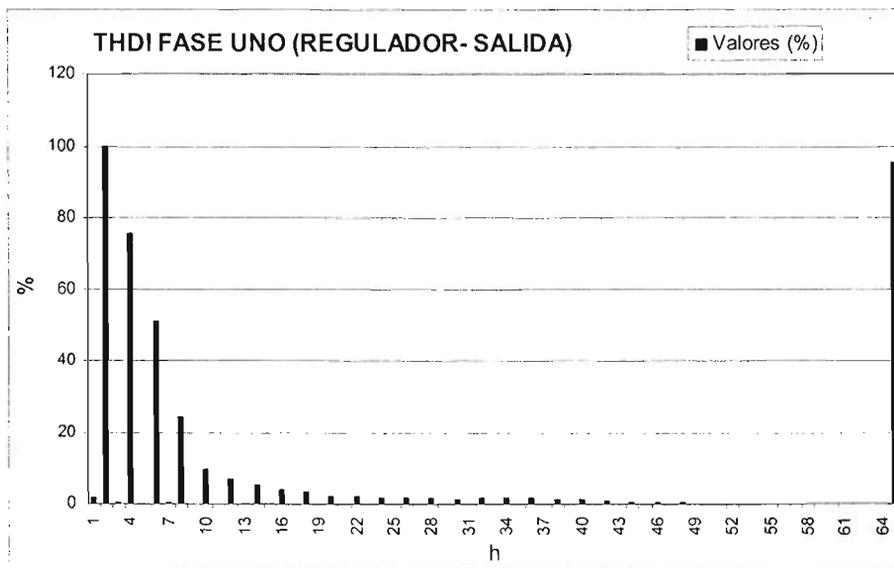
Gráfica 50 Gráfica del GENIUS HT5060



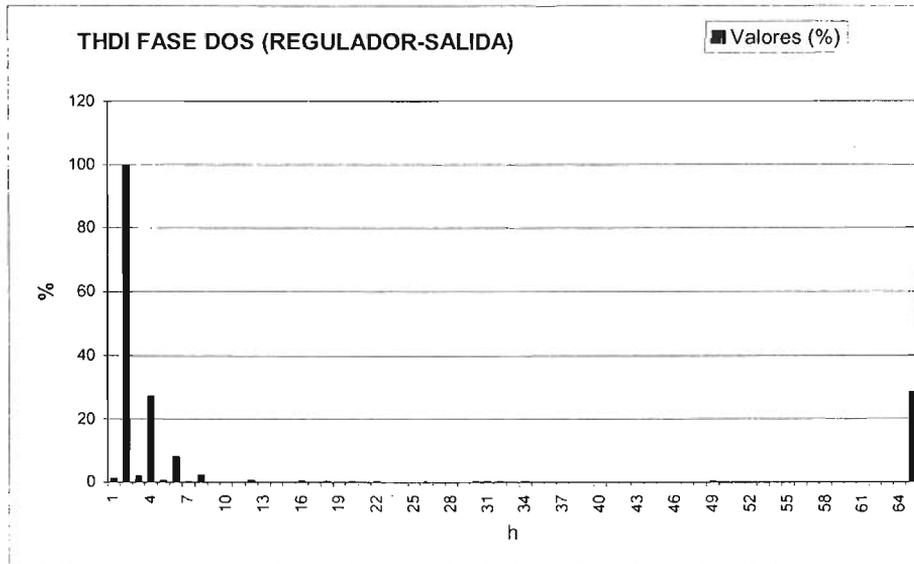
Gráfica 51 Gráfica del GENIUS HT5060



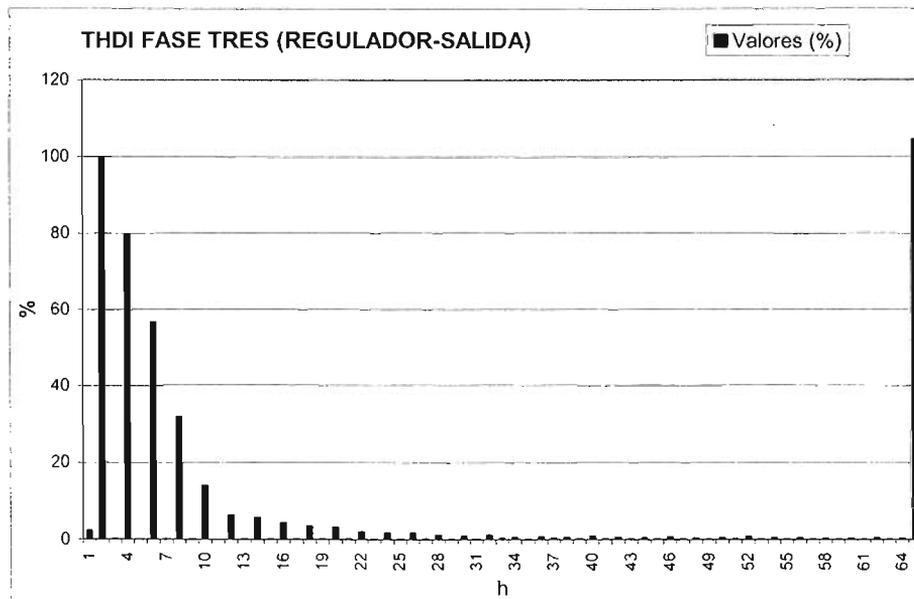
Gráfica 52 Gráfica del GENIUS HT5060



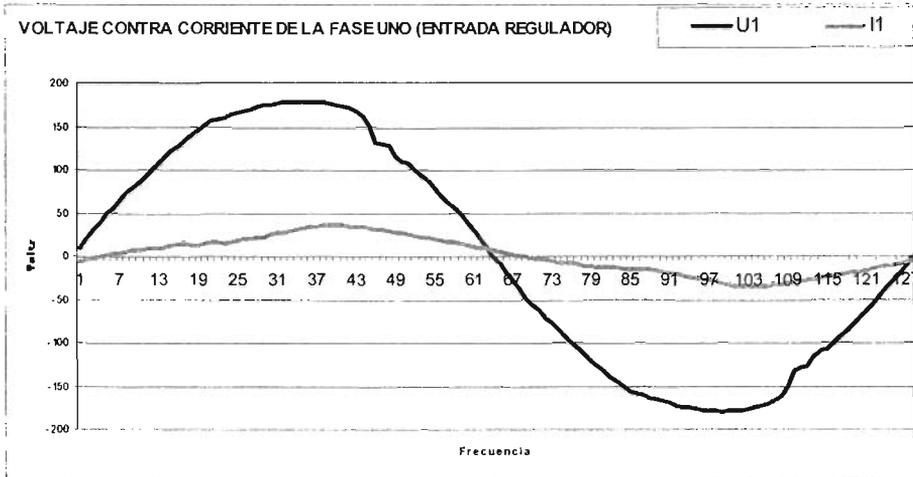
Gráfica 53 Gráfica del GENIUS HT5060.



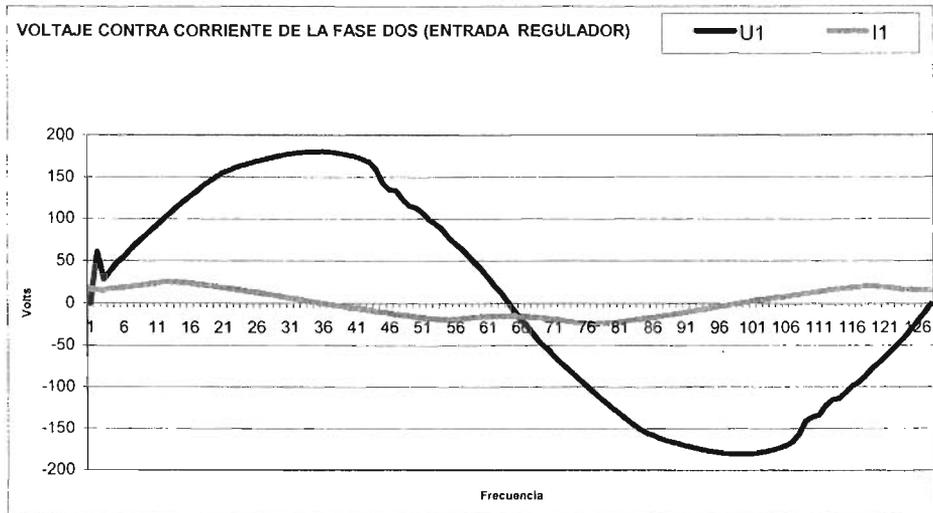
Gráfica 54 Gráfica del GENIUS HT5060.



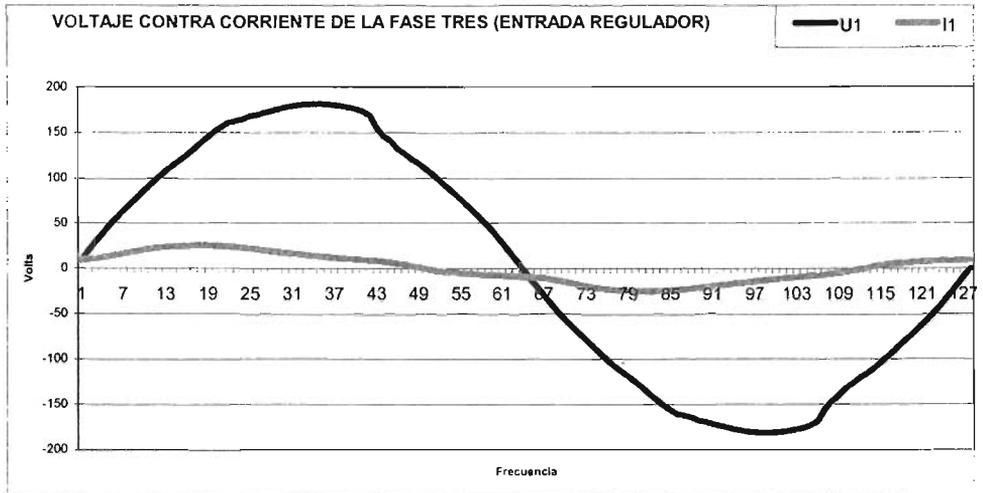
Gráfica 55 Gráfica del GENIUS HT5060.



