UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

LA CALIDAD DE LA ENERGÍA REQUERIDA EN LA INDUSTRIA EN MÉXICO

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

PRESENTAN
NAYELI ROCHA ROMERO
JACQUELINE MIRANDA MÁRQUEZ
DANIEL CARREÑO BASURTO

DIRECTOR DE TESIS:
ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY

Ciudad Universitaria, México, D.F., Marzo de 2007

AGRADECIMIENTOS

DIOS gracias por la familia que tengo y por los padres que me escogiste.

PARA MIS PADRES

Mi madre es como la luna, quien protege la noche y es incapaz de permitir que los temibles rayos del sol puedan penetrarse o asomarse para dañar a sus pequeñas estrellas, susurra para arrullarlas y cuando presiente el peligro es agresiva e implacable cuidando siempre de los suyos.

Mi padre es como el pastor, cuidando siempre a sus ovejas guiándolas con su enseñanza y sabiduría. Poniendo siempre el ejemplo, buscando nuevas alternativas y mostrando que nunca es tarde para empezar aun cuando la lejanía es difícil, pero no imposible de superar.

Aun a mi edad es imposible desprenderme del calor de sus brazos, aún estoy en el nido apunto de emprender ese vuelo por el camino del éxito y que nunca hubiese alcanzado sin sus enseñanzas, gracias por su apoyo para logar este sueño y por darme los valores que a través de la vida me darán la sabiduría para escoger el sendero correcto. Los quiero mucho.

A MIS HERMANOS

Mari, Edgar y Norma les agradezco que me hayan cuidado, aun cuando ustedes también eran pequeños por asumir una responsabilidad tan grande, por su ejemplo y por estar conmigo cuando más los he necesitado. Prometo cuidar de Dieguito, Vane y de Edgarito como ustedes lo hicieron conmigo.

A MIS AMIGOS por los inolvidables momentos en la Facultad. También quiero agradecer al ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY, Director de Tesis por sus enseñanzas dentro de las aulas y por apoyo incondicional.

NAYELI ROCHA ROMERO

AGRADECIMIENTOS

A él, quien me dio la vida, que con esfuerzo amor y dedicación me hizo una persona de bien, que día con día lucha para sacarme adelante y a pesar de las pruebas difíciles que nos pone la vida, él no se ha vencido.

Él es una persona admirable y respetable, ahora e indudablemente sigo su ejemplo porque el escogió la profesión mas difícil de esta vida; la de ser un buen padre, gracias por ser el mejor Ruperto Miranda Miranda.

A ella quien me dio la vida, que día con día dedica su tiempo y espacio para darme amor, educación y comprensión. Porque siempre está conmigo en las buenas y en las malas. La admiro por ser mi compañera, mi amiga pero sobre todo, por ser mi madre. Ella es Irma Márquez Maldonado.

A ella que es un ejemplo a seguir, que me ha dado apoyo, comprensión y amor que lejos de ser mi hermana es una grande amiga. Ella es Araceli Miranda Márquez.

A ella que durante el transcurso de mi vida hemos crecido juntas y compartido buenos y malos momentos, indudablemente es mi gran compañera. Ella es Lorena Miranda Márquez.

A mi pequeño Alan Miranda Márquez, que nos ha traído alegría y felicidad.

Al Ing. Guillermo López Monroy por el apoyo que me ha brindado y por la confianza que entrega a los estudiantes.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la educación y formación que me ha dado.

Jacqueline Miranda Márquez

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1-5

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS 6
1.1 LA ENERGÍA Y SU IMPORTANCIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA HUMANIDAD 6-7
1.2 CRONOLOGÍA DE LA ELECTRICIDAD 7-10
1.3 LA INDUSTRIA ELÉCTRICA EN MÉXICO 10-16
1.4 CRONOLOGÍA HISTÓRICA DE COMPAÑÍA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO 16-21
1.5 CREACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD 21-22
1.6 INDUSTRIA ACTUAL 22-24

CAPÍTULO 2. PARÁMETROS ELÉCTRICOS 25-26
2.1 RESISTENCIA ELÉCTRICA 26
2.2 POTENCIA Y ENERGÍA 27
2.2.1 POTENCIA APARENTE 27
2.2.2 POTENCIA REAL O ACTIVA Y POTENCIA REACTIVA 27-29
2.3 PARÁMETROS DE LA ONDA SENOIDAL 29
2.3.1 TENSIÓN 29
2.3.2 TENSIÓN NOMINAL (Tn) 29-30
2.3.3 CORRIENTE 30
2.3.4 FRECUENCIA 30
2.3.5 PERIODO 30-31
2.3.6 RELACIÓN DE ÁNGULO 31-32
2.3.7 VALOR MEDIO 33
2.3.8 VALOR EFICAZ 34-35
2.4 FACTOR DE POTENCIA 35
2.5 ALTERACIONES DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS 35
2.5.1 DISTURBIOS POR SOBRETENSIONES TRANSITORIAS 36
2.5.2 IMPULSO 36
2.5.3 OSCILATORIOS 36-37
2.6 VARIACIONES DE LA TENSIÓN 37
2.6.1 CAIDA DE TENSIÓN (SAG) 37-38
2.6.2 ELEVACIONES DE TENSIÓN (SWELL) 38
2.6.3 INTERRUPCIÓN 39
2.6.4 DESBALANCES DE VOLTAJE 39-40
2.7 VARIACIÓN DE LARGA DURACIÓN 40
2.7.1 INTERRUPCIONES SOSTENIDAS 40
2.7.2 BAJA TENSIÓN 40
2.7.3 SOBRE TENSIÓN 41
2.7.4 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN 41
2.7.5 VARIACIONES DE FRECUENCIA 42
2.8 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA 42
2.8.1 COMPONENTE DE CD 42
2.8.2 CONTENIDO ARMÓNICO 42

2.8.3 ARMÓNICAS 43
2.8.4 INTERARMÓNICAS 43-44
2.8.5 MUESCAS EN LA TENSIÓN (NOTCHING) 44-45
2.8.6 RUIDO 45-46

CAPÍTULO 3. FALLAS ATRIBUIBLES AL SUMINISTRADOR 47
3.1 LA TRAYECTORIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA HASTA LA INDUSTRIA DONDE SE PRESENTAN FALLAS 47-53
3.2 EQUIPOS DONDE SE PUEDEN PRESENTAR FALLAS 54-58
3.3 FALLAS PRINCIPALES EN LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA 58
3.3.1 FALLAS ENTRE ESPIRAS EN MÁQUINAS 59
3.3.2 LAS FALLAS ENTRE ESPIRAS EN GENERADORES SÍNCRONOS 59
3.3.3 LAS FALLAS ENTRE ESPIRAS EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA 59
3.4 DETECCIÓN DE FALLAS 60
3.4.1 SOBRECORRIENTE 60
3.4.2 CORRIENTE DIFERENCIAL (CIRCULANTE) 60-61
3.4.3 DIFERENCIA DE LOS ÁNGULOS DE FASE DE LAS CORRIENTES 61
3.4.4 SOBRE Y BAJA TENSIÓN 61
3.4.5 COMPONENTES SIMÉTRICAS DE LAS CORRIENTES Y DE LAS TENSIONES 61-62
3.4.6 IMPEDANCIA 62
3.4.7 FRECUENCIA 62
3.5 TIEMPO DE INTERRUPCIÓN POR USUARIO TOTAL 62-71

CAPÍTULO 4. TARIFAS ELÉCTRICAS 72-75
4.1 ESTRUCTURA DE LAS TARIFAS 76
4.2 REGIONALIZACIÓN TARIFARIA 76-77
4.3 FUNCIONES DE LAS TARIFAS HORARIAS 77
4.4 CARGOS POR DEMANDA MÁXIMA 78-79
4.5 FACTOR DE CARGA 79-80
4.6 CONTROL DE LA DEMANDA 80-81
4.7 CARGOS POR ENERGÍA CONSUMIDA 81-82
4.8 CARGOS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA 82-83
4.9 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN 83-84
4.9.1 TARIFA 1 SERVICIO DOMÉSTICO 84
4.9.2 TARIFA 1ª 84-85
4.9.3 TARIFA 1B 85
4.9.4 TARIFA 1C 85-86
4.9.5 TARIFA 1D 86
4.9.6 TARIFA 1E 87
4.9.7 TARIFA 1F 87-88
4.9.8 TARIFA DAC 2006 88-89
4.9.9 TARIFA 5 89
4.9.10 TARIFA 5-A 89
4.9.11 TARIFA 6 89

4.9.12 TARIFA 9 89
4.9.13 TARIFA 9M 90
4.9.14 TARIFA 9-N 90
4.9.15 TARIFA 7 90
4.9.16 TARIFA 2 90
4.9.17 TARIFA 3 91
4.9.18 TARIFA OM 91
4.9.19 TARIFA H-M 91
4.9.20 TARIFA H-MC 91
4.9.21 TARIFA H-S (2005-2006) 92
4.9.22 TARIFA H-T (2005-2006) 92
4.9.23 TARIFA H-TL 93
4.9.24 TARIFA HM-RF (2005-2006) 93

CAPÍTULO 5. FALLAS ATRIBUIBLES AL CONSUMIDOR 94-95
5.1 PROBLEMAS DETECTADOS FRECUENTEMENTE EN LA INDUSTRIA 95
5.1.1 REDUCCIÓN SÚBITA EN LA TENSIÓN (SAGS) 95
5.1.2 INCREMENTOS EN LA TENSIÓN (SWELL) 96
5.1.3 LOS TRANSITORIOS 96
5.1.4 LOS DESBALANCEOS 96-97
5.1.5 REGULACIÓN DE TENSIÓN 97
5.2 EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LA INSTALACIÓN DEL USUARIO 98-101
5.2.1 EFECTO DE LAS ARMÓNICAS EN LOS CONDUCTORES 101-102
5.2.2 EFECTO DE LAS ARMÓNCIAS EN UN CONDUCTOR NEUTRO 102
5.2.3 EFECTO DE LAS ARMÓNICAS EN CAPACITORES 102-103
5.3 SISTEMAS INVOLUCRADOS CON LA CALIDAD DE LA ENERGÍA 103
5.3.1 SISTEMA DE TIERRA 103-104
5.3.2 SECCIONAMIENTO DEFICIENTE DE CIRCUITOS 105
5.3.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN 105-106
5.3.4 SISTEMA DE ADECUACIÓN DE LA TENSIÓN 106-109
5.3.5 SISTEMA DE FUERZA 109-114
5.3.6 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN 114
5.3.7 SISTEMAS DE EMERGENCIA 114-119
5.4 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICÍON DEL SISTEMA 119-125