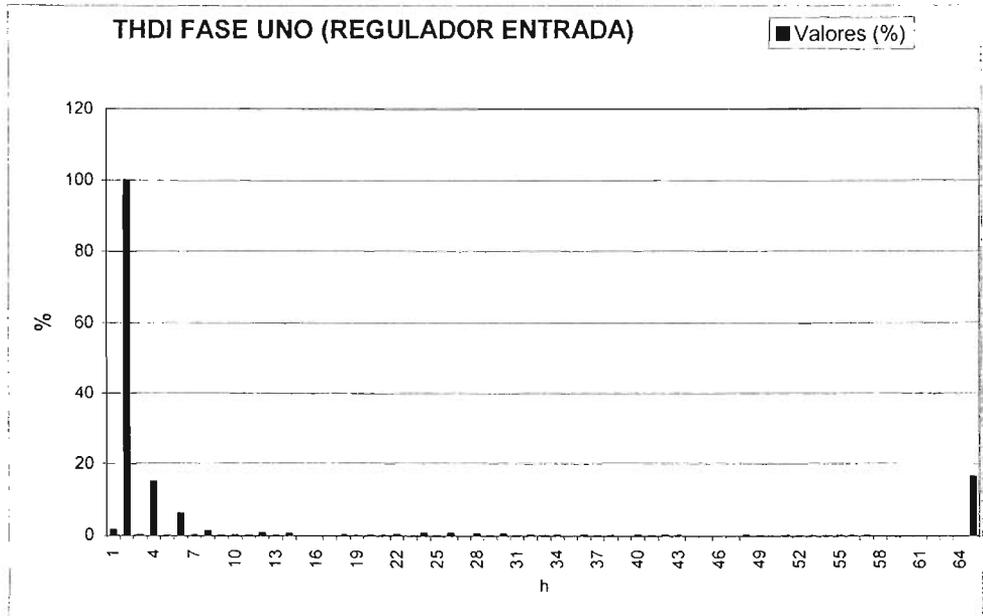
Gráfica 56 Gráfica del GENIUS HT5060



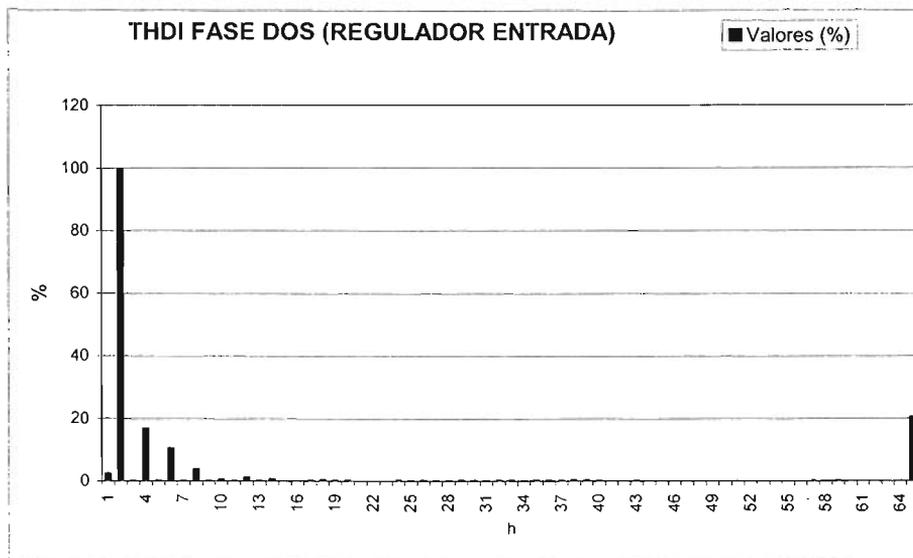
Gráfica 57 Gráfica del GENIUS HT5060



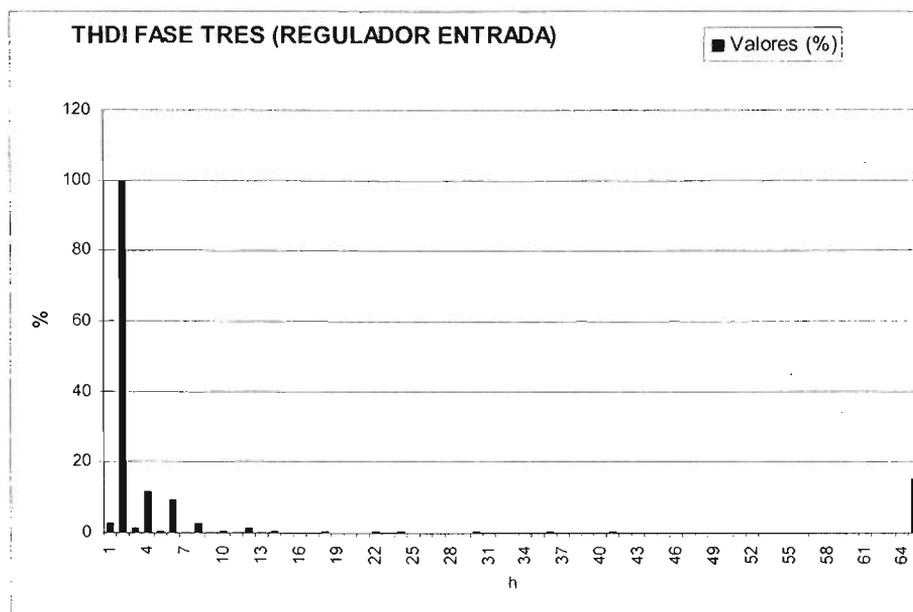
Gráfica 58 Gráfica del GENIUS HT5060



Gráfica 59 Gráfica del GENIUS HT5060



Gráfica 60 Gráfica del GENIUS HT5060



ANEXO G

Tabla 1. Datos del Edificio del centro de computo y anexos de la FES Aragón.

FES Aragón.	DATOS BÁSICOS DEL INMUEBLE		FECHA:	FORMATO 1	
			DEN MI:		
1. EDIFICIO					
Descripción	Edificio de centro de computo y laboratorios anexos (fotografía, televisión, redacción y radio).		Uso	OFICINAS (X) ()	
Institución	UNAM FES Aragón.		Propio	(X)	
Calle y No.	Avenida Rancho Seco, S/N.		Arrendado	()	
Colonia/Localidad	Impulsora.				
	Delegación/Municipio	Estado	Código Postal: 57130		
	Nezahualcôyotl.	México.			
2. CONSTRUCCIÓN					
Edificio	No. de niveles	Área m2 (Aprox.)		Año de	
		Por nivel	Por Edificio	Construcción	Operación
CC	3		1730		
	PB	450			
	PN	450			
	SN	450			
Anexo		380			
		Área total (m ²)	1730		
		Superficie del terreno (m ²)			
3. HORARIO DE TRABAJO Y PERSONAL					
Horario de trabajo:	7 AM a 10 PM	No. de Personas:	El flujo de personas es variable		
4. ELECTRICIDAD					
Tarifa: HM	Capacidad de la(s) subestación(es) en KVA:		Observaciones.		
	150 KVA. Δ-Y, 440/ 220-127		Tipo seco.		
	45 KVA. Δ-Y, 440/ 220-127		De aceite.		
Región: Central	Capacidad de la(s) planta(s) de emergencia en KW:				
5. AIRE ACONDICIONADO					
El inmueble tiene equipo de aire acondicionado		Si (X)	No ()		
	Capacidad instalada:	200 Amp			
Realizó:					
Cargo:			Teléfono (extensión):		

ANEXO H

MEDIDAS DE SEGURIDAD EN MEDICIONES ELÉCTRICAS

Antes de hacer cualquier tipo medición es necesario asegurarse de que no exista ningún tipo voltaje o corriente antes de iniciar a trabajar.

La ausencia de tensión deberá verificarse en todos los elementos activos de la instalación eléctrica en, o lo más cerca posible, de la zona de trabajo. En el caso de alta tensión, el correcto funcionamiento de los dispositivos de verificación de ausencia de tensión deberá comprobarse antes y después de dicha verificación.

Para verificar la ausencia de tensión en cables o conductores aislados que puedan confundirse con otros existentes en la zona de trabajo, se utilizarán dispositivos que actúen directamente en los conductores (pincha-cables o similares), o se emplearán otros métodos, siguiéndose un procedimiento que asegure, en cualquier caso, la protección del trabajador frente al riesgo eléctrico.

Seguridad durante las mediciones

Antes de realizar mediciones se debe conocer los riesgos que ellas pueden traer conjuntamente con los hábitos de seguridad y las normativas vigentes para los mismos:

Los riesgos de descargas se dividen en dos categorías:

- Errores del operador.
- Consecuencias del "entorno eléctrico"

Entre los primeros las situaciones más comunes son:

Probar medir tensión mientras las puntas de prueba están en los conectores de corriente, dando por resultado un corto circuito. Protección: La medición debe realizarse a través de fusibles de alta energía.

Contacto con fuente de poder de AC cuando está en modo resistencia o continuidad, prueba de diodos o capacidad. Protección: Debe usarse equipamiento con las puntas protegidas.

Usar el multímetro por sobre la tensión nominal, por Ej. En circuitos de media tensión.

Entre los riesgos debidos al "ambiente eléctrico" podemos mencionar:

Shock eléctrico: por contactos accidentales con componentes vivos.

La protección en este caso está dada por: doble aislamiento, conectores de entrada apartados, dedos aislados sobre las puntas de prueba.

Transitorios de alta tensión por ejemplo en iluminación, maniobra de carga (apagado de motores, entrada en servicio de capacitores, etc.)

Mucha gente piensa que las descargas eléctricas tipo shock (electrocución) son los únicos existentes. En realidad, existen otros tipos de descargas eléctricas originadas por los transitorios de tensión, que pueden originar "arcos" y la "Bolas de Fuego".

Además de las descargas eléctricas hay muchas otras fuentes de transitorios, como son la conmutación de circuitos electrónicos de potencia, las cargas capacitivas e inductivas, las sobretensiones creadas cuando se produce una avería local en una instalación y los cambios que introducen los servicios públicos en determinadas líneas eléctricas. El transitorio por si solo puede no tener suficiente energía para constituir un peligro mortal, pero el hecho de que normalmente sobrepase la tensión nominal, puede tener consecuencias devastadoras.

En otras palabras, si se hace una medición sobre una línea de un sistema a 220 V, hay que asegurarse de que si se produce un transitorio de tensión, el instrumento podrá resistirlo y reducir al mínimo el riesgo para el usuario.

Dentro de los hábitos mínimos de seguridad que se deben tomar antes de efectuar los chequeos podemos mencionar:

- Ningún multímetro es seguro cuando se usa incorrectamente.
- Use los multímetros dentro de su clasificación.
- Use los multímetros diseñados para circuitos de potencia sin problema en los circuitos de baja potencia.
- Use fusibles de reemplazo aprobados por el fabricante.
- Use puntas de prueba de alta calidad y con clasificación de seguridad marcada.
- Cuando sea posible se debe trabajar sobre circuitos no energizados.
- Se debe seguir los procedimientos apropiados.
- Usar herramientas bien mantenidas y utilizar la vestimenta apropiada.
- Utilizar lentes de seguridad, herramientas aisladas, guantes aislados, trajes para fogonazos, pisos aislantes, etc.
- No trabajar solos.

- Utilizar técnicas de medición seguras.
- Realizar las mediciones con una sola mano, dejando la otra en el bolsillo.
- Siempre se debe conectar primero la punta de prueba de masa, luego conectar el vivo.
- Al terminar se debe seguir el procedimiento inverso, primero desconectar el vivo y luego la punta conectada a masa.
- Usar el método de prueba de los tres puntos, es decir: probar el circuito conocido, medir el punto bajo prueba y chequear nuevamente el circuito conocido, esto le asegurará que la medición del punto bajo prueba sea cierta.
- La técnica de medición con una única mano asegura que el camino de menor impedancia nunca atraviesa la línea del corazón.
- El método de prueba de los tres puntos significa, en forma implícita, que los electricistas nunca deben asumir que los equipos funcionan correctamente; se debe tener el hábito de controlar periódicamente a los instrumentos.

Método de trabajo en contacto con protección aislante en las manos

Utilizado principalmente en baja tensión, aunque también se emplea en la gama baja de alta tensión.

Este método, que requiere la utilización de guantes aislantes en las manos, se emplea principalmente en baja tensión. Para poder aplicarlo es necesario que las herramientas manuales utilizadas (alicates, destornilladores, llaves de tuercas, etc.) dispongan del recubrimiento aislante adecuado, conforme con las normas técnicas que les sean de aplicación.

En todo trabajo en proximidad de elementos en tensión, el trabajador deberá permanecer fuera de la zona de peligro y lo más alejado de ella que el trabajo permita.

Antes de iniciar el trabajo en proximidad de elementos en tensión, un trabajador autorizado, en el caso de trabajos en baja tensión, o un trabajador calificado, en el caso de trabajos en alta tensión, determinará la viabilidad del trabajo, teniendo en cuenta lo dispuesto en el párrafo anterior.

De ser el trabajo viable, deberán adoptarse las medidas de seguridad necesarias para reducir al mínimo posible el número de elementos en tensión.

Las zonas de peligro de los elementos que permanezcan en tensión, mediante la colocación de pantallas, barreras, envoltentes o protectores aislantes cuyas características (mecánicas y eléctricas) y forma de instalación garanticen su eficacia protectora.

Si, a pesar de las medidas adoptadas, siguen existiendo elementos en tensión cuyas zonas de peligro son accesibles, se deberá:

Delimitar la zona de trabajo respecto a las zonas de peligro; la delimitación será eficaz respecto a cada zona de peligro y se efectuará con el material adecuado.

Informar a los trabajadores directa o indirectamente implicados, de los riesgos existentes, la situación de los elementos en tensión, los límites de la zona de trabajo y cuantas precauciones y medidas de seguridad deban adoptar para no invadir la zona de peligro, comunicándoles, además, la necesidad de que ellos, a su vez, informen sobre cualquier circunstancia que muestre la insuficiencia de las medidas adoptadas.

Sin perjuicio de lo dispuesto en los apartados anteriores, en las empresas cuyas actividades habituales conlleven la realización de trabajos en proximidad de elementos en tensión, particularmente si tienen lugar fuera del centro de trabajo, el empresario deberá asegurarse de que los trabajadores poseen conocimientos que les permiten identificar las instalaciones eléctricas, detectar los posibles riesgos y obrar en consecuencia

ACCIDENTES EN EL EMPLEO DE MULTIMETROS

Para el empleo seguro de los multímetros es necesario conocer los problemas más usuales que se suelen presentar, entre ellos se pueden mencionar:

Formación de "Arco eléctrico" dentro del multímetro

Un transitorio debido a una descarga atmosférica es lo suficientemente importante como para causar un Arco Eléctrico dentro del instrumento:

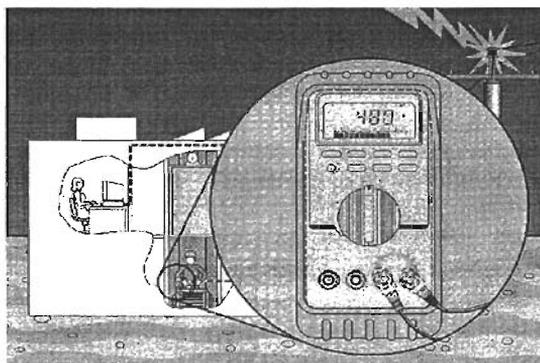


Fig. A Formación del arco eléctrico por una descarga atmosférica.

Los instrumentos deben contar con protecciones internas para evitar fallas y arcos entre los terminales.

La resistencia de un Arco Eléctrico es muy baja; si el mismo está originado en un Arco Eléctrico dentro de un instrumento de mano mientras este está conectado a los terminales (por ejemplo a un motor de 380 V.), puede ocurrir una letal cadena de eventos.

Una vez que se formó el arco, cualquier circuito de protección o dieléctrico interno están afectados por el cortocircuito y toda la corriente de corto fluye a través de los terminales de medición lo que genera el mismo.

Corriente de cortocircuito a través de las puntas de prueba

El camino de la corriente a través del Arco Eléctrico comienza en los terminales del motor y finaliza atrás de los terminales del mismo

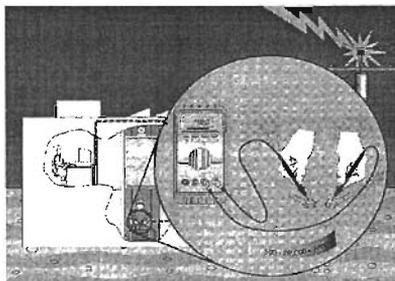


FIG. B Conducción de corriente a través de la puntas del multímetro.

La corriente puede ser de varios miles de Ampere por el tiempo necesario para fundir los probadores del instrumento. En el ejemplo de la figura A, la fuente de corriente dentro del arco son los 380 V. de alimentación y los 380 V. en el motor. Un ascensor típico de 550 HP consume 264 FLA (full load Amps) a 380 V. y 6 o 7 veces esta corriente en una falla (1564 - 1850 A.)

El circuito de protección o el fusible en el frente del motor soportará varios miles de Ampere antes de fundirse, a estos niveles de corriente el equipo de medición se sobrecalienta, se establece un arco desde el punto de contacto al de medición y, por tratarse de un transitorio a muy alta tensión provoca un ruido intenso.

La reacción mas natural a ese ruido es apartar las manos de los terminales del motor; esta acción genera un arco adicional desde el punto de contacto. Es decir que ahora tenemos dos arcos, uno desde cada punto de contacto y otro desde los terminales de medición.

En el caso de un motor de 550 HP, esta corriente puede ser 6 u 8 veces la carga máxima del motor, conocida por sus siglas en ingles Full Load Amps (FLA), que en nuestro caso es de 264 Amperes. Esta carga de 6 o / veces la máxima es la que fluye por los fusibles que protegen el motor.

Suelen presentarse corrientes de hasta 6000 Amperes o más por varios milisegundos.

Formación de arco entre los terminales

Mientras los usuarios realizan los ensayos a través de los terminales de un motor, se establece un arco efectivo entre cada punta y el terminal del motor. Si dos de estos arcos se juntan para formar uno, existe un camino directo de muy baja impedancia entre las terminales del motor.

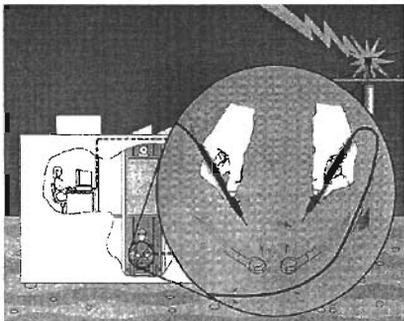


FIG. C Formación de arco en terminales de instrumento de medición

Este arco efectivo tiene una temperatura aproximada de 6000 °C, la misma que encontramos en una máquina de soldar, pero con varios miles de veces mayor cantidad de energía y potencial de destrucción.

Bola de Fuego (plasma):

A medida que el Arco Eléctrico crece, va sobrecalentando el aire que lo circunda, creando un frente de presión del aire en expansión y una bola de fuego que puede poner en peligro la vida del usuario.

Como se puede apreciar en la figura D los resultados pueden ser fatales para el electricista. Toda la energía disponible en el sistema eléctrico alimenta este arco eléctrico, formando una bola de fuego. Esta bola de fuego o "plasma" es capaz de cortar hasta el acero.

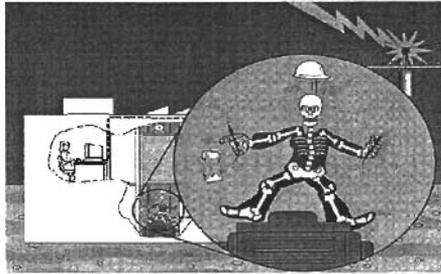


Fig. D Bola de fuego.

Mal uso de los multímetros digitales en modo amperímetro

Uno de los errores mas comunes en el uso de los multímetros digitales en modo amperímetro, que puede causar una sucesión de eventos similares a los descritos anteriormente, consiste en tomar mediciones de tensión cuando la escala está en mA o en Amperes.

Si el instrumento no está protegido por fusibles o el rango de corte del mismo es inferior a la corriente de cortocircuito, se establece un arco dentro del instrumento

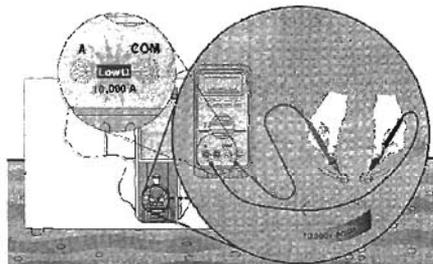


FIG. E Corto circuito por mala utilización del amperímetro

Para evitar situaciones como las descritas en el punto anterior la IEC ha establecido una norma sobre requisitos de seguridad aplicable a equipos eléctricos de medición y control; esta norma es la IEC 1010-1, que sustituyó a la IEC 348.

Parte de la IEC 1010-1 se refiere a las categorías de protección contra sobre-tensiones en las instalaciones. Cuanto más próximo está el punto de medida a una fuente de posibles transitorios, más elevada deberá ser la categoría de protección contra sobre-tensiones.

Podemos dividir a los sistemas eléctricos en cuatro Categorías: I, II, III ó IV (Figura E siguiente).

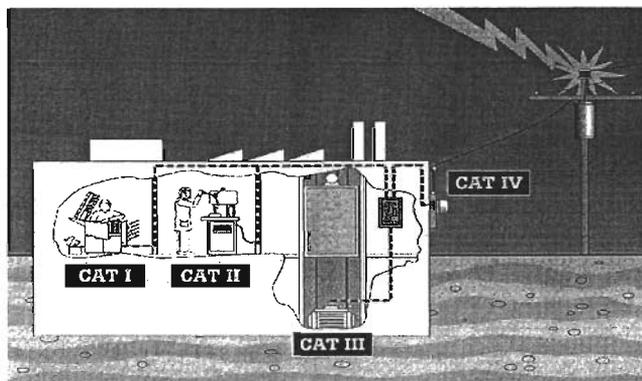


Fig. F División de los sistemas eléctricos

La norma IEC 1010 sólo se refiere a baja tensión (hasta 1000 V.); la alimentación industrial, en cambio, suele efectuarse en media tensión, y esta porción del sistema no está cubierta por la norma IEC1010.

El segundo concepto, la Categoría de la Instalación, es muy diferente del concepto de nivel de tensión. Es posible que la tensión de corriente continua en una fotocopiadora sea mayor que la tensión de corriente alterna en una rama de la instalación de una industria, pero la energía disponible y el potencial para explosiones eléctricas es muy diferente en ambos casos. La Categoría se corresponde con el nivel de corriente de cortocircuito disponible en ese punto.

Los equipos de **Categoría IV** se utilizan en instalaciones ubicadas fuera de la planta y el servicio de entrada, en servicio desde el polo (bajo tierra) hasta el edificio, entre el medidor y el tablero principal, para líneas aéreas de entrada al edificio y en líneas subterráneas de acceso al tablero. Para la determinación exacta de cada Categoría se debe estudiar cada locación en particular.

Las líneas subterráneas se consideran de Categoría IV debido a que las descargas atmosféricas, cuando viajan a través de la tierra, buscan el camino de menor impedancia.

Los equipos de **Categoría III** se utilizan en instalaciones fijas y cuando la fiabilidad y disponibilidad de los mismos están sujetas a requisitos especiales. Son ejemplos de estos equipos los interruptores de las instalaciones de distribución fijas y los equipos de uso industrial con conexión permanente al sistema de distribución (motores, sistemas de iluminación, controladores, centros de carga, etc.).

Son instalaciones típicamente separadas desde la entrada de servicio por al menos un nivel simple de transformador de aislamiento. Las líneas trifásicas siempre se consideran de Categoría III o superiores.

No se incluyen en esta categoría conexiones de cargas "enchufables", excepto en el caso de equipamiento de gran consumo con conexiones "cortas" a la entrada de servicio, por ejemplo un motor de gran porte o un circuito de iluminación general.

Del lado de la línea de un tablero (con alimentación trifásica o monofásica) es Categoría III. Del lado de las cargas, interruptores para 15/20/30 A pueden considerarse como de Categoría III (dado que están permanentemente instalados) o de Categoría II (debido a la protección adicional que ofrecen los interruptores).

Los equipos de **Categoría II** son los equipos desarrollados para su uso en instalaciones fijas o cargas enchufables, como por ejemplo los electrodomésticos y las herramientas portátiles. También se incluyen en esta categoría a todas las salidas a más de 10 metros desde Categoría III y todas las salidas a más de 20 metros desde Categoría IV.

Los equipos de **Categoría I** están destinados a circuitos en los que se adoptan medidas para limitar las sobre-tensiones transitorias a un nivel adecuadamente bajo. Son ejemplos de estos equipos los circuitos electrónicos con protección electrónica previa.

En cuanto a las condiciones de trabajo se debe asegurar de que estén bien conectados a tierra tanto los aparatos como las instalaciones eléctricas, para evitar accidentes.

Se entiende por puesta a tierra la vinculación intencional de un conductor a tierra. Si esa unión se realiza sin interposición de impedancia (o resistencia) alguna, decimos que es una puesta a tierra directa, en caso contrario sería una vinculación indirecta.

El poner a tierra un sistema eléctrico tiene por objetivo, según lo indica las Normas proteger la vida humana y animal, los bienes y los sistemas eléctricos.

La importancia de la puesta a tierra en instalaciones domiciliarias, radica en la seguridad contra tensiones peligrosas para las personas por contactos indirectos. Las protecciones eléctricas deben, en estos casos de fallas, actuar desconectando la alimentación en tiempos que estén vinculados a los efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano.