CAPÍTULO 6. NORMAS 126
6.1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2005, INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN) 127
6.1.1 OBJETIVO 127
6.1.2 CAMPO DE APLICACIÓN 127-131
6.2 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-STPS-1999, ELECTRICIDAD ESTÁTICA EN LOS CENTROS DE TRABAJO – CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE 131
6.2.1 OBJETIVO 131
6.2.2 CAMPO DE APLICACIÓN 131
6.2.3 SELECCIÓN DE PARARRAYOS 132

6.2.4 RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRA 132-133
6.2.5 UNIDADES DE VERIFICACIÓN Y LABORATORIOS DE PRUEBA 133-134
6.2.6 VIGILANCIA 134
6.2.7 PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA 134-135
6.2.8 SISTEMA DE PARARRAYOS 135-137
6.2.9 ESTÁNDARES DE PROTECCIÓN 137-138
6.2.10 SISTEMA FRANKLIN 138-140
6.2.11 SISTEMA TIPO JAULA DE FARADAY 140
6.3 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-STPS-1999, CONDICIONES DE ILUMINACIÓN EN LOS CENTROS DE TRABAJO 140
6.3.1 OBJETIVO 140
6.3.2 CAMPO DE APLICACIÓN 141
6.3.3 NIVELES DE ILUMINACIÓN 141
6.4 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-029-STPS-2005, MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO – CONDICIONES DE SEGURIDAD. 142
6.4.1 OBJETIVO 142
6.4.2 CAMPO DE APLICACIÓN 142
6.4.3 ANÁLISIS DE RIESGO POTENCIALES PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS 142-143
6.4.4 CONDICIONES DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS PERMANENTES O PROVISIONALES 143-159
6.4.5 UNIDADES DE VERIFICACIÓN 160
CAPÍTULO 7. EJEMPLO (METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA) 161-206
CONCLUSIONES 207-210
BIBLIOGRAFÍA 211-212

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del hombre ha evolucionado constantemente a través del tiempo por lo cual es necesario crear nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades, hoy en día no podríamos concebir una sociedad sin energía eléctrica, debido a que presenta una gran diversidad de aplicaciones.

La electricidad tomó gran importancia a partir del invento de la lámpara incandescente, la cual se aprovechó en sus inicios para el alumbrado público y progresivamente se le fueron dando más usos, haciendo funcionar motores y telares para incrementar la productividad en los comienzos de la incipiente industria. Con lo que quedó establecida la necesidad de producir cantidades considerables de energía eléctrica y medios prácticos para su distribución.

Paralelamente a los primeros usos que se le daban a la electricidad fueron apareciendo los sistemas eléctricos de potencia (SEP) que es un conjunto de centrales generadoras, de líneas de transmisión interconectadas entre sí y de sistemas de distribución esenciales para el consumo.

Los medios de producción de energía eléctrica se conocen como centrales generadoras, que son las encargadas de generarla.

Las líneas de transmisión, son los elementos encargados de transmitir la energía eléctrica, desde los centros de generación a los centros de consumo, a través de distintas etapas de transformación de tensión; las cuales se interconectan al sistema eléctrico de potencia.

Las subestaciones eléctricas, en función a su diseño son las encargadas de interconectar líneas de transmisión de distintas centrales generadoras, transformar los niveles de tensión para su distribución y consumo.

Actualmente en nuestro país, la industria eléctrica ha tenido mayor auge ya que se tiene que satisfacer la demanda de la población que se encuentra en crecimiento. El flujo eléctrico ha permitido el desarrollo tecnológico, la automatización de los procesos productivos, la aparición de nuevos productos, el incremento del conocimiento y una mayor esperanza de vida de la población, por lo tanto es compromiso de las empresas suministradoras entregar a los usuarios continuidad del servicio así como una buena calidad de la energía y por parte de los consumidores es responsabilidad darle una buena utilización y manejo de ésta.

Los sistemas de distribución eléctrica y los equipos que son alimentados están diseñados para operar dentro de ciertos límites de amplitud y pureza de la tensión, corriente y frecuencia de la energía suministrada. Si el suministrador entrega cualquiera de estos parámetros fuera de los límites especificados se considera que hay una anomalía o deficiencia del suministro siendo suficiente para originar una ineficacia en la operación y fallas en los equipos. De esta manera nos damos cuenta de la importancia de la calidad de la energía requerida por la industria en nuestro país.

Históricamente la calidad de la energía no había sido un problema de necesaria atención a excepción por la continuidad del servicio, pues el suministro para la mayoría de los usuarios era completamente satisfactorio. Sin embargo, con el desarrollo de nuevas tecnologías, los diferentes tipos de cargas tanto industriales, residenciales y comerciales hacen un uso masivo de equipos electrónicos de potencia y de microprocesadores haciendo necesario que el suministro sea de

una calidad intachable debido a que estos equipos son más sensibles a las variaciones de los parámetros antes mencionados y a muchos tipos de disturbios.

El concepto de la calidad de la energía engloba los distintos tipos de disturbios en los sistemas de la energía eléctrica, que se manifiesta en las desviaciones de las condiciones adecuadas de la onda senoidal de tensión, corriente y frecuencia, así como aquellos problemas que se pueden presentar en un sistema eléctrico.

La calidad de la energía es medida en términos de normas aceptables de tensión, corriente y frecuencia para la alimentación en una instalación en particular.

En los edificios, instalaciones comerciales e industriales, la variación en la calidad de la energía eléctrica se deriva de uno o más de los siguientes fenómenos:

- Por parte de la compañía suministradora se presentan una serie de problemas en el suministro tales como: las interrupciones del servicio, los transitorios por maniobras, las caídas y elevaciones de tensión etc., que afectan las cargas que tengan instaladas los usuarios.

- Distorsión armónica de la forma de onda de la tensión y la corriente, debido a un incremento continuo en la aplicación de dispositivos de alta eficiencia, tales como: los controladores de velocidad en motores eléctricos, el uso de capacitores en paralelo para corregir el factor de potencia y para reducir pérdidas.

- Excesivas corrientes de fuga en el sistema de puesta a tierra, las corrientes y la tensión en los sistemas de tierra pueden interferir a los equipos sensibles, por lo que se consideran un problema de calidad de la energía eléctrica.

También son potencialmente peligrosas en el caso de un rompimiento en el sistema de tierra.

- Tensión transitoria, caídas o variaciones frecuentes.

Una mala calidad de la energía eléctrica es responsable de cualquier falla, desde pequeñas interrupciones como luces que parpadean hasta problemas realmente mayores como el paro total de una planta de manufactura o la pérdida de información.

Los equipos electrónicos modernos particularmente sensibles a una mala calidad de la energía eléctrica son las computadoras, controladores de proceso e impulsores de velocidad variable, etc. Equipos más resistentes como cables, paneles de distribución y motores pueden también fallar si los problemas de la calidad de la energía eléctrica se vuelven intensos, por ejemplo, una sobrecarga originada por corrientes armónicas o que un motor se detenga debido a caídas de tensión.

En toda instalación eléctrica es necesario garantizar la seguridad de las personas que hagan uso de ella. Para tal efecto es necesario dotarla de los mecanismos de protección que corresponda. Cuando se trate de instalaciones eléctricas para alimentar muchos aparatos eléctricos, fijos y móviles; con estructuras susceptibles de deterioro desde el punto de vista eléctrico, es fundamental la protección contra las fallas de aislamiento que originan la presencia de la tensión por contacto indirecto.

La tensión por contacto indirecto se origina en las estructuras metálicas de los equipos eléctricos cuando un conductor o terminal energizado, ante la pérdida de su aislamiento establece contacto con la estructura metálica energizando a esta.

Para minimizar los efectos de contacto indirecto en toda instalación eléctrica, se debe contar con un sistema de protección; el método más efectivo y el que presenta la mayor seguridad para las personas es el sistema de puesta a tierra.

Los sistemas de emergencia tienen la función de proporcionar energía; cuando se presenta una falla en el sistema principal de alimentación o bien a equipos que requieren de una calidad adecuada del suministro que no proporciona la red de alimentación principal. La importancia de los sistemas de emergencia es no interrumpir el servicio a las cargas, en función al tipo de actividad que desempeña, es así como las plantas de emergencia son comunes en hospitales, hoteles, teatros, industrias de procesos continuos, cines, etc. Por lo tanto estos equipos se definen como una fuente de reserva independiente de energía eléctrica la cual proporciona continuidad en la operación de los equipos.

El estudio de la calidad de la energía eléctrica, es el primer y más importante paso para identificar y solucionar problemas del sistema eléctrico de potencia. Los problemas eléctricos alteran el comportamiento del equipo y reducen su confiabilidad, disminuyen la productividad y la rentabilidad e incluso puede poner en peligro la seguridad del personal si permanecen sin corregirse.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Es más fácil explicar para qué sirve la energía que tratar de definir su esencia. Tal vez esa sea la causa por la cual la definición más breve y común establece que la energía es todo aquello capaz de producir o realizar algún trabajo, lo cual en última instancia no es sino la expresión de una relación física.

1.1 LA ENERGÍA Y SU IMPORTANCIA EN LA EVOLUCIÓN DE LA HUMANIDAD

Antes del año 1800 el hombre iluminaba sus hogares con fuego, velas, lámparas de aceite vegetal, de ballena o de kerosene. Y usaba como fuerza motriz al hombre por si mismo, los animales, viento, agua y vapor.

La evolución de la humanidad se debe a la utilización de la energía en sus distintas formas. Sin lugar a dudas el descubrimiento del fuego, su producción y control marcan el primer acontecimiento importante en la historia de la sociedad.

Con el transcurso del tiempo cada vez que el hombre encuentra una nueva fuente de energía o crea un procedimiento distinto para aprovecharla, ha experimentado grandes avances. El aprovechamiento de la fuerza de tracción de los animales permitió el desarrollo de la agricultura, fue así como algunos pueblos nómadas se asentaron y establecieron las bases para el surgimiento de las antiguas culturas.

La utilización de la energía del viento mediante la invención de la vela, dio un fuerte impulso a la navegación, al comercio y al intercambio de ideas y conocimientos entre los pueblos de la antigüedad.

El empleo de la energía cinética de las corrientes de agua, gracias a la rueda hidráulica, liberó al hombre de cantidad de tareas que requerían gran esfuerzo físico y dio lugar a la creación de los primeros talleres y fábricas, remotos antecedentes de las modernas plantas industriales.

La invención de la máquina de vapor propició la transición del trabajo artesanal a la producción masiva y dio origen a una verdadera revolución social y económica a fines del siglo XVIII y principios del XIX.