Los equipos o dispositivos de puesta a tierra y en cortocircuito deben conectarse en primer lugar a la toma de tierra y a continuación a los elementos a poner a tierra y deben ser visibles desde la zona de trabajo. Si esto último no fuera posible, las conexiones de puesta a tierra deben colocarse tan cerca de la zona de trabajo como se pueda.

Si en el curso del trabajo los conductores deben cortarse o conectarse y existe el peligro de que aparezcan diferencias de potencial en la instalación, deberán tomarse medidas de protección, tales como efectuar puentes o puestas a tierra en la zona de trabajo, antes de proceder al corte o conexión de estos conductores.

Los conductores utilizados para efectuar la puesta a tierra, el cortocircuito y, en su caso, el puente, deberán ser adecuados y tener la sección suficiente para la corriente de cortocircuito de la instalación en la que se colocan.

Se tomarán precauciones para asegurar que las puestas a tierra. Permanezcan correctamente conectadas durante el tiempo en que se realiza el trabajo. Cuando tengan que desconectarse para realizar mediciones o ensayos, se adoptarán medidas preventivas apropiadas adicionales.

Los dispositivos telemandados utilizados para la puesta a tierra y en cortocircuito de una instalación serán de accionamiento seguro y su posición en el telemando estará claramente indicada.

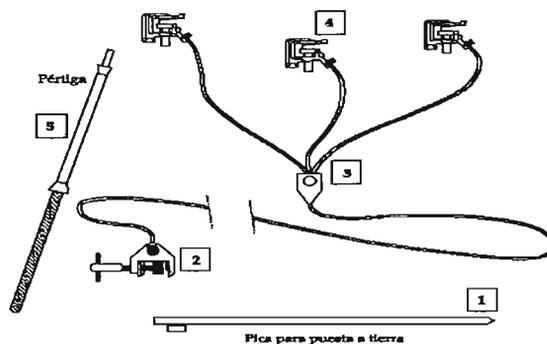


Fig. G Puesta a tierra portátil.

Elementos de un equipo portátil de puesta a tierra

- Piqueta o electrodo de toma de tierra
- Pinza o grapa de conexión a la toma de tierra
- Conductores de puesta a tierra y en cortocircuito
- Pinzas para conectar a los conductores de la instalación
- Pértiga aislante adecuada al nivel de tensión nominal

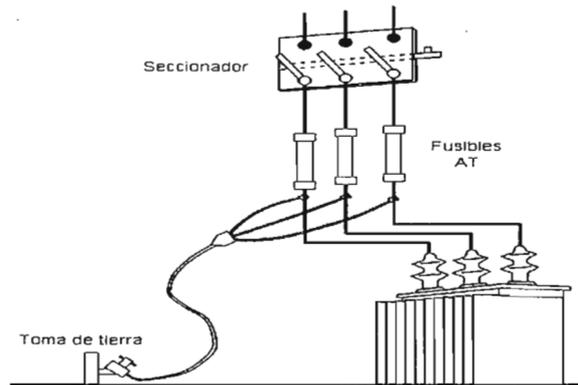


Fig. H Colocación de la puesta a tierra y cortocircuito para reposición de fusibles

Riesgos de la electricidad

Choque eléctrico

Se presentan cuando un flujo de corriente pasa por el cuerpo de un individuo (electrocución) y puede ocasionar:

- Parálisis respiratoria.
- Fibrilación.
- Parálisis del corazón.
- Quemaduras en el tejido.
- Caídas.

Arco eléctrico (altas temperaturas)

Ocurre un arco eléctrico cuando fluye una cantidad importante de corriente eléctrica a través de lo que previamente era aire.

El aire no es conductor, el flujo de la corriente se lleva a cabo en el vapor del material de la terminal del arco y el aire ionizado. Esta mezcla de materiales, a través de la cuales fluye el arco, se conoce como plasma.

¿Cuándo ocurre un arco eléctrico?

- Cuando el voltaje entre dos puntos excede la resistencia aislante, esto puede ocurrir cuando ocurre un sobrevoltaje ocasionado por descargas atmosféricas y maniobras con interruptores.
- Cuando el aire se sobre calienta con el paso de la corriente a través un conductor. Un alambre delgado al llevar mucha corriente se funde, sobre calentando el aire e iniciando un arco eléctrico.
- Cuando dos contactos llevan alta corriente y se separan. En este caso el último punto de contacto se sobre calienta y se crea un arco debido al efecto inductivo del circuito.

Temperatura del arco eléctrico

La figura h nos muestra la temperatura a la que puede llegar un arco eléctrico (la potencia del arco que puede llegar a ser a ser la mitad de la potencia del corto circuito).

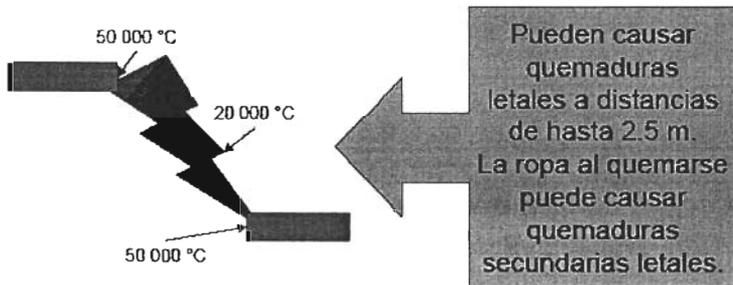


Fig. 1. Temperatura que puede alcanzar un arco eléctrico.

Efectos producidos por un arco eléctrico

- Quemaduras en la piel.
- Falla en los riñones.
- Daño a pulmones por respirar plasma.
- Quemaduras en los ojos.

Explosiones ocasionadas por los arcos eléctricos

Los arcos sobre calientan el aire instantáneamente.

Esto ocasiona una rápida expansión del aire, dando lugar a frentes de onda con presiones de 100 a 200 libras por pulgada cuadrada.

Tales presiones son suficientes para hacer explotar interruptores y transformadores, ocasionando que salga metal a altas velocidades.

En muchas ocasiones el arco no va acompañado de una explosión; pero cuando la explosión ocurre puede ser fatal.

Quemaduras

De primer grado. Ocasionan dolor y dañan la capa exterior de la piel. Resultan en poco daño permanente pues las áreas de crecimiento no se ven afectadas.

- De segundo grado. Ocasionan ampollas y daño severo en la piel.
- La capa exterior de la piel se destruye.
- De tercer grado. Destruyen por completo los centros de crecimiento, las quemaduras grandes de tercer grado requieren transplante de piel.
-

Tabla1 Condiciones de resistencia

Condición	Resistencia	
	Seco	Mojado
	K Ω	
Toque con un dedo	40 a 1000	4 a 15
Mano sosteniendo cable	10 a 50	3 a 6
Mano sosteniendo pinzas	5 a 10	1 a 3
Toque con la mano	5 a 10	1 a 2
Mano alrededor de la tubería de 1.5 o taladro	1 a 3	0,5 a 1,5
Dos manos alrededor de tubería de 1,5	0,5 a 1,5	250 a 750
Mano inmersa		200 a 500
Pie inmerso		100 a 300
Cuerpo humano sin considerar la piel		0,2 a 1

Tabla 2 Reacciones en el cuerpo humano por contacto con una corriente a 60 Hz.

Corriente 60 Hz	Fenómeno fisiológico	Sensación o incidencia letal
< 1 mA	Ninguno.	Imperceptible
1 mA	Umbral de percepción.	Sensación leve
1 a 3 mA		Sensación dolorosa
10 mA	Umbral de parálisis los brazos.	No es posible dejar de agarrar con la mano, si no se está agarrando, la persona puede jalar el brazo hacia ella.
30 mA	Parálisis respiratoria.	Se deja de respirar, frecuentemente es fatal.
75 mA	0.5% de umbral de fibrilación.	El corazón pierde operación coordinada
250 mA	Umbral de fibrilación 99.5%.	
4 A	Umbral de parálisis del corazón (no fibrilación).	El corazón se detiene mientras pasa la corriente. Durante contactos de corta duración, el corazón puede volver a funcionar al interrumpir la corriente. Por lo general no es fatal para la operación del corazón
> ó = a 5 A	Se quema la piel y los órganos.	No es fatal a menos que se quemen órganos vitales.
Electrical Safety Handbook, John Cadick		

Tabla 3 Resistencia de materiales.

Material	Resistencia
Suelas o guantes de hule	>20 MΩ
Concreto seco sobre terreno	1 a 5 MΩ
Concrete seco enterrado	0,2 a 1 MΩ
Suela de banqueta, seca incluyendo pié	0,1 a 0,5 MΩ
Suela de banqueta, mojada incluyendo pié	5 a 20 KΩ
Concreto húmedo sobre terreno	1 a 5 KΩ

ANEXO I

IDENTIFICACIÓN DE CIRCUITOS PARA LOS TABLEROS DEL EDIFICIO DEL CENTRO DE CÓMPUTO Y LABORATORIOS ANEXOS.

Tabla 1. Circuitos del tablero D, localizado en el laboratorio de TV, primer nivel.

No.	Circuito derivado.
1	Iluminación del taller de radio y redacción.
2	Iluminación del taller de radio y redacción.
3	Iluminación del taller de radio y redacción.
4	Iluminación del taller de radio y redacción.
5	Iluminación, cabina de iluminación, almacén y maquillaje
6	Iluminación de mantenimiento, cintoteca y cabina de postproducción.
7	Iluminación de aula de TV.
8	Iluminación del pasillo exterior.
9	Contactos.
10	Contactos maquillaje.
13	Lámparas HID para iluminación general.
16, 18 y 20	Interruptor general del tablero.

Tabla 2. Circuitos del tablero B, localizado en el laboratorio de TV, primer nivel.

No.	Circuito derivado.
1	Contactos del estudio de TV.
2	Contactos del estudio de TV.
3	Contactos del estudio de TV.
4	Contactos del estudio de TV y estudio de postproducción.
5	Contactos del estudio de TV.
6	Contactos del estudio de TV.
7	Contactos del estudio de TV.
8	Contactos del estudio de TV.
9	Contactos de mantenimiento.
10	Contactos del aula de TV.
11	Contactos cabina de postproducción
12	Circuito no identificado.
13	Circuito no identificado.
15, 17 y 19	Contactos trifásicos del estudio de TV.
14, 16 y 18	Contactos trifásicos del estudio de TV.
20	Contactos regulados cabina de producción y de radio.
22	
24	Iluminación del estudio de TV.
41, 39 y 37	Interruptor general del tablero.

Tabla 3. Circuitos del tablero del taller de redacción, localizado en el primer nivel.

No.	Circuito derivado.
1	Contactos montados en condulet de instalación exterior.
2	Contactos montados en condulet de instalación exterior.
3	Contactos montados en condulet de instalación exterior.
4	Contactos montados en condulet de instalación exterior.
5	Circuito de reserva.
6	Circuito de reserva.

Tabla 4. Circuitos del tablero del taller de radio, localizado en el primer nivel.

No.	Circuito derivado.
3	No encontrado.
4	No encontrado.
5	No encontrado.
6	No encontrado.
7	No encontrado.
9	Iluminación de cabinas de producción y locución.
10	No encontrado.
11	Contactos cabinas de producción y locución.
12	No encontrado.

Tabla 5. Circuitos del tablero B, localizado en el laboratorio de TV, primer nivel.

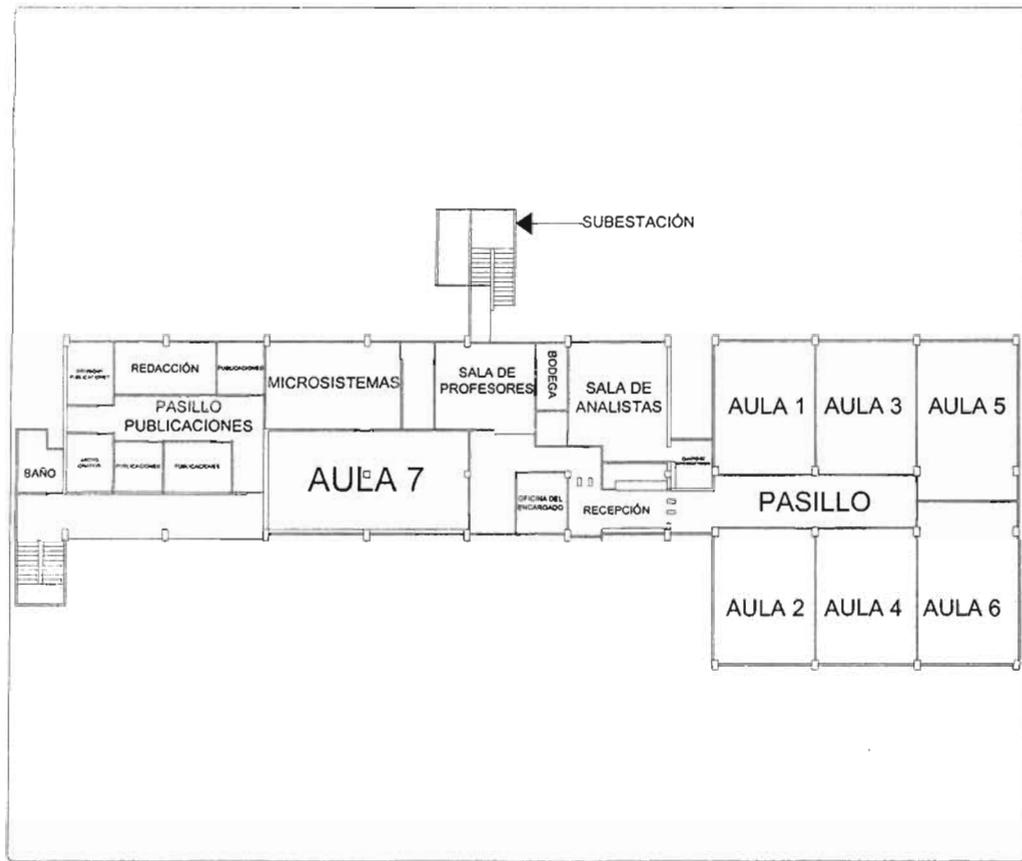
No.	Circuito derivado.
1	Iluminación del aula.
2	Iluminación del lab. Profesional y bodega.
3	Iluminación del aula.
4	Iluminación de los laboratorios de fotografía.
5	Iluminación pasillo a laboratorios.
6	Contactos del aula.
7	Contactos lab. Profesional y recepción.
8	Contactos acabados alumnos.
9	Contactos laboratorios 1 y 2.
10	Contactos del lab. 1 y bodega.
11	Contactos del lab. Profesional.
12	Circuito del lab. Profesional y contactos.
13	Contactos del lab. 3.
16, 18 y 20	Interruptor general.

Tabla 6. Circuitos del tablero No. 1, localizado en el centro de computo Planta Baja.

No.	Circuito derivado.
2	Analistas.
3	Iluminación pasillo.
4	Contactos.
5	Contactos.
6	Sistema
7	Aula 7.
9	Contactos.
10	Pasillo
11	Contactos.
12	Contactos.
13	Contactos.
14	Contactos.
15	Energía analistas.
16, 18 y 20	Aire acondicionado.
19, 21 y 23	Aire acondicionado.
22	Extractor.
24	Extractor.

Tabla 7. Circuitos del tablero No. 3, localizado en el centro de computo Planta Baja.

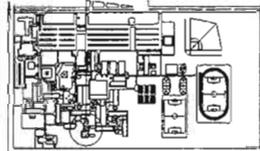
No.	Circuito derivado.
1	Aula 7.
2	No localizado.
3	Aula 7.
4	Reserva.
5	No localizado.
6	Aula 7.
7	No localizado.
9	Contactos de los servidores.
10	No localizado.
11	Contactos minisistemas.
12	No localizado.
13	No localizado
14	No localizado
15	Reserva.
16	No localizado.
17	Contactos minisistemas.
18	No localizado
19	Reserva.
20	Reserva.
21	Reserva.
22	Reserva.
23	Reserva.
24	Reserva.



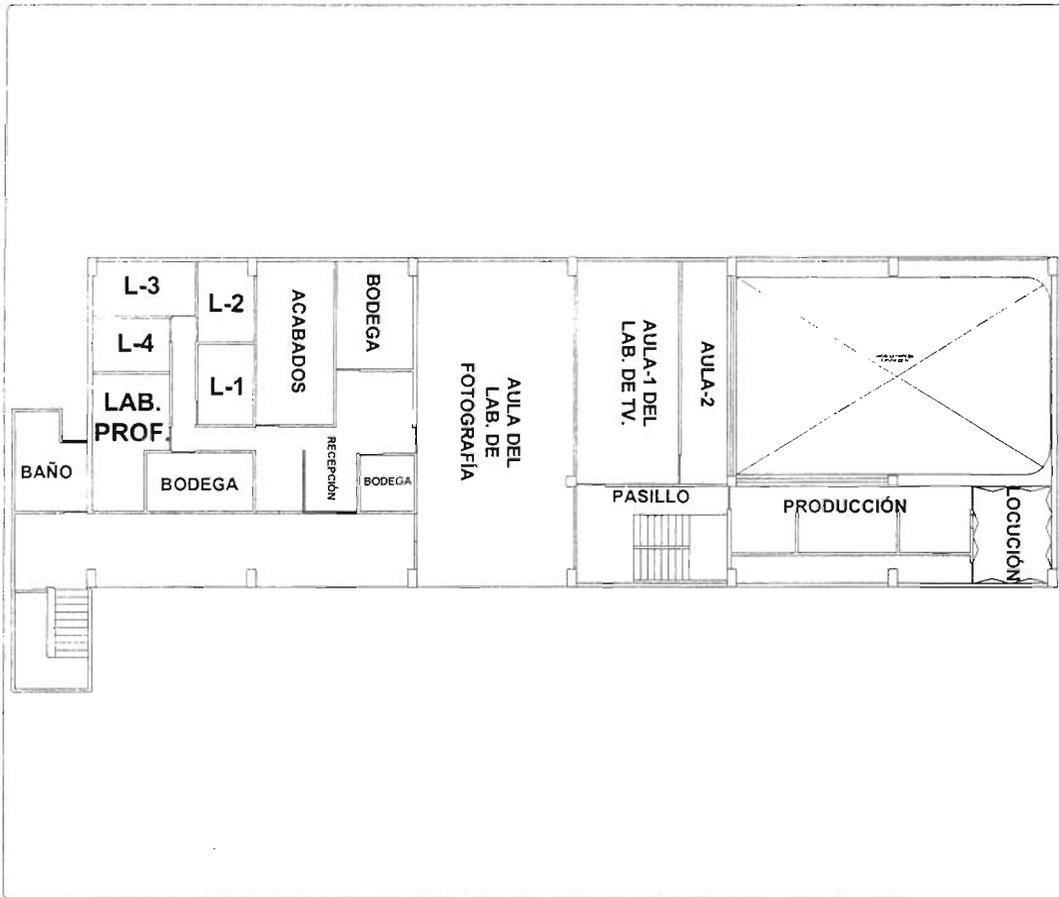
IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS



UBICACIÓN DEL EDIFICIO DENTRO DE LA FES ARAGÓN



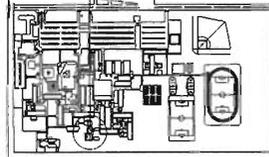
	FES Aragón Universidad y Ciudad de la Energía Edificios, C/01 000	Plan de Área Área de Edificios
	Edificio 01 - Planta de la Subestación de 10kV	Escala: 1:100 Fecha: 10/05/2014



IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS



UBICACIÓN DEL EDIFICIO DE CENTRO DE COMPUTO



	PROYECTO IDENTIFICACIÓN Y CARGA DE LA EDIFICIO	FECHA 15/05/2010
	PROYECTANTE INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	ESCALA 1:100
PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS	PROYECTANTE INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	FECHA 15/05/2010
PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS	PROYECTANTE INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	FECHA 15/05/2010

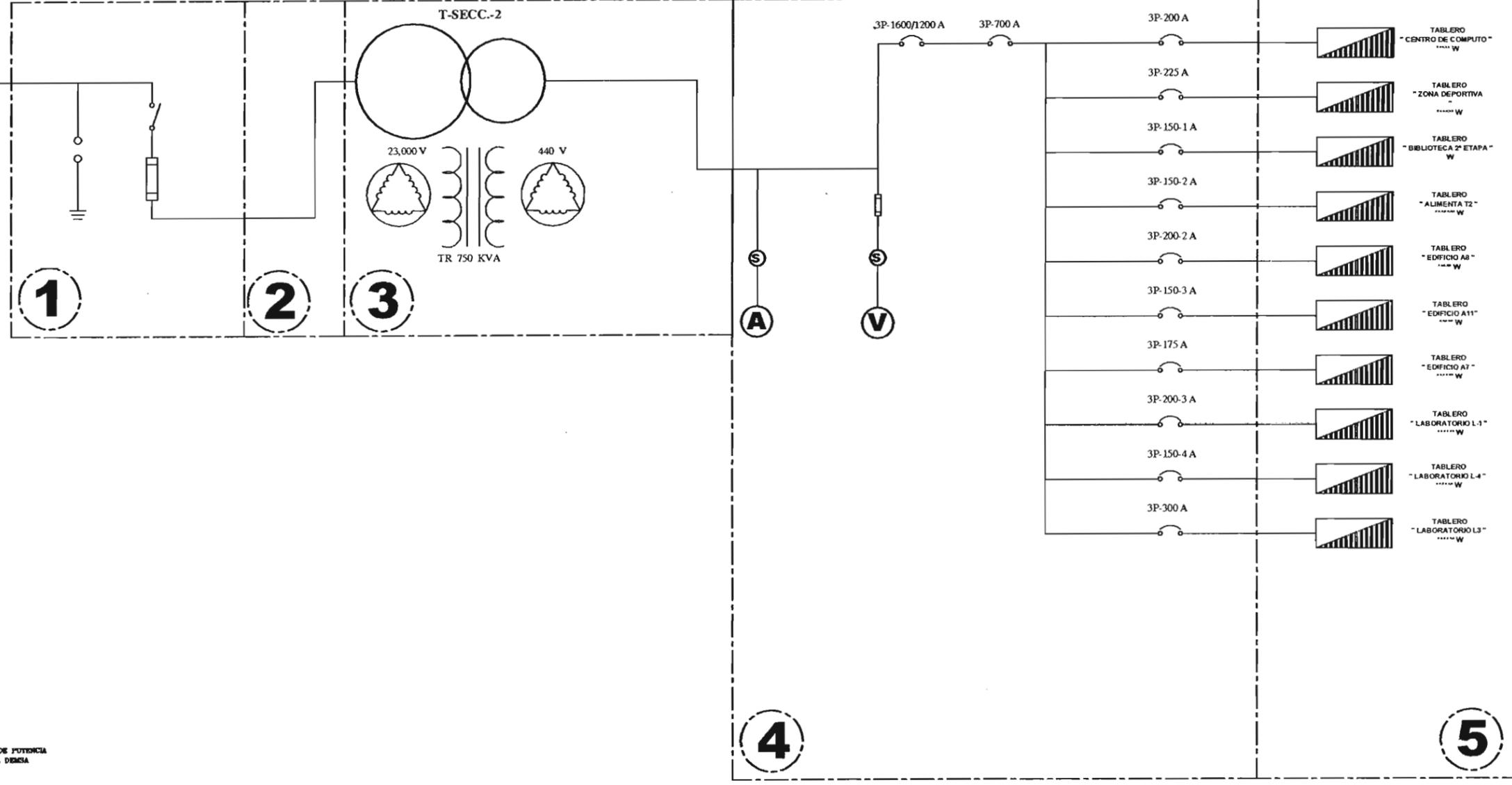
CUADROS DE CARGA

TABLERO ANEXO C.C. SISTEMA 3 FASES, 4 HILOS, 220/127 VOLTS, 60 HZ. MARCA FEDERAL PACIFIC. TIPO NALP-24 SOBREPONER.