Los inventos de James Watt contribuyeron al desarrollo de la revolución industrial, así mismo los enormes avances de nuestra época han sido posibles fundamentalmente, debido al uso de la energía eléctrica, al aprovechamiento del petróleo y más recientemente al empleo de la energía nuclear.

1.2 CRONOLOGÍA DE LA ELECTRICIDAD

Thales de Mileto cerca del año 600 A.C., fue el primero que conociera el hecho de que el ámbar, al ser frotado adquiere el poder de atracción sobre algunos objetos más livianos. De ahí que el término electricidad provenga del griego elekctron, que significa ámbar.

Así mismo se realizaron estudios y tratados de fenómenos eléctricos y magnéticos por varios científicos, de los cuales destacan:

William Gilbert quien realizó un estudio sobre los imanes para mejorar la exactitud de las brújulas usadas en la navegación, siendo éste trabajo la base principal para la definición de los fundamentos de la Electrostática y Magnetismo; El físico Alemán Otto Von Guericke desarrolló la primera máquina electrostática para producir cargas eléctricas, que consiste de una esfera de azufre torneada,

con una manija a través de la cual, la carga es inducida al posar la mano sobre la esfera; Benjamín Franklin demostró la naturaleza eléctrica de los rayos y desarrolló la teoría de que la electricidad es un fluido que existe en la materia y su flujo se debe al exceso o defecto del mismo en ella e inventó el pararrayos; Charles Agustín de Coulomb inventó la balanza de torsión con la cual, midió con exactitud la fuerza entre las cargas eléctricas y corroboró que dicha fuerza era proporcional al producto de las cargas individuales e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

A inicios del siglo XIX Alesandro Volta construye la primera celda electrostática y la batería capaz de producir corriente eléctrica. Su inspiración surgió del estudio realizado por el físico Italiano Luigi Galvani sobre las corrientes nerviosas-eléctricas en las ancas de ranas.

Mientras tanto el científico Danés Hans Christian Oersted descubre el electromagnetismo, cuando en un experimento para sus estudiantes, la aguja de la brújula colocada accidentalmente cerca de un cable energizado por una pila voltaica, se movió. Este descubrimiento fue crucial en el desarrollo de la Electricidad, ya que puso en evidencia la relación existente entre la electricidad y el magnetismo.

Andre-Marie Ampere establece los principios de la electrodinámica, cuando llega a la conclusión de que la fuerza electromotriz es producto de dos efectos: la tensión eléctrica y la corriente eléctrica. Experimenta con conductores, determinando que estos se atraen si las corrientes fluyen en la misma dirección, y se repelen cuando fluyen en contra.

George Simon Ohm fue quien formuló con exactitud la ley de las corrientes eléctricas, definiendo la relación exacta entre la tensión y la corriente.

Ferdinand Helmholtz demostró que los circuitos eléctricos cumplen con la ley de la conservación de la energía y que la electricidad es una forma de energía. Adicionalmente, James Joule inventó la soldadura eléctrica de arco y demostró que el calor generado por la corriente eléctrica es proporcional al cuadrado de la corriente.

El físico Alemán Gustav Robert Kirchhoff, anunció las leyes que permiten calcular las corrientes y tensiones en redes eléctricas. Conocidas como Leyes de Kirchhoff I y II.

Thomas Alva Edison inventa la primera lámpara incandescente con un filamento de algodón carbonizado. Así mismo instaló el primer sistema eléctrico vendiendo energía para la iluminación incandescente en la estación Pearl Street de la ciudad de New York (E.U.), el sistema fue en corriente continua (CD) tres hilos, 220-110 V con una potencia total de 30 kW.

Es entonces cuando se fundan las compañías eléctricas comerciales de alumbrado con gas, quienes se autonombraban compañías de iluminación, ya que el alumbrado constituía su único servicio, las cuales se vieron envueltas en un problema técnico que aún prevalece en la actualidad, la carga que la compañía tenía que satisfacer se mantenía casi constante en las primeras horas de la noche, y después caía de forma precipitada. Debido a sus funciones cada vez más extensas, las compañías comenzaron a nombrarse compañías de luz y fuerza. Por otro lado el uso de potencia eléctrica motora llegó a ser popular con rapidez y se le dieron muchas aplicaciones.

Nikola Tesla inventor e investigador, desarrolló la teoría de campos rotantes, base de los generadores y motores polifásicos de corriente alterna. A Tesla se le puede

considerar, sin ninguna duda, como el padre del sistema eléctrico que hoy en día disfrutamos.

La compañía Westinghouse experimentó una nueva forma de electricidad, denominada corriente alterna (AC), inspirada en el hecho de que la corriente invierte alternativamente el sentido del flujo en sincronismo con el generador rotatorio, permitiendo muchas ventajas inherentes, una de ellas es la eliminación de los problemas de conmutación propios de los generadores de DC.

1.3 LA INDUSTRIA ELÉCTRICA EN MÉXICO

La electricidad se introdujo en México de una forma masiva en el último tercio del siglo XIX, cuando el país tocaba las puertas de la modernidad. Esta industria, junto con la de minería, comunicaciones y transportes fueron las más beneficiadas de las políticas económicas que el Estado fomentaba con urgencia, pues había que abrir rápidamente las puertas del progreso. Era necesario integrar al país en lo económico, en lo territorial, en lo social y en lo cultural. Una vez logrado este objetivo, explotar intensamente las industrias más productivas como lo era la minería y adecuar entonces, a las condiciones industriales la revolucionaria energía eléctrica.

Algunos de los logros del porfiriato consistieron en: la construcción de varios kilómetros de vías férreas a partir de 1880, lo que abarató el transporte y como consecuencia de ello se logró dar un gran empuje a la industria minera que desde antaño había centrado sus actividades, debido a la ya constante depreciación de los metales, modernizando su explotación con métodos y procesos técnicos. El cobre, el zinc y el plomo, si bien no tenían una gran importancia al comienzo del gobierno de Díaz, al final de su largo periodo ocuparon una tercera parte de la

producción minera, por lo que se construyó una industria de fundición partiendo prácticamente de cero.

Para fomentar esta industria, era necesario hacer rentables la exportación de estos minerales, lo que se logró sustituyendo los viejos métodos de extracción y beneficio, basados todavía en la fuerza animal y humana, así como la fuerza hidráulica y la máquina de vapor que pronto fueron utilizadas paralelamente a la energía eléctrica.

Es así como a finales del porfiriato, la aplicación de la energía eléctrica en los procesos industriales era significativa, ya que su uso abarcó diversas áreas como la minería y la fundición de minerales, con lo que se logró disminuir los costos y aumentar los rendimientos de la producción. La industria textil y otras ramas de las manufacturas, pronto requirieron de este gran invento que también se extendió a los servicios públicos, como el alumbrado de la ciudad y los transportes urbanos entre otros.

En efecto, el progreso invade lentamente al paisaje rural mexicano y la vida cotidiana cuenta con un nuevo elemento “la luz eléctrica”. Otros campos que también se ven beneficiados con la electricidad son: la iluminación, el cine, la fotografía y los tranvías movidos con esta energía. Los inventos de Alva Edison y Lumiere invaden un país urgido de innovaciones.

Durante el medio siglo XIX, la electricidad desempeñó un papel vital en la revolución de las comunicaciones. A la par el motor eléctrico y la inducción electromagnética permitieron que la industria de mediados del siglo XIX, basada en unidades productoras de fuerza motriz relativamente grandes como las máquinas de vapor estacionarias en las fábricas, iniciara un proceso productivo que desembocó en la mecanización de las industrias menores y con ello, la

exigencia de unidades productoras de fuerza mas pequeñas que las movidas por el vapor. Ese fue el caso de México, pues con el desarrollo industrial el grado de tecnificación que se iba logrando se debió al aumento de operaciones mecanizadas que utilizaban más frecuentemente la electricidad.

Los antecedentes de esta transformación del uso de la energía fueron el motor de combustión interna de petróleo y gasolina que revolucionaron los transportes en el siglo XIX.

El motor eléctrico resultó ser un medio más flexible para satisfacer la necesidad de disponer de unidades de fuerza más pequeñas para la industria. Con el éxito que empezó a tener y ante las necesidades del desarrollo industrial se pudo valorar que las unidades de energía dependían de que se contara con una amplia red de abastecimiento eléctrico. En realidad, esta demanda de electricidad iba a la par de los servicios domésticos como el de gas y agua, posteriormente de redes telegráficas y telefónicas hasta que con Thomas Alva Edison, con un nuevo servicio daría un giro definitivo a estos: el de la luz eléctrica.

Una vez que la electricidad pudo ser utilizada como fuerza motriz, se puso a disposición de la industria y los transportes un nuevo medio universal y barato de distribución de energía, pero fue hasta el siglo XX cuando se desarrolló a plenitud. "Sobre esta base se creo la industria eléctrica pesada que, en contraste con las otras industrias mas antiguas, tuvo un carácter monopolista y científico desde su comienzo".

Un rápido repaso al medio más ilustrativo para conocer cómo se va adaptando este revolucionario invento a los cambios tecnológicos en el país, son las patentes de invención.

Entre las que encontramos en archivos mexicanos, podemos decir que en la década de los ochenta del siglo antepasado, aumentaron rápidamente debido a que la inversión extranjera exigía leyes favorables para protegerse, lo que en el acto les fue concedido por un gobierno mexicano urgido de capitales foráneos.

Existen dos grandes etapas en la electrificación en México: la primera abarca desde su introducción en el país, con los más variados experimentos y la segunda se produce a partir de 1905, cuando las grandes compañías extranjeras se interesan por invertir en este sector de la industria.

En la primera fase, se dan a conocer los beneficios de la electricidad con la utilización de aparatos como el telégrafo electromagnético, que en 1851 funcionaba con una corriente eléctrica de baja intensidad. En la década siguiente, el ayuntamiento de la ciudad de México propuso que se concediera un privilegio por diez años a Samuel B. Knight para alumbrar una parte de la ciudad, lo que podemos considerar como uno de los primeros intentos por iluminarla, ya que fue hasta 1872 cuando el presidente en turno Lerdo de Tejada inauguró el alumbrado en la Alameda.

En 1881 con la utilización de 40 luces del sistema de Brush se iluminaron las calles de la capital. Pero su aceptación propició que fuera utilizado en casas, negocios y algunas iglesias, de tal modo que en 1888 además del uso doméstico de la electricidad, ésta se pudo emplear para echar a andar las bombas que surtían de agua. En realidad, en el siglo XIX, la principal utilidad de la electricidad estuvo en el campo de la minería y de la industria (textil y papelera). En el caso de Real de Catorce y San Luís Potosí, fue utilizada para alumbrar y mover turbinas ó cualquier otra máquina que lo requiriera. En Real del Monte, además se aprovechó el valioso recurso natural que ofrecía la cascada de Regla, para fines similares.

El ahorro de energía que propiciaba la utilización de la electricidad era principalmente para disminuir los costos de labores y de personal, algo que no era novedoso para los empresarios mineros, pues previamente, con la introducción de la máquina de vapor, se intentó desplazar el trabajo humano y animal por medio de máquinas para desaguar minas, trituradoras de piedra, moledoras, etc.

La industria textil como se mencionó, fue partícipe de esta utilización de electricidad, pues no sólo la requirió para maquinaria e iluminación, sino que además la que no era consumida, se vendía a poblados cercanos a las empresas.

Este negocio, que en un principio se planteaba bastante provechoso fracasó, pues las compañías no veían redituable vender energía eléctrica a poblados pequeños, debido básicamente a que se requería estar invirtiendo constantemente en maquinaria más poderosa para poder distribuir el fluido eléctrico en una forma satisfactoria, algo a lo que definitivamente no estaban dispuestas, cuando menos por el momento.

A partir de la década de los noventa del siglo XIX, toda empresa o industria que quisiera ser competente en su área debía adquirir generadores cada vez más potentes, pero paradójicamente y contrario a lo que se puede creer, la energía del vapor seguía vigente, así como la energía hidráulica, que seguía moviendo maquinaria, naturalmente cada vez en menor porcentaje pues en los dos últimos años del siglo XIX la electricidad constituía el 84 %, del total de la energía utilizada en México. Lo que demuestra cómo los industriales en este país pretendían dejar atrás las viejas técnicas.

En un principio la introducción y mejoramiento de la electricidad lo llevaron a cabo compañías extranjeras como Siemens y Halske, quienes estuvieron a cargo del

alumbrado de la ciudad de México en 1885, además de haber construido una planta para producir electricidad en Portezuelo, Puebla.

Posteriormente, hubo otras empresas formadas con capital México-norteamericano, como la Mexicana de Gas y Luz Eléctrica que competía con la Compañía Mexicana Generadora de Fuerzas Hidroeléctricas de San Ildefonso (también con capital de dos naciones) por tener la mayor cobertura nacional para la aplicación de dicha energía.

Sin embargo la compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica se hace cargo del alumbrado público residencial en la capital de la República Mexicana, marcando con ello el principio del alumbrado eléctrico en el país.

En los inicios del año 1885 un periódico popular de la época hablaba de la iluminación de la capital del pueblo mexicano, este describía como quedaría la iluminación de la ciudad mencionando por primera vez la colocación de 50 focos de luz eléctrica, y es entonces cuando se comenzó a divulgar la utilización de la energía eléctrica en el país.

En 1879 una fábrica textil instaló la primera planta termoeléctrica, contaba con el servicio mixto. Con el tiempo este modelo de servicio eléctrico es el que se ha adoptado y así, las plantas hidroeléctricas, termoeléctricas, carboeléctricas y nucleoeléctricas, con sus correspondientes interconexiones llevan a todos los rincones los beneficios, lo mismo en forma de alumbrado que de energía para hacer más grata la vida de un gran número de usuarios, haciendo funcionar toda una extensa gama de aparatos de carácter doméstico o de servicio público urbano capaz de mantener en movimiento la actividad industrial en el país que cada día, por razones de su propio crecimiento demográfico y económico, plantea mayores

demandas de fluido al organismo encargado de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica.

Al extenderse el uso de la electricidad, surgieron diversas compañías en algunos estados de la República como la Hidroeléctrica Queretana que aprovechaba la fuerza del agua para convertirla en electricidad, de tal forma que de 1887 a 1911 llegaron a coexistir más de cien compañías de luz y fuerza motriz establecidas en el país.

La Mexican Light & Power Co., adquirió en 1895 una concesión de los recursos hidráulicos del río Necaxa para generar electricidad que distribuía a varios puntos de la república como Puebla, Hidalgo, México y Michoacán, dando lugar al primer sistema regional interconectado del país, seguido luego por la Compañía Eléctrica de Chapala y la Compañía Eléctrica de Morelia.

Esta compañía tuvo tanto éxito que para 1902 llegó a poseer un capital de 12 millones de dólares, lo que le permitió adquirir compañías mexicanas como la Gas y Luz Eléctricas Mexicana de Electricidad, Luz y Fuerza de Pachuca y por último Limitada de Tranvías, con las que formó la Mexican Transways Co. Luego se llamaría Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz, con ingresos provenientes de minas, servicios municipales y transporte, como los tranvías.

1.4 CRONOLOGÍA HISTÓRICA DE COMPAÑÍA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO

- 1889 La compañía canadiense The Mexican Light & Power Company, Ltd, inicia los trabajos para la prestación del servicio de energía eléctrica en el Valle de México.

- 1903 Se concesiona a The Mexican Light & Power Company, Ltd, la explotación de las caídas de las aguas de los ríos de Tenango, Necaxa y Xaltepuxtla.

- 1905 The Mexican Light & Power Company, Ltd controla a las empresas: Cía. Mexicana de Electricidad, Cía. Mexicana de Gas y Luz Eléctrica y Cía. Explotadora de las Fuerzas Eléctricas de San Idelfonso, que operaban en su zona de influencia. De manera paralela, construía su planta de Necaxa con seis unidades y una capacidad instalada de 31,500 kW. Así con la absorción de las antiguas empresas dedicadas a atender las necesidades de la capital de la República, The Mexican Light & Power Company, Ltd, se alzaba en el Valle de México como una entidad hegemónica de capital extranjero. El 6 de diciembre se transmite por primera ocasión y hasta la fecha, el fluido eléctrico de Necaxa a la Ciudad de México.

- 1906 The Mexican Light & Power Company, Ltd. Obtiene nuevas concesiones del gobierno federal y de las autoridades de los estados de Puebla, Hidalgo, México y Michoacán

- 1933 El 2 de diciembre, El Presidente Constitucional Substituto, General Abelardo L. Rodríguez, envía al Congreso de la Unión, la iniciativa para la creación de la Comisión Federal de Electricidad, el día 29 del mismo mes y año, el Congreso de la Unión aprueba el proyecto de Decreto.

En los años treinta el crecimiento demográfico de la nación se aceleró. Ya éramos veinte millones los pobladores en este país. Crecía la población y con ella las demandas de servicios, entre otros el de energía eléctrica, obligando a la Mexican Light and Power Co. a elevar la capacidad de la

planta de Necaxa y a modernizar las de Nonoalco y Tepéxic. En esos años adquirió la planta hidroeléctrica del Río Alameda, la Compañía de Luz y Fuerza de Toluca, la de Temascaltepec y la de Cuernavaca.

- 1934 El día 20 de enero, se publica en el Diario Oficial el Decreto para la Creación de la Comisión Federal de Electricidad.

- 1937 El Gral. Lázaro Cárdenas del Río, en su calidad de Presidente de la República, con base en el Decreto del 29 de diciembre de 1933 promulga la Ley para la creación de la Comisión Federal de Electricidad, que había sido pospuesta por diversas circunstancias económicas y políticas.

- 1940-1941 Se inicia el proceso de nacionalización de la industria eléctrica, de acuerdo con la histórica Ley de 1937.

- 1949 El Presidente de la República, Lic. Miguel Alemán, expide el Decreto que hizo de la Comisión Federal de Electricidad un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio.

- 1960 Se inicia la nacionalización de la industria eléctrica con la compra de las empresas que tenían a su cargo el suministro de la energía eléctrica. El gobierno adquirió en 52 millones de dólares, el 90% de las acciones de The Mexican Light and Power Co., y se comprometió a saldar los pasivos de esa empresa que ascendían a 78 millones de dólares. Por la suma de 70 millones de dólares obtuvo las acciones de la American and Foreign Power Co.. Posteriormente cerró la operación comprometiendo a ambas empresas a invertir en México el dinero que recibieran para evitar una excesiva exportación de divisas.

Con la compra de la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz (denominación que adquirió The Mexican Light and Power Co.) y sus filiales, la nación adquirió 19 plantas generadoras que servían al Distrito Federal y a los estados de Puebla, México, Michoacán, Morelos e Hidalgo; 16 plantas hidráulicas y 3 térmicas , cuya capacidad instalada ascendía a 667,400 kW; 137 km de línea de transmisión de doble circuito trifásico en el sistema de 220 kW; 700 Km. Aproximadamente de líneas de transmisión y distribución de circuitos trifásicos en sistemas de 20 kV; dos subestaciones transformadoras de Cerro Gordo, México y El Salto Puebla, conectadas a la línea de 229 kV y con capacidad, en conjunto, de 400,000 kVA; 38 subestaciones receptoras conectadas a la red de transmisión de 85 y 60 kV, con capacidad de transformación de 1’000,000 kVA; gran número de bancos de transformadores conectados a las redes de 44 y 20 kV en diversos puntos del sistema, con una capacidad de 230,000 kVA; 4,500 km de líneas primarias de distribución de 6 kV (circuitos trifásicos); 11,000 transformadores de distribución con capacidad de 670,000 kVA; y 6,800 km de líneas de baja tensión.

Plantas hidroeléctricas: Necaxa 115,000 kW; Patla 45,600 kW; Tezcapa 5,367 kW; Lerma 79,945 kW; Villada 1,280 kW; Fernández leal 1,280 kW; Tlilán 680 kW; Juandó 3,600 kW; Cañada 1,215 kW; Alameda 8,800 kW; las Fuentes 264 kW; Temascaltepec 2,336 kW, Zictepec 384 kW; Zepayautla 664 kW y San Simón 1,770 kW. Plantas termoeléctricas: Nonoalco 92,500 kW; Tacubaya 30,900 kW; y Lechería 230,800 kW. Además de los bienes citados la nación recibió el edificio situado en la esquina de Melchor Ocampo y Marina Nacional de la Ciudad de México y todos los demás inmuebles y muebles de las estaciones y plantas termoeléctricas e hidroeléctricas, así como equipos y materiales de oficina.

Ese año el entonces Presidente Adolfo López Mateos envió al senado el proyecto de reforma al Artículo 27 constitucional, el cual fue aprobado y publicado en el

Diario Oficial el 23 de diciembre de 1960, quedando a partir de ese momento, consumada jurídica y financieramente la nacionalización de la industria eléctrica.

Decreto: "Artículo Unico.- Se adiciona al párrafo sexto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos el siguiente":

"Corresponde exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines".