DIRECCIÓN: FES ARAGÓN. SERVICIO: ALUMBRADO Y RECEPTACULOS. LOCALIZACIÓN: CUARTO DE INTERRUPTORES DEL ANEXO.

Circuito	Descripción	Potencia (W)	FASES			Termino mag netico
			A	B	C	
1		200	200			PR-30A
2		1000	1000			PR-30A
3		1000		1000		PR-30A
4		1000			1000	PR-30A
5		1000				PR-30A
6		1000				PR-30A
7		1000				PR-30A
8		1000				PR-30A
9		1000				PR-30A
10		1000				PR-30A
11		1000				PR-30A
12		1000				PR-30A
13		1000				PR-30A
14		1000				PR-30A
15		1000				PR-30A
16		1000				PR-30A
17		1000				PR-30A
18		1000				PR-30A
19		1000				PR-30A
20		1000				PR-30A
21		1000				PR-30A
22		1000				PR-30A
23		1000				PR-30A
24		1000				PR-30A
25		1000				PR-30A
26		1000				PR-30A
27		1000				PR-30A
28		1000				PR-30A
29		1000				PR-30A
30		1000				PR-30A
31		1000				PR-30A
32		1000				PR-30A
33		1000				PR-30A
34		1000				PR-30A
35		1000				PR-30A
36		1000				PR-30A
37		1000				PR-30A
38		1000				PR-30A
39		1000				PR-30A
40		1000				PR-30A
41		1000				PR-30A
42		1000				PR-30A
43		1000				PR-30A
44		1000				PR-30A
45		1000				PR-30A
46		1000				PR-30A
47		1000				PR-30A
48		1000				PR-30A
49		1000				PR-30A
50		1000				PR-30A
51		1000				PR-30A
52		1000				PR-30A
53		1000				PR-30A
54		1000				PR-30A
55		1000				PR-30A
56		1000				PR-30A
57		1000				PR-30A
58		1000				PR-30A
59		1000				PR-30A
60		1000				PR-30A
61		1000				PR-30A
62		1000				PR-30A
63		1000				PR-30A
64		1000				PR-30A
65		1000				PR-30A
66		1000				PR-30A
67		1000				PR-30A
68		1000				PR-30A
69		1000				PR-30A
70		1000				PR-30A
71		1000				PR-30A
72		1000				PR-30A
73		1000				PR-30A
74		1000				PR-30A
75		1000				PR-30A
76		1000				PR-30A
77		1000				PR-30A
78		1000				PR-30A
79		1000				PR-30A
80		1000				PR-30A
81		1000				PR-30A
82		1000				PR-30A
83		1000				PR-30A
84		1000				PR-30A
85		1000				PR-30A
86		1000				PR-30A
87		1000				PR-30A
88		1000				PR-30A
89		1000				PR-30A
90		1000				PR-30A
91		1000				PR-30A
92		1000				PR-30A
93		1000				PR-30A
94		1000				PR-30A
95		1000				PR-30A
96		1000				PR-30A
97		1000				PR-30A
98		1000				PR-30A
99		1000				PR-30A
100		1000				PR-30A
101		1000				PR-30A
102		1000				PR-30A
103		1000				PR-30A
104		1000				PR-30A
105		1000				PR-30A
106		1000				PR-30A
107		1000				PR-30A
108		1000				PR-30A
109		1000				PR-30A
110		1000				PR-30A
111		1000				PR-30A
112		1000				PR-30A
113		1000				PR-30A
114		1000				PR-30A
115		1000				PR-30A
116		1000				PR-30A
117		1000				PR-30A
118		1000				PR-30A
119		1000				PR-30A
120		1000				PR-30A
121		1000				PR-30A
122		1000				PR-30A
123		1000				PR-30A
124		1000				PR-30A
125		1000				PR-30A
126		1000				PR-30A
127		1000				PR-30A
128		1000				PR-30A
129		1000				PR-30A
130		1000				PR-30A
131		1000				PR-30A
132		1000				PR-30A
133		1000				PR-30A
134		1000				PR-30A
135		1000				PR-30A
136		1000				PR-30A
137		1000				PR-30A
138		1000				PR-30A
139		1000				PR-30A
140		1000				PR-30A
141		1000				PR-30A
142		1000				PR-30A
143		1000				PR-30A
144		1000				PR-30A
145		1000				PR-30A
146		1000				PR-30A
147		1000				PR-30A
148		1000				PR-30A
149		1000				PR-30A
150		1000				PR-30A
151		1000				PR-30A
152		1000				PR-30A
153		1000				PR-30A
154		1000				PR-30A
155		1000				PR-30A
156		1000				PR-30A
157		1000				PR-30A
158		1000				PR-30A
159		1000				PR-30A
160		1000				PR-30A
161		1000				PR-30A
162		1000				PR-30A
163		1000				PR-30A
164		1000				PR-30A
165		1000				PR-30A
166		1000				PR-30A
167		1000				PR-30A
168		1000				PR-30A
169		1000				PR-30A
170		1000				PR-30A
171		1000				PR-30A
172		1000				PR-30A
173		1000				PR-30A
174		1000				PR-30A
175		1000				PR-30A
176		1000				PR-30A
177		1000				PR-30A
178		1000				PR-30A
179		1000				PR-30A
180		1000				PR-30A
181		1000				PR-30A
182		1000				PR-30A
183		1000				PR-30A
184		1000				PR-30A
185		1000				PR-30A
186		1000				PR-30A
187		1000				PR-30A
188		1000				PR-30A
189		1000				PR-30A
190		1000				PR-30A
191		1000				PR-30A
192		1000				PR-30A
193		1000				PR-30A
194		1000				PR-30A
195		1000				PR-30A
196		1000				PR-30A
197		1000				PR-30A
198		1000				PR-30A
199		1000				PR-30A
200		1000				PR-30A
201		1000				PR-30A
202		1000				PR-30A
203		1000				PR-30A
204		1000				PR-30A
205		1000				PR-30A
206		1000				PR-30A
207		1000				PR-30A
208		1000				PR-30A
209		1000				PR-30A
210		1000				PR-30A
211		1000				PR-30A
212		1000				PR-30A
213		1000				PR-30A
214		1000				PR-30A
215		1000				PR-30A
216		1000				PR-30A
217		1000				PR-30A
218		1000				PR-30A
219		1000				PR-30A
220		1000				PR-30A
221		1000				PR-30A
222		1000				PR-30A
223		1000				PR-30A
224		1000				PR-30A
225		1000				PR-30A
226		1000				PR-30A
227		1000				PR-30A
228		1000				PR-30A
229		1000				PR-30A
230		1000				PR-30A
231		1000				PR-30A
232		1000				PR-30A
233		1000				PR-30A
234		1000				PR-30A
235		1000				PR-30A
236		1000				PR-30A
237		1000				PR-30A
238		1000				PR-30A
239		1000				PR-30A
240		1000				PR-30A
241		1000				PR-30A
242		1000				PR-30A
243		1000				PR-30A
244		1000				PR-30A
245		1000				PR-30A
246		1000				PR-30A
247		1000				PR-30A
248		1000				PR-30A
249		1000				PR-30A
250		1000				PR-30A
251		1000				PR-30A
252		1000				PR-30A
253		1000				PR-30A
254		1000				

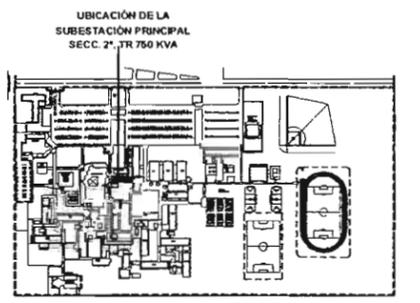
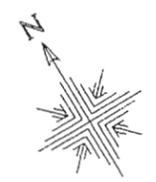
ACOMETIDA PRINCIPAL
23,000 VOLTS



- ① SECCION DE INTERRUPTOR CUCHILLA-POSIBLE
- ② SECCION DE ACOPLAMIENTO
- ③ SECCION DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 700 KVA EN ACRIE MANCA DEMSA
- ④ TABLERO DE DISTRIBUCION CUENTA CON UN VOLMETRO Y UN AMPERMETRO
- ⑤ SECCION A TABLEROS DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION

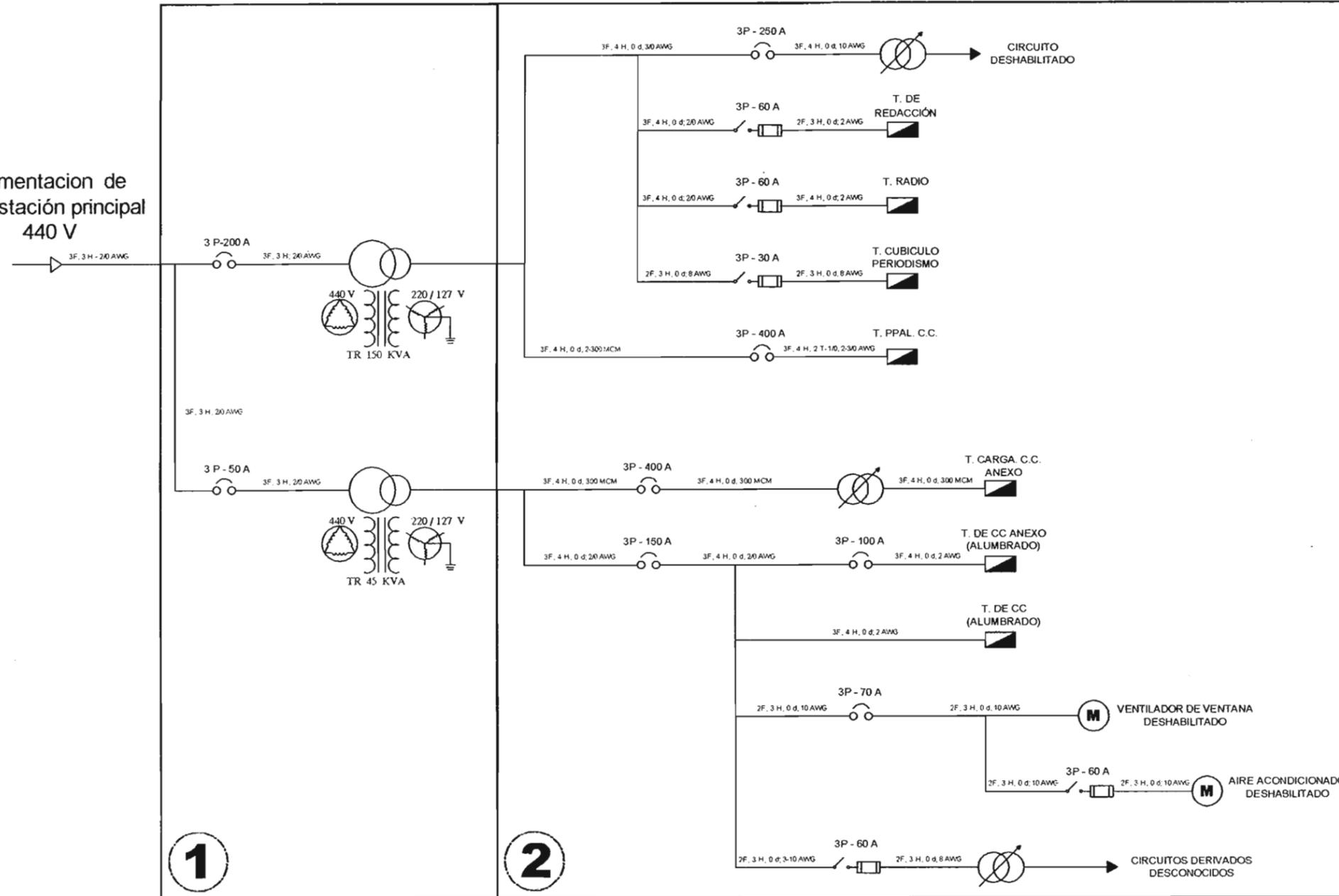
SIMBOLOGIA

- TABLERO DE DISTRIBUCION O CENTRO DE CARGA LAS MEDIDAS DE LOS TABLEROS SON INVERSAS DE ACUERDO A LA CARGA QUE DISTRIBUYEN
- INTERRUPTOR TIPO MAGNETICO EL TIPO DE INTERRUPTOR VARIA DE ACUERDO A LA CARGA CORRESPONDIENTE
- TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA OPERACION EN BAJA TENSION
- TRANSFORMADOR TIPO INDO
- CONFIGURACION DEL TRANSFORMADOR EN ALTA Y BAJA
- LINEA DE BAJA TENSION 400 VOLTS ALIMENTACION PRINCIPAL
- LINEA DE DISTRIBUCION TIPOFASICA 220/127 VOLTS DISTRIBUCION A CENTROS DE CARGA Y TABLEROS DERIVADOS
- FUSIBLE
- CUCHILLA
- PUESTA A TIERRA
- AMPERMETRO
- VOLMETRO