- 1963 Se cambia la denominación social del organismo al de Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.

- 1974 Se autoriza a la compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A., a realizar los actos necesarios y procedentes para su disolución y liquidación.

- 1989 Se reforma la Ley del Servicio Público de Energía, previéndose que el Ejecutivo Federal disponga la constitución, estructura y funcionamiento del servicio que venía proporcionando la Compañía de Luz y Fuerza del Centro en liquidación.

- 1993 Las demandas de la creciente población y el medio rural, fueron determinando la necesidad de que el estado interviniera para dictar las medidas administrativas a fin de que se creara un organismo que proporcionara los servicios de energía eléctrica dando un sentido social y más moderno a la electrificación.

- 1994 El 9 de febrero se crea por decreto presidencial el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

1.5 CREACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Otra compañía, de menor importancia fue la Weren Beit & Co., que contó con capital inglés, pero sólo le interesaba involucrarse en la electrificación del transporte, como los tranvías lo cual llevó a cabo desde 1905.

Pero la aplicación de la energía eléctrica planteaba otros problemas, por una parte dependía de cómo se obtuviera ésta, no era lo mismo construir presas que aprovechar las caídas de agua. En efecto los cambios tecnológicos exigían una infraestructura adecuada a la evolución de la industria eléctrica. A causa de la electrificación del país, numerosos ingenieros colaboraron para la construcción de una central Hidroeléctrica en 1905 con capacidad de 8,000 W.

En 1923 con el presidente Obregón, se promovió que el Gobierno tuviera el control de la industria eléctrica, lo que se logró tres años después cuando en el Código Nacional Eléctrico quedó instaurado que la energía eléctrica fuera para el beneficio público.

Finalmente el Estado tuvo el control de la industria eléctrica hasta 1937, cuando se creo la Comisión Federal de Electricidad, después de medio siglo de que las empresas extranjeras se habían beneficiado de las concesiones otorgadas al respecto. Sin duda era una época en la que los proyectos nacionalistas iban encaminados a crear una Industria, cuya gran meta era lograr la autosuficiencia para no depender más de la tecnología extranjera.

En 1910 México poseía una de las mejores tecnologías en el campo de la electricidad en América Latina, pues compañías Inglesas, Alemanas, Norteamericanas y Mexicanas hacían del país un verdadero laboratorio, al poner a prueba diversos sistemas, métodos de trabajo y maquinaria.

Para 1923 se duplicó la producción económica del país, gracias a la utilización de maquinaria que se movía en base de la energía eléctrica, lo que condujo a la desaparición casi total de los telares manuales y de las pequeñas empresas que carecían de capital para adquirir maquinaria adaptada a los nuevos sistemas de energía, esto se vio reflejado en toda empresa manufacturera.

Entre los años de 1928 y 1929 inició sus actividades en México la American and Foreign Power Co. que adquirió varias empresas electrificadoras, para fusionarlas en una sola que se llamaría Compañía Impulsora de Empresas Eléctricas.

Cuando se empezó a regular el servicio de la electricidad en México, se comenzó también a hacer pequeñas obras en estados como: Guerrero, Michoacán, Chiapas, Oaxaca y Sonora. Para 1937 se le empezó a dar un respaldo financiero a la Comisión Federal de Electricidad, se pretendía que este fuera un servicio para todos pues en 1952 se comenzó a electrificar zonas rurales. De hecho, en 1959 fue la que más produjo energía.

1.6 INDUSTRIA ACTUAL

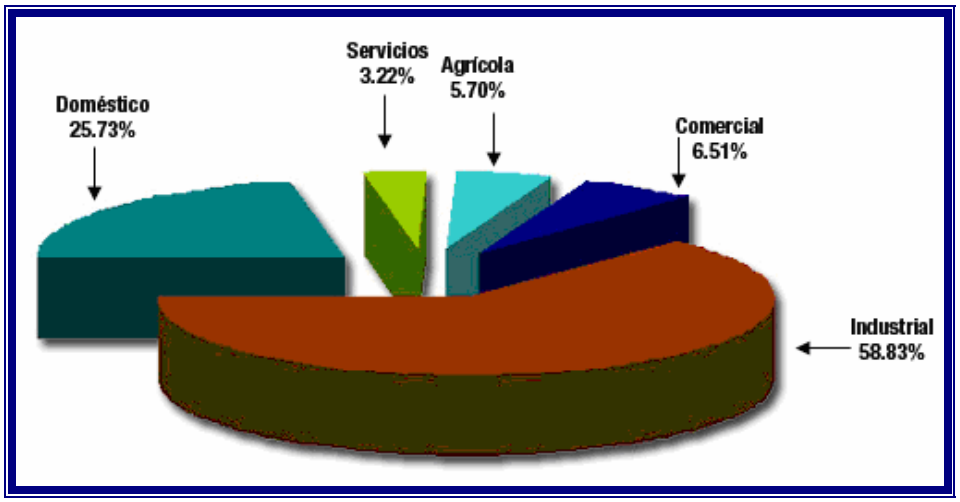
Más de cien años testimonian el desarrollo de la industria eléctrica en México. Los restos de las viejas construcciones hidroeléctricas, así como la maquinaria utilizada, son clara muestra de los avances por los que ha pasado esta importante industria mexicana comparándola con la tecnología ahora empleada como son las plantas nucleoeléctricas, la cogeneración así como la generación alternativa. Los

últimos años han presenciado cómo ésta vuelve a ser objeto de acalorados debates en los organismos gubernamentales que ponen en el centro de la discusión su privatización o no. Por tal motivo el patrimonio industrial mexicano vuelve a ser también objeto de atención, ya que mientras no exista una ley que lo proteja, la reutilización de estas construcciones puede significar simplemente enterrar su valor histórico en áreas de un interés utilitario, en el mejor de los casos.

En México la generación llega a 45,575.92 Megawatts de los cuales el 58.83% lo utiliza la industria y entre las más importantes están:

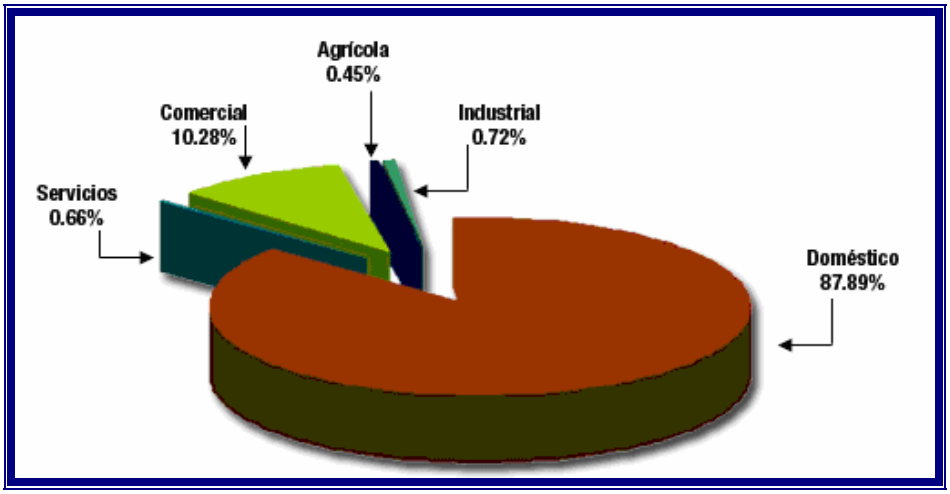
- Uso domestico 25.73%
- Comercial 6.51%
- Agrícola 5.70%
- Servicios 3.22%

VENTAS DIRECTAS AL CLIENTE POR SECTOR (%)



En México la generación llega a 45,575.92 Megawatts de los cuales el 58.83% lo utiliza la industria.

CLIENTES POR SECTOR (%)



Comisión Federal de Electricidad proporciona servicio de energía eléctrica a 23.2 millones de clientes, los cuales han tenido una tasa de crecimiento medio anual de casi 4.4%, durante los últimos seis años.

CAPÍTULO 2. PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Día a día tanto para consumidores industriales, comerciales, residenciales como para las compañías suministradoras de energía, el concepto de "Calidad de la Energía Eléctrica" adquiere más relevancia. Este concepto incluye todo lo relacionado con una gran variedad de disturbios, que se generan en los sistemas eléctricos y que causan desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia resultando en fallas de los sistemas o en operaciones erráticas de los equipos.

Los equipos de hoy en día son más sensibles a las variaciones de la energía eléctrica que los utilizados en años anteriores. Muchos dispositivos contienen control basado en microprocesadores e instrumentos electrónicos que son sensibles a los disturbios eléctricos.

La tarea constante de disminuir costos en el uso de la energía eléctrica, ha llevado a la implementación de equipos de alta eficiencia como son: variadores de velocidad en motores, bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia y el uso extensivo de equipos de cómputo para optimizar procesos. Como resultado adverso al ahorro de energía eléctrica, se tienen incrementos significativos en los niveles de armónicas en las redes eléctricas, dado que el problema no solo afecta a usuarios sino también a las compañías suministradoras (CFE, Luz y Fuerza del Centro), éstas se preparan para medir los niveles de armónicas producidas por usuarios en un futuro cercano.

La industria busca constantemente adquirir maquinaria más rápida, más productiva y más eficiente. Las compañías suministradoras de energía eléctrica alientan este esfuerzo porque la maquinaria más eficiente reduce la demanda de energía eléctrica, lo cual ayuda a postergar grandes inversiones en subestaciones y centrales de generación. Irónicamente los equipos instalados para aumentar la productividad, son también los equipos con más disturbios

presentes en la red y algunas veces también éstos son los generadores de los problemas de Calidad de la Energía Eléctrica. Las costosas inversiones que hace la industria deben protegerse y es precisamente aquí donde se requieren soluciones a problemas de Calidad de la Energía Eléctrica.

Los modelos existentes para los sistemas eléctricos, especifican el estado normal de tolerancia de tensión de utilización, en donde en el punto de servicio estos están entre un ± 5 % [1] para cargas que no sean alumbrado. El estándar también especifica la tolerancia hasta el punto de uso final o alimentación al equipo.

2.1 RESISTENCIA ELÉCTRICA

Se denomina resistencia eléctrica R, a la oposición que encuentra la corriente eléctrica para recorrerla. Su valor viene dado en ohm, se designa con la letra griega omega mayúscula (Ω) y se mide con el Óhmetro.

Una resistencia ideal es un elemento pasivo que disipa energía en forma de calor según la Ley de Joule. También establece una relación de proporcionalidad entre la intensidad de corriente que la atraviesa y la tensión medible entre sus extremos, relación conocida como Ley de Ohm.

$$v(t) = R \times i(t)$$

Donde i(t) es la corriente eléctrica que atraviesa la resistencia de valor R y v(t) es la diferencia de potencial que se originan. En general, una resistencia real podrá tener diferentes comportamientos en función del tipo de corriente que circule por ella.

2.2 POTENCIA Y ENERGÍA

La potencia es la cantidad de trabajo que se puede realizar en un determinado momento y la unidad utilizada es el Watt. La energía es la potencia a lo largo del tiempo y se mide en Watt-Hora.

2.2.1 Potencia Aparente

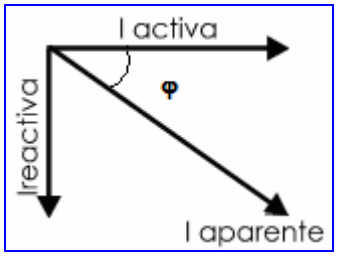
La mayoría de los dispositivos que se conectan a la red eléctrica, se pueden analizar como un caso intermedio entre autoinducción y resistencia. Si existen elementos basados en el electromagnetismo (transformadores, motores, etc.) la corriente no se encontraría en fase con la tensión, pero si además una parte de la energía eléctrica se transforma en forma de calor o produciendo trabajo mecánico, el defase será menor de 90°. Con un ampérmetro y un vóltmetro se puede calcular la potencia aparente “S”.

$$S = V \times I \text{ (VA)}$$

2.2.2 Potencia Real o Activa y Potencia Reactiva

En todas las instalaciones eléctricas se emplean los dos tipos de energía, el efecto combinado de ambas se conoce como potencia aparente, siendo esta la que se suministra, maneja y controla en las redes eléctricas.

Si se conoce el ángulo de fase φ, entre la tensión y la corriente, ésta última podrá descomponerse vectorialmente en dos, una en fase con la tensión como sucede en las resistencia puras y que reciben el nombre de corriente activa:



$$I\ activa = I\ Cos\varphi \qquad [A]$$

Y otra retrasada 90° como en las inducciones puras, la corriente reactiva o magnetizante:

$$I\ reactiva = I\ Sen\varphi \qquad [A]$$

Lo que permite conocer la potencia activa, real o efectiva P, que corresponde a la energía eléctrica consumida por unidad de tiempo:

$$P = V\ x\ I\ x\ Cos\varphi \qquad [W]$$

Y la potencia reactiva o magnetizante Q, que representa la energía utilizada para crear un campo magnético y devuelta a la red:

$$Q = V\ x\ I\ x\ Sen\varphi \qquad [VAR]$$

Si el consumo es trifásico, la tensión [V] se medirá entre dos fases. Si la carga esta equilibrada o balanceada, la corriente [I] se mide en una, cualquiera de ellas. Es fácil deducir que en tal caso resulta:

Potencia Aparente:

$$S=\sqrt{3}VI \qquad [VA]$$

Potencia Activa:

$$P=\sqrt{3}VICos\varphi \qquad [W]$$

Potencia Reactiva:

$$Q=\sqrt{3}VISen\varphi \qquad [VAR]$$

2.3 PARÁMETROS DE LA ONDA SENOIDAL

2.3.1 Tensión

Es lo que impulsa a la corriente a lo largo de un circuito y se le denomina como fuerza electromotriz (fem) su unidad es el volt, normalmente se utiliza el término de tensión y no fem.

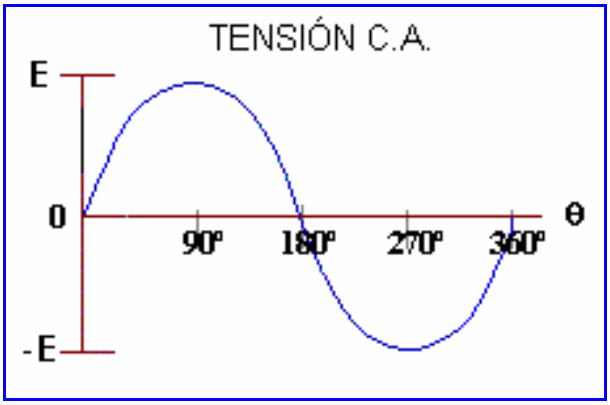


Figura 1. Onda Senoidal

Donde:

E = Valor instantáneo de tensión en volts

E_m = Valor máximo de tensión en volts.

θ = Ángulo de rotación en grados.

2.3.2 Tensión Nominal (Tn)

Valor nominal asignado a un circuito o sistema con el fin de diseñar correctamente su clase de tensión (ej. 208/120, 480/277). Es el valor eficaz de la tensión eléctrica, en sus diferentes niveles de tensión, que sirve como base

para calcular las desviaciones de los parámetros eléctricos que se controlarán para medir la calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, que prestan los Distribuidores.

2.3.3 Corriente

Es el flujo o movimiento de electrones a través de un conductor. La forma de onda de corriente se llama onda senoidal. El valor instantáneo de la corriente en cualquier punto de la onda senoidal se expresa por la ecuación:

$$I = I_m \operatorname{sen}\theta$$

Donde:

I = Valor instantáneo de corriente.

I_m = Valor máximo de corriente.

θ = Ángulo de rotación en grados.

2.3.4 Frecuencia

Es el número de ciclos por segundo, se representa con la letra f y se expresa en Hertz (Hz). La frecuencia es la inversa del periodo.

$$f = \frac{1}{T}$$

2.3.5 Periodo

El período es el tiempo que transcurre la onda cuando completa un ciclo, se expresa en segundos (s). El ángulo de 360 grados representa el tiempo de un ciclo, o sea, el periodo T. Por lo tanto se puede indicar en el eje horizontal de la onda senoidal grados eléctricos o de segundos. $T = \frac{1}{f}$

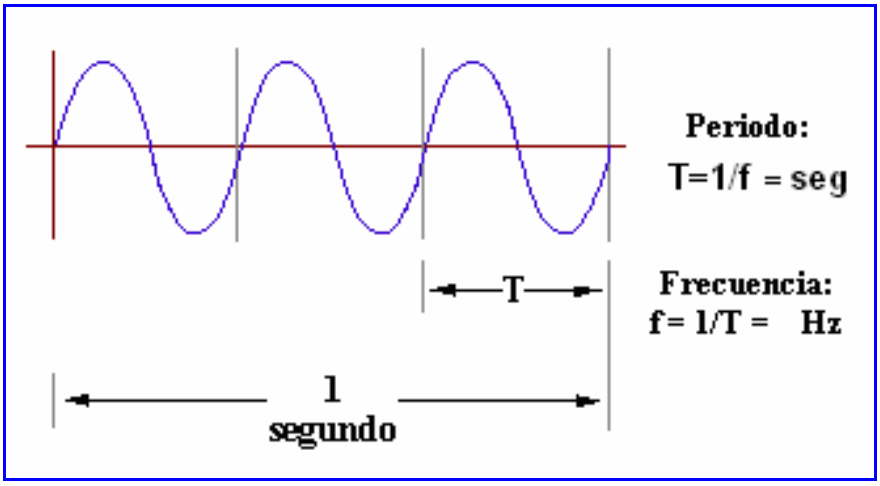


Figura 2. Periodo de una onda

2.3.6 Relación de Ángulo

Si se tienen dos formas de onda con la misma frecuencia, el ángulo de fase entre éstas es la diferencia angular en cualquier instante.

Por ejemplo, el ángulo de fase entre las ondas (A) y (B) (ver Figura 3) es 90 grados. La onda B comienza con valor máximo y se reduce a cero a 90 grados, mientras que la onda (A) comienza en cero y aumenta al valor máximo a 90 grados. La onda (B) alcanza su valor máximo 90 grados antes que la onda (A), así que la onda (B) se adelanta a la onda (A) por 90 grados. El ángulo de fase de 90 grados entre las ondas (B) y (A) se conserva durante todo el ciclo y todos los ciclos siguientes. En cualquier instante, la onda (B) tiene el valor que tendrá la onda A 90 grados más tarde.

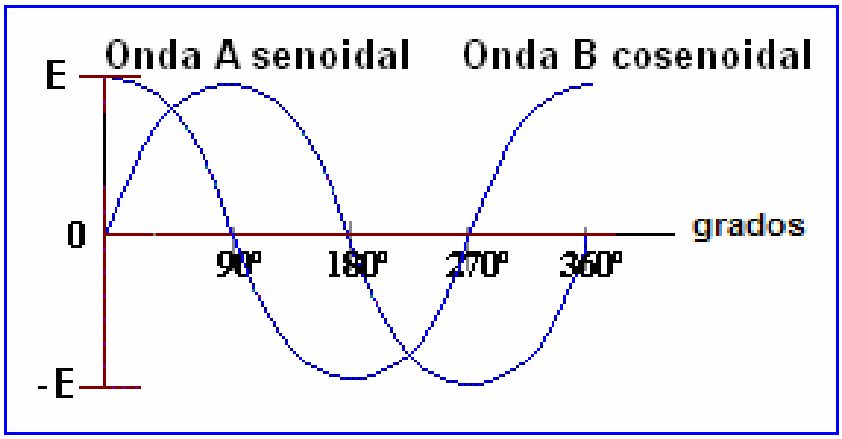


Figura 3. Relación entre grados eléctricos y el tiempo

La onda de tensión ó de corriente alterna puede presentar muchos valores instantáneos a lo largo del ciclo, por lo que es necesario especificar las magnitudes para poder compararla con otra. Se pueden especificar los valores pico, promedio o raíz media cuadrática (rmc). Estos valores se aplican a la tensión o corriente.

Tabla de equivalencias

Multiplicar el valor	**Por**	**Para obtener el valor**
Pico	2.000	Pico a pico
Pico a pico	0.500	Pico
Pico	0.637	Promedio
Promedio	1.570	Pico
Pico	0.707	Efectivo rmc
Efectivo rmc	1.414	Pico
Promedio	1.110	Efectivo rmc
Efectivo rmc	0.901	Promedio

2.3.7 Valor Medio

Se llama valor medio de una tensión o corriente alterna a la media aritmética de todos los valores instantáneos de tensión o corriente, medidos en un cierto intervalo de tiempo.

En una corriente alterna sinusoidal el valor medio durante un período es nulo, los valores positivos se compensan con los negativos. $E_m = 0$

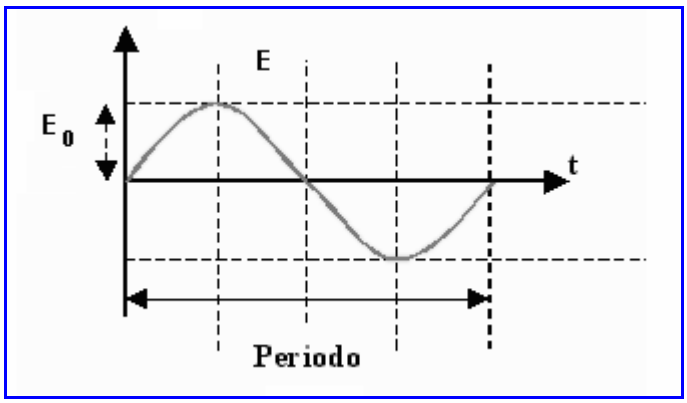


Figura 4. Valor medio

En cambio durante medio periodo, el valor medio es $Em = \frac{2Eo}{\pi}$ siendo E_0 el valor máximo.

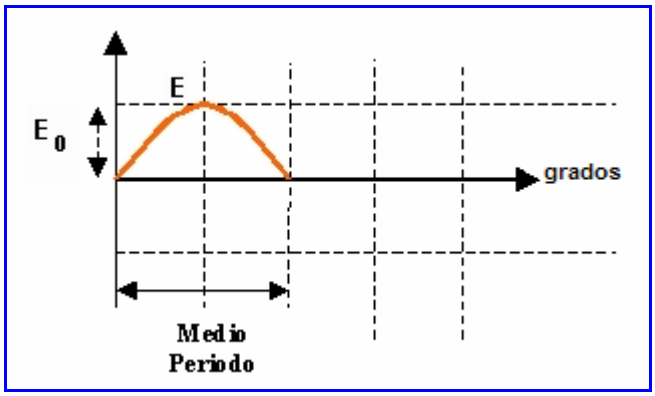


Figura 5. Valor medio durante 180º

2.3.8 Valor Eficaz

La mayoría de los instrumentos de medición que se utilizan no pueden registrar un valor específico instantáneo, como es el máximo, sino un valor llamado eficaz. Su magnitud se deduce considerando la potencia de corriente alterna y comparándola con la de la corriente continua.

Para una señal senoidal, el valor eficaz de la tensión es: $E_{ef} = \frac{Eo}{\sqrt{2}}$ y del mismo modo para la corriente $I_{ef} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$.

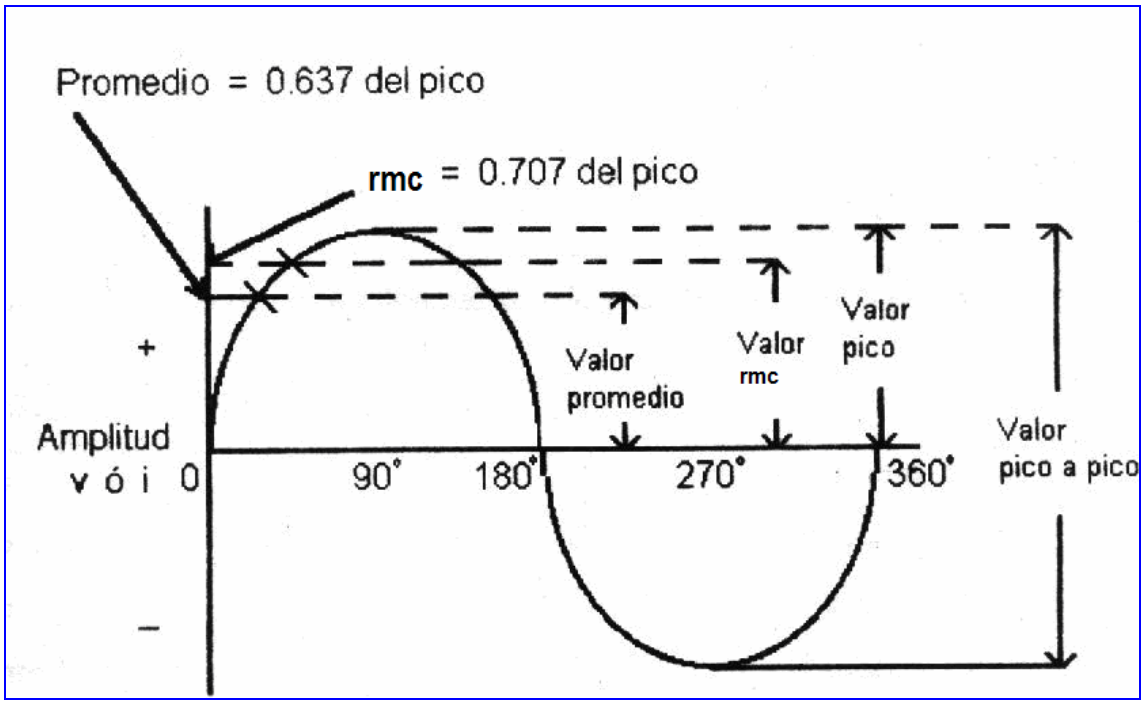


Figura 6. Valores de la amplitud de una onda de CA senoidal

Existen diferentes disturbios en la calidad de la energía que pueden ser analizados y corregidos, siguiendo los criterios de los estándares internacionales y nacionales.

Uno de los aspectos más importantes de la Calidad de la Energía consiste en disponer de una alimentación de energía “limpia”, que describe un sistema

donde la forma de onda de tensión y corriente son senoidales puras. Una distorsión de la forma de onda, se presenta como una desviación instantánea respecto a la forma de onda de dicha senoide ideal.

2.4 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia es una medida de la efectividad en el uso del sistema de potencia. Cuando este valor es bajo ello significa que se está suministrando potencia que no se emplea para operar las cargas.

Cuando las cargas generan corrientes de alta frecuencia, suele suceder que un factor de potencia normal de 0,88 cae a 0,70 cuando se energizan dichos equipos. Este fenómeno se denomina Distorsión del Factor de Potencia.

2.5 ALTERACIONES DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Los disturbios son variaciones generalmente temporales en la tensión del sistema, que pueden causar mala operación o fallas del equipo. La variación de frecuencia puede ocasionalmente ser un factor en los disturbios del sistema, especialmente cuando una carga es alimentada por un generador de emergencia u ocurre un desequilibrio entre la carga de la planta industrial y la generación debido a la pérdida del suministro eléctrico.

Sin embargo cuando el sistema eléctrico del usuario está interconectado a una red de potencia relativamente fuerte, la variación de frecuencia resulta a veces de preocupación insignificante. Los tipos de disturbios que pueden ocurrir en un sistema de utilización son los siguientes:

2.5.1 Disturbios por Sobretensiones Transitorias

El término Transitorio es ampliamente utilizado en el análisis de las variaciones en los sistemas de potencia para denotar un evento que aparece momentáneamente. Estas se presentan en forma de impulsos de tensión u oscilatorios de corta duración, superpuestos en la señal de alimentación y frecuentemente intermitentes, con una duración menor a dos milisegundos.

2.5.2 Impulso

Es un cambio repentino en la condición de estado instantáneo de tensión o corriente que es unidireccional en polaridad (positiva o negativa).

Tabla 1. Clasificación de los impulsos [2]

Transitorios			
CATEGORÍA		**CONTENIDO TÍPICO ESPECTRAL**	**DURACIÓN TÍPICA**
Impulsos	Nanosegundos	5 ns de elevación	< 50 ns
	Microsegundos	1 μs de elevación	50 ns - 1 ms
	Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1ms

2.5.3 Oscilatorios

Son transitorios cuyo valor instantáneo de tensión cambia rápidamente de polaridad.

Tabla 2. Clasificación de los transitorios oscilatorios [2]

Transitorios				
CATEGORÍA		**CONTENIDO TÍPICO ESPECTRAL**	**DURACIÓN TÍPICA**	**MAGNITUD TÍPICA DEL TENSIÓN**
Oscilatorios	Baja Frecuencia	< 5kHz	0.3 - 50 ms	0 -4 pu
	Frecuencia Media	5 -500 kHz	20 µs	0 - 8 pu
	Alta Frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 µs	0 - 4 pu

2.6 VARIACIONES EN LA TENSIÓN

Existen eventos de elevación o disminución de tensión en regiones cercanas a zonas industriales que ocasionan cambios repentinos de carga en la línea de energía derivados del encendido de motores o maquinaria.

2.6.1 Caída de tensión (Sag)

Es una reducción súbita (entre 10 y 90 %) de la tensión nominal o corriente RMC a la frecuencia de la red, en un punto del sistema y que dura desde 0.5 ciclos hasta varios. Se clasifican en instantáneas, momentáneas o temporales. Cuando no se especifica otra cosa, una Baja-tensión de 20% debe considerarse como un evento durante el cual la tensión RMC decrece en un 20%, llegando a 0.8 del valor nominal.

Tabla 3. Clasificación de los Sags [2]

Variaciones en la tensión			
CATEGORÍA		**DURACIÓN TÍPICA**	**MAGNITUD TÍPICA DE LA TENSIÓN**
Sags	Instantáneas	0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu.
	Momentáneas	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu.
	Temporal	3 s - 60 s	0.1 - 0.9 pu.

2.6.2 Elevaciones de la tensión (Swell)

Son incrementos en la tensión (entre el 10 y el 80%) o en la corriente RMC a la frecuencia de la red, que generalmente acompañan a las caídas de tensión breves (sags). Aparecen en las fases no falladas de un circuito trifásico que ha presentado un corto circuito monofásico, también aparecen cuando los sistemas rechazan carga. Se clasifican en instantáneas, momentáneas y temporales.

Tabla 4. Clasificación de los Swell [2]

Variaciones en la tensión			
CATEGORÍA		**DURACIÓN TÍPICA**	**MAGNITUD TIPICA DE LA TENSIÓN**
Swell	Instantáneas	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu.
	Momentáneas	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu.
	Temporal	3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu.

2.6.3 Interrupción

Una interrupción ocurre 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 3 segundos se denominan de Corta Duración o momentáneas, si excede de dicho lapso estamos en presencia de una Interrupción de Larga Duración o Temporaria.

Tabla 5. Clasificación de las interrupciones [2]

Variaciones en la tensión			
CATEGORÍA		**DURACIÓN TÍPICA**	**MAGNITUD TIPICA DE LA TENSIÓN**
Interrupción	Momentáneas	0.5 ciclos - 3 s	< 0.1 pu.
	Temporal	3 s - 1 min	< 0.1 pu.

2.6.4 Desbalance de Tensión

El desbalance de tensión se presenta cuando la magnitud de las tres fases difieren y/o no tienen la separación normal de 120 grados. Se define como el máximo desvío del promedio de tensión de las tres fases, dividido por el promedio de éstas expresado en %.