	DNEP ARAGON INGENIERO ACTUALIZACION Y CALIDAD DE LA ENERGIA	Fecha de Emision: _____
	WEZAHUALCOYOTL EDO. MEXICO	Escala: _____
ACT. DEL DIAGRAMA UNIFILAR DE LA DNEP ARAGON	Autorizado por: _____	Fecha: _____
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUB. PRINCIPAL SECC. 2ª, TR 750 KVA	Proyecto: _____	Hoja: _____

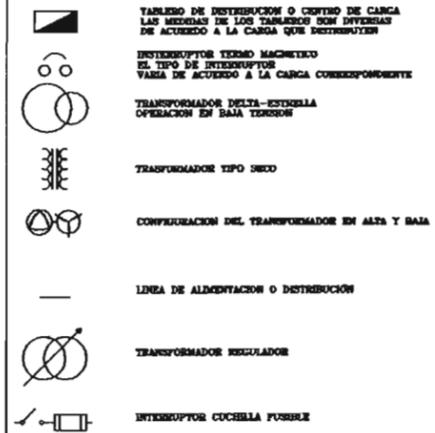
Alimentación de subestación principal 440 V



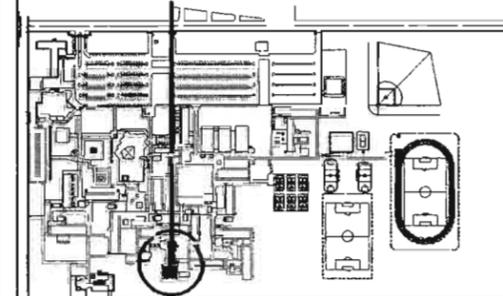
1 TABLERO DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION
 MARCA FEDERAL PACIFIC
 TRANSFORMADOR TIPO SECO 150 KVA
 DELTA-ESTRELLA
 TABLERO DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION
 MARCA FEDERAL PACIFIC
 TRANSFORMADOR TIPO SECO 45 KVA
 DELTA-ESTRELLA

2 SECCION DE INTERRUPTORES DE 3 POLOS
 BAJA TENSION 220/127 VOLTS C.A.

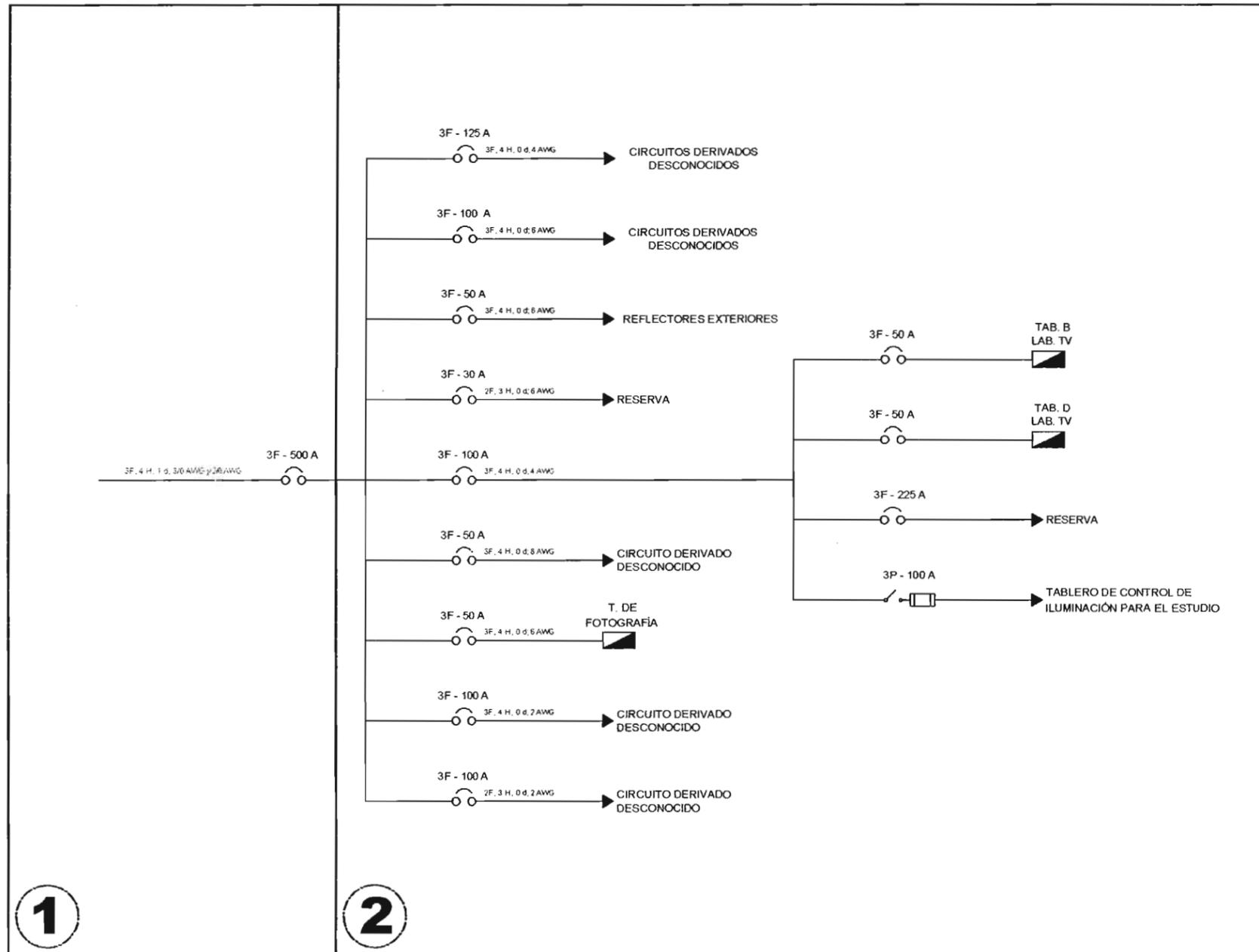
SIMBOLOGIA



UBICACION DEL EDIFICIO DE CENTRO DE COMPUTO



FES ARAGON ACTUALIZACION Y CALIDAD DE LA ENERGIA MEZARIALCOYOTL EDO. MEXICO	AREA DE INGENIERIA ESPECIALIDAD EN SISTEMAS A.C.
EDIFICIO C.C. Y ANEXOS DE LA FES ARAGON, SUR ELECTRICA DIAGRAMA UNIFILAR	ESCALA: 1:100 FECHA: 1988 DISEÑADO POR: [] REVISADO POR: []



1

2

1 INTERRUPTOR GENERAL MARCA FEDERAL PACIFIC

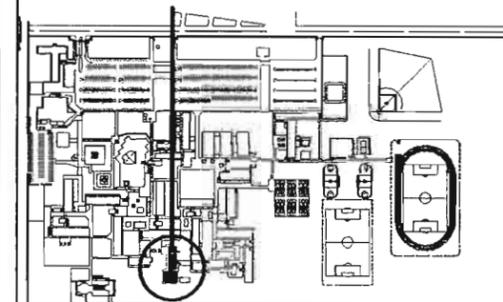
2 SECCION DE INTERRUPTORES DE 3 POLOS BAJA TENSION 220/127 VOLTS C.A.

SIMBOLOGIA

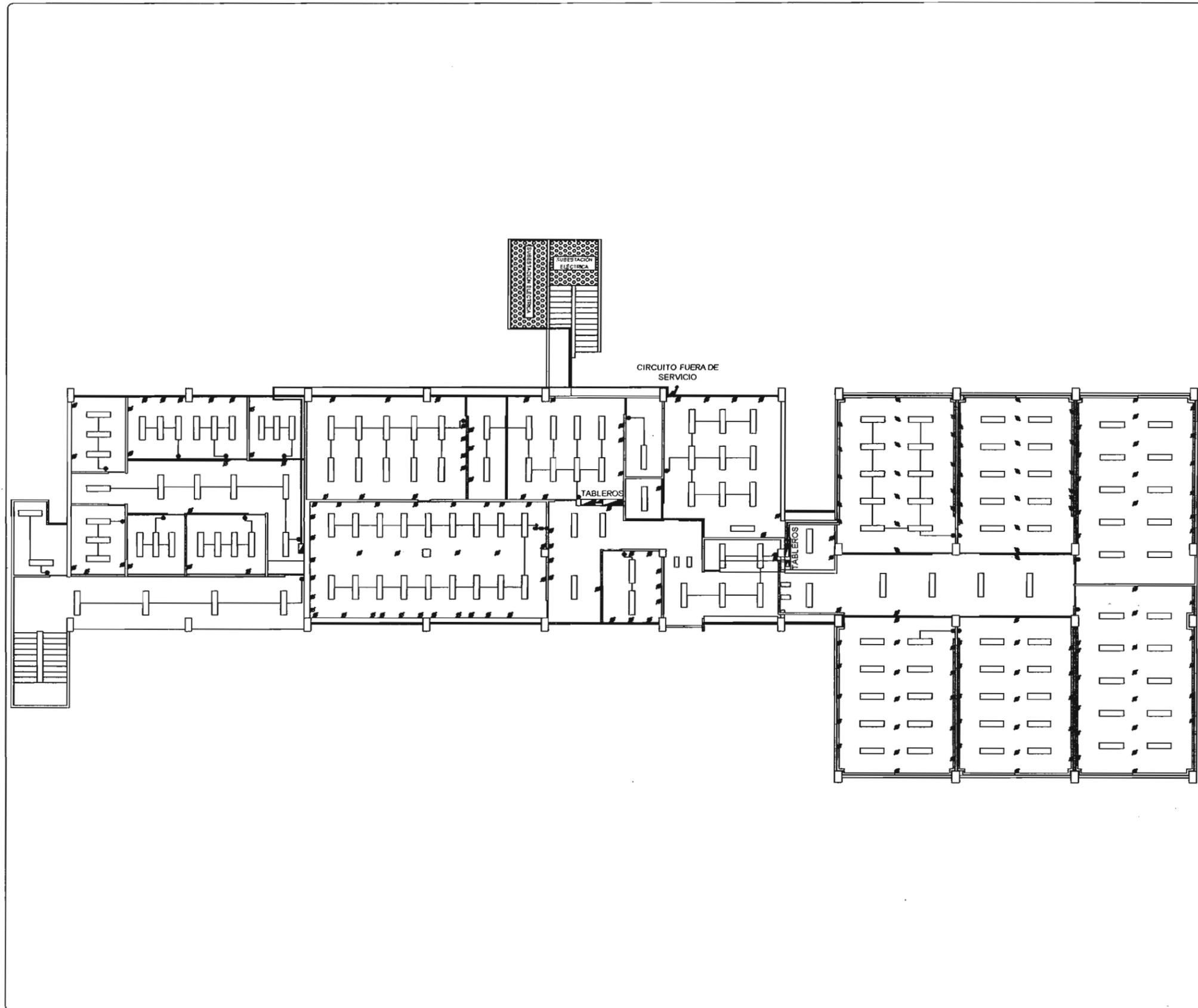
-  TABLERO DE DISTRIBUCION O CENTRO DE CARGA LAS MEDIDAS DE LOS TABLEROS SON INFERIAS DE ACUERDO A LA CARGA QUE DISTRIBUYEN
-  INTERRUPTOR TIPO MAGNETICO EL TIPO DE INTERRUPTOR VARIA DE ACUERDO A LA CARGA CORRESPONDIENTE
-  INTERRUPTOR CUCHILLA FUSIBLE
-  LINEA DE ALIMENTACION O DISTRIBUCION