Desbalance = (Máximo desvío del promedio / promedio de tensión de las tres fases) x 100

Por ejemplo, si las tensiones entre fase a fase son 210, 219 y 222, promediando 217. El desvío máximo del promedio es la fase de 210 volt. El desvío entre 210 y 217 es 7 volt. El porcentaje de desbalance es: Desbalance = (7 / 217) x 100 = 3,22%

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. Un desbalance de tensiones del 5 por ciento es el límite máximo aceptable, valores superiores no son permisibles debido al riesgo de sobrecalentamiento de las líneas.

Tabla 7. Desbalance de tensión [2]

CATEGORÍA	DURACIÓN TÍPICA	MAGNITUD TIPICA DE TENSIÓN
Desbalance de voltaje	Estado Estable	0.5 - 2%

2.7 VARIACIÓN DE LARGA DURACIÓN

Se considera como variación a un evento que puede durar más de 1 minuto. Estos eventos, pueden ocurrir en lapsos de tiempos cortos o prolongados.

2.7.1 Interrupción Sostenida

Es la pérdida completa de energía planeada o accidental en una instalación, es generalmente menos frecuente que un disturbio por baja tensión momentáneo.

2.7.2 Baja Tensión

Es una reducción de la tensión nominal (entre un 80% y 90%) en un punto del sistema y que puede durar más de 1 minuto.

2.7.3 Sobre Tensión

Existen regiones que durante un periodo importante reciben un suministro eléctrico superior a 10% del valor nominal hasta 20% y ocasionan sobrecalentamiento, por consiguiente mal funcionamiento en los componentes electrónicos de los equipos instalados, en estas situaciones es notorio relacionar estas fallas con los horarios de la actividad industrial o fabril de la región.

Tabla 6. Clasificación de las variaciones de larga duración [2]

Variaciones de voltaje de larga duración		
CATEGORÍA	**DURACIÓN TÍPICA**	**MAGNITUD TIPICA DE LA TENSIÓN**
Interrupción sostenida	> 1 min.	0.0 pu.
Bajo voltaje	> 1 min.	0.8-0.9 pu.
Sobre voltaje	> 1 min.	1.1-1.2 pu.

2.7.4 Fluctuaciones de Tensión

Son variaciones sistemáticas de tensión o series de cambios al azar, con una magnitud que normalmente no excede el +10% de la tensión especificada. Muchas veces las fluctuaciones de tensión suelen denominarse flicker.

El término flicker o parpadeo es la impresión subjetiva del ojo humano respecto de la fluctuación de la luminancia, ocasionada por una serie de variaciones rápidas de tensión. El flicker es el resultado indeseable de las fluctuaciones de tensión en algunas cargas.

2.7.5 Variaciones de Frecuencia

Las variaciones de la frecuencia en la red se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema (valor nominal especificado).

La frecuencia del sistema en cualquier instante, esta definida por la relación entre carga y la capacidad disponible de generación, si este balance dinámico cambia, se presentan pequeños cambios en la frecuencia. La duración y magnitud de los cambios depende de las características de carga y de la respuesta del sistema de generación ante dichos cambios.

2.8 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA

Es una deformación de la onda senoidal ideal a la frecuencia fundamental, principalmente caracterizada por el contenido espectral de la desviación. Existen diferentes tipos de distorsión en la forma de onda.

2.8.1 Componente de CD

También llamada DC offset, se define como la presencia de tensión o corriente directa en un sistema de potencia en corriente alterna.

2.8.2 Contenido Armónico

Es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores RMC de las componentes armónicas excluyendo la fundamental.

2.8.3 Armónicas

Las armónicas son tensiones o corrientes senoidales que tienen frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema de suministro. Estas al sumarse a la onda fundamental la distorsionan, de acuerdo con el orden de la armónica es el grado de distorsión de la onda fundamental. Por ejemplo, en un sistema de 60 Hertz, la segunda armónica será de 120 Hertz, la tercera de 180 Hertz, y así sucesivamente.

2.8.4 Interarmónicas

Cuando las frecuencias de estas tensiones y corrientes armónicas no son múltiplos enteros de la onda fundamental se denominan interarmónicas. Las distorsiones por armónicas e interarmónicas, generalmente son causadas por equipos con características de tensión o corriente no lineal. Estas pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro en la banda de frecuencias.

El matemático Fourier presentó una tesis referente a una onda periódica deformada, la cual se puede estudiar como la suma de ondas senoidales o armónicas de distintas frecuencias, múltiplos de la onda senoidal de la frecuencia fundamental. Este método es el que actualmente se aplica para el análisis de armónicas.

Las magnitudes típicas para estas perturbaciones son:

- Componente Fundamental. Es la componente de orden uno de la serie de Fourier de una cantidad periódica.

- Componente Armónica. Componente de orden mayor que uno de la serie de Fourier de una cantidad periódica.

- Distorsión Armónica Total (THD). Expresa el disturbio global presente y se define como la relación de la raíz cuadrada del contenido armónico a la raíz cuadrada de la cantidad fundamental, expresada en porciento.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{\sqrt{(I_f^2 \pm \sum I_n^2)}}$$

Donde:

$I_n =$ Componente armónica

$I_f =$ Componente fundamental

- Elevación de la tensión de neutro y tierra. Se caracteriza por una diferencia de tensión entre el neutro y la tierra del sistema. Se debe, fundamentalmente a que circulan corrientes elevadas por el conductor de neutro y/o por el conductor a tierra, o bien porque su dimensionamiento es inadecuado.

2.8.5 Muescas en la Tensión (Notching)

El Notching es un disturbio periódico de tensión causado por la operación normal de los dispositivos electrónicos de potencia cuando la corriente se conmuta de una fase a otra. La causa más común de este fenómeno son los convertidores trifásicos, ya que al realizar la conmutación entre cada fase, se está provocando un corto circuito.

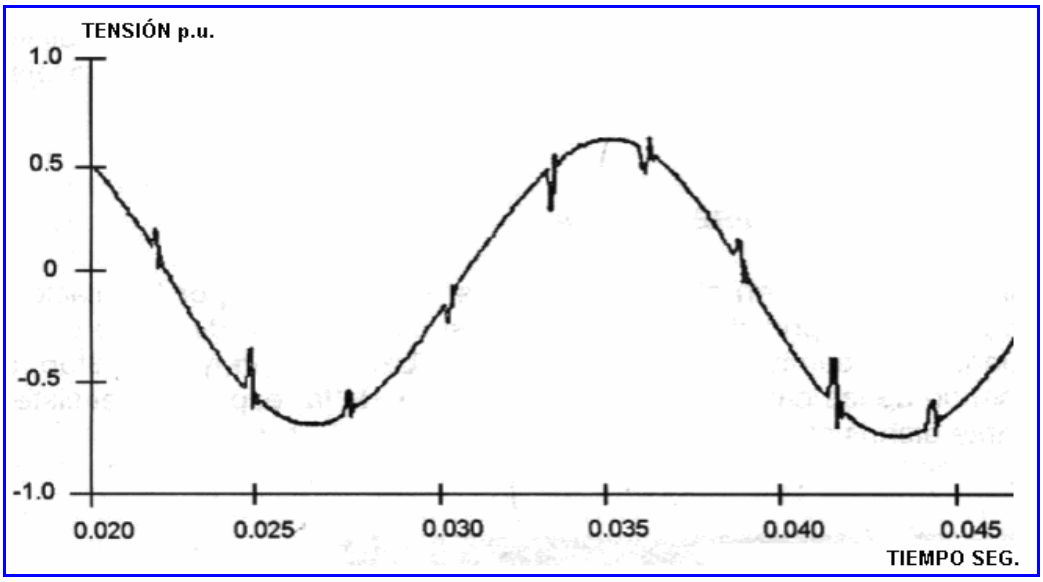


Figura 7. Notching en la tensión

2.8.6 Ruido

Ruido es una señal eléctrica desconocida, la cual se manifiesta como una distorsión de alta frecuencia en la forma de onda de tensión, que obedece a múltiples causas y pueden ocasionar problemas a los equipos. Básicamente, consiste en distorsiones no deseadas de la señal con un contenido espectral inferior a 200 kHz, que se superponen a las tensiones o corrientes de los sistemas de potencia.

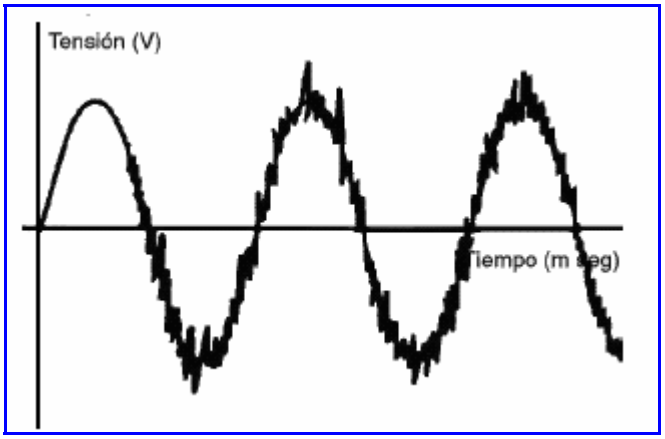


Figura 8. Ruido eléctrico

Tabla 8. Distorsión de la forma de onda

CATEGORÍA	CONTENIDO TÍPICO ESPECTRAL	DURACIÓN TÍPICA	MAGNITUD TIPICA DE LA TENSIÓN
Componente de CD		Estado Estable	0-0.1%
Contenido armónico	0-100th Hz	Estado Estable	0-20%
Interarmónicas	0-6 kHz	Estado Estable	0-2%
Muescas en la tensión		Estado Estable	
Ruido	Banda amplia		0-1%

CAPÍTULO 3. FALLAS ATRIBUIBLES AL SUMINISTRADOR

Para poder obtener los beneficios de la electricidad en la industria, comercio, hogar etc., ésta realiza un complejo recorrido desde los lugares donde se produce pasando por diferentes etapas hasta llegar finalmente a la utilización, en forma de luz, sonido, movimiento.

3.1 LA TRAYECTORIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA HASTA LA INDUSTRIA DONDE SE PRESENTAN LAS FALLAS

El recorrido desde su generación hasta su entrega final, se le denomina sistema eléctrico de potencia (SEP) que es un conjunto de centrales generadoras, de líneas de transmisión interconectadas entre sí y de sistemas de distribución esenciales para el consumo. El trayecto de la energía eléctrica pasa por 3 diferentes etapas: Generación, Transmisión y Distribución.

Generación. Es aquí donde se realiza la transformación de energía mecánica, obtenida mediante otras fuentes de energía primaria, a energía