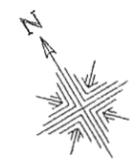
UBICACION DEL EDIFICIO DE CENTRO DE COMPUTO



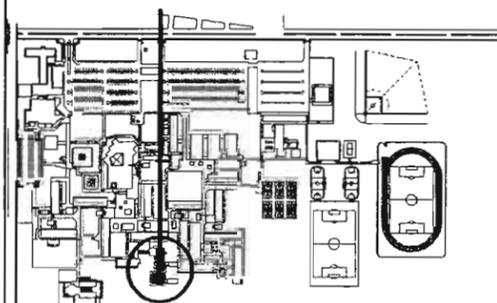
	PROYECTO: FES ARAGON	FECHA:
	OBJETIVO: ACTUALIZACION Y CALIDAD DE LA ENERGIA	ESCALA:
UBICACION: MEZAHUALCOYOTL, EDO. MEXICO	AUTORIA: 	DISEÑADO POR:
CLIENTE: EDIFICIO C.C. Y ANEXOS DE LA FES ARAGON, TABLERO C.C.	TIPO DE DISEÑO: 	FECHA:
TITULO: DIAGRAMA UNIFILAR	ESCALA: 	HOJA:



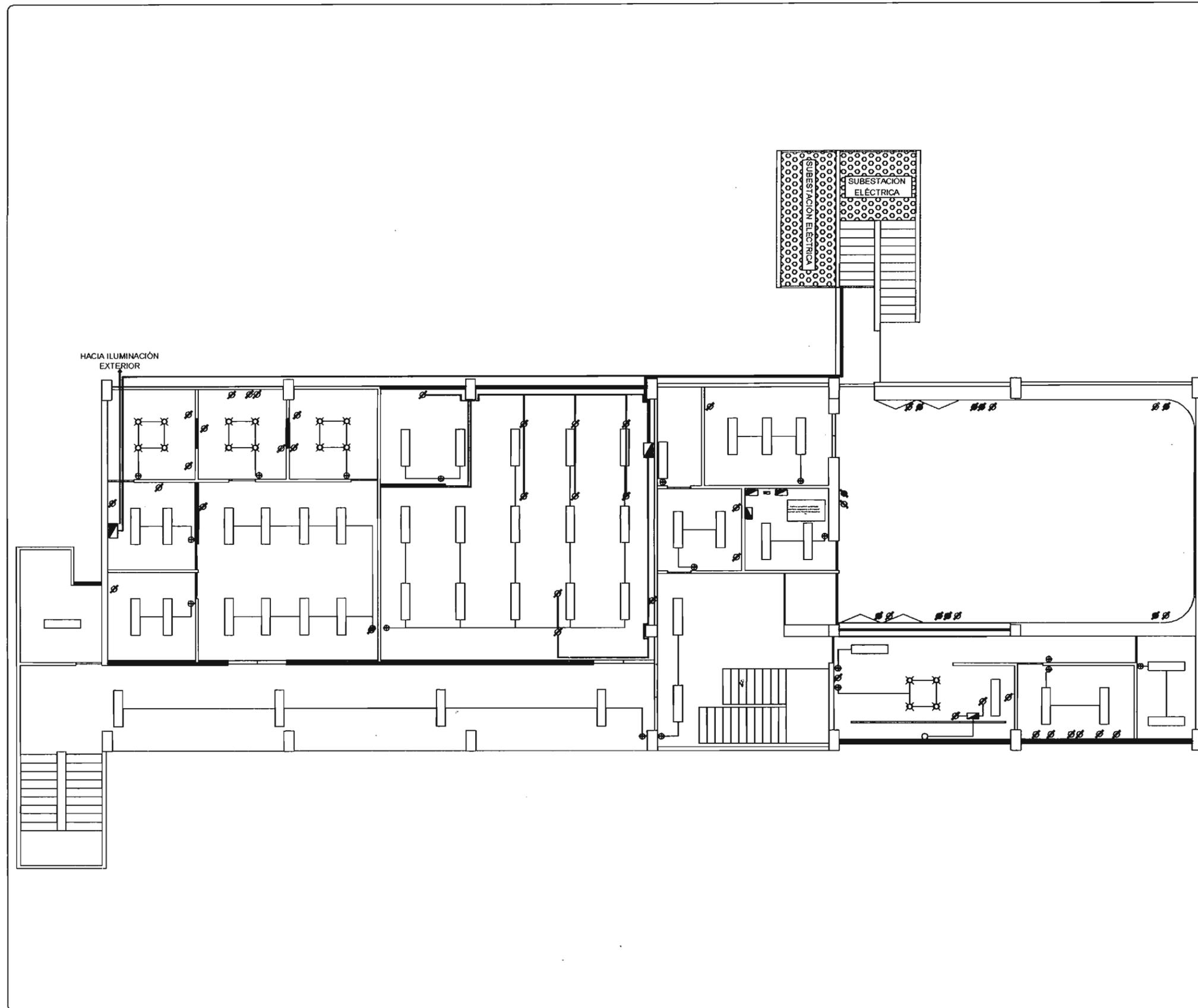
	CONTACTOS
	APAGADOR
	APAGADOR ESCALERA
	LAMPARA
	DICROICA
	TABLERO ALUMBRADO
	LINEA DE ALIMENTACION
	TUBO CONDUT
	LUMINARIAS 2 X 39



UBICACION DEL EDIFICIO DE CENTRO DE COMPUTO



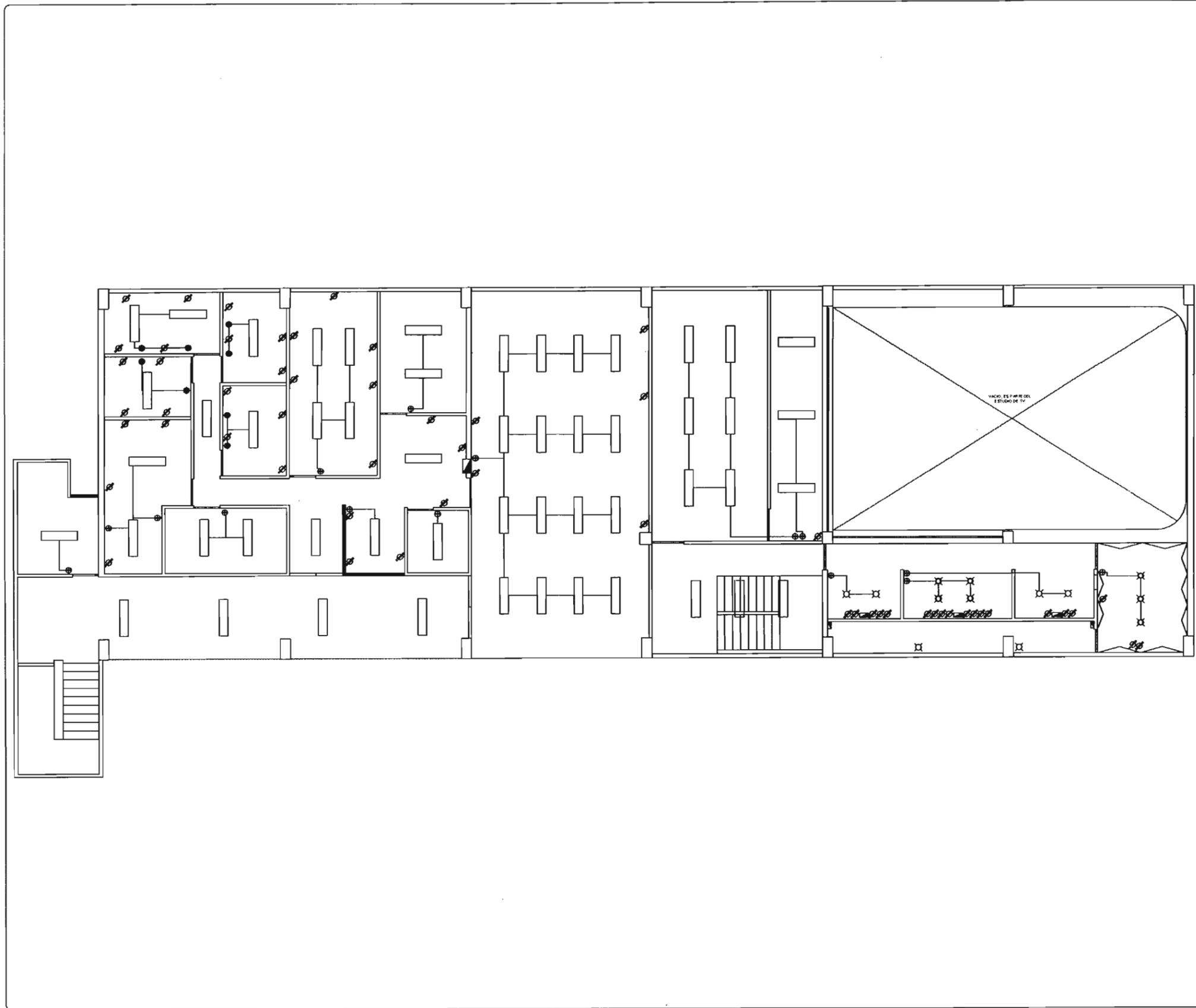
	FES ARAGON ACTUALIZACION Y CALIDAD DE LA ENERGIA MEZAMALCOYOTL, EDO. MEXICO	Fecha: _____ Escala: _____
	EDIFICIO C.C. Y ANEXOS DE LA FES ARAGON, PLANTA BAJA PLANO ELECTRICO E ILUMINACION	Autor: _____ Revisor: _____ Aprobado: _____



	CONTACTOS
	CONTACTO DE SEGURIDAD
	APAGADOR
	APAGADOR ESCALERA
	LAMPARA
	DICROICA
	TABLERO ALUMBRADO
	LINEA DE ALIMENTACIÓN
	TUBO CONDUIT
	LUMINARIAS 2 X 39



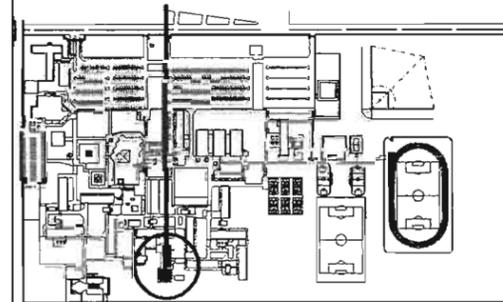
	FES ARAGON ACTUALIZACIÓN Y CALIDAD DE LA ENERGIA NEZAHUALCOYOTL, EDO. MEXICO	AREA DE SERVICIOS LÍNEA DE SERVICIO A C.
	EDIFICIO C.C. Y ANEXOS DE LA FES ARAGON, PRIMER PISO	ESCALA: 1:500 FECHA: 1988
	PLANO ELECTRICO E ILUMINACIÓN	HOJA: 01 DE 01
	CENTRO TECNICO	



	CONTACTOS
	APAGADOR
	APAGADOR ESCALERA
	LAMPARA
	DICROICA
	TABLERO ALUMBRADO
	LINEA DE ALIMENTACION
	LUMINARIAS 2 X 39



UBICACIÓN DEL EDIFICIO DE CENTRO DE COMPUTO



	FES ARAGON ACTUALIZACION Y CALIDAD DE LA ENERGIA NEZAHUALCOYOTL EDO. MEXICO	AREA DE ESTUDIOS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA A LA
	EDIFICIO C.C. Y ANEXOS DE LA FES ARAGON, SEGUNDO PISO PLANO ELECTRICO E ILUMINACION	ESCALA: 1:500 FECHA: JUNIO 1988 DISEÑADO POR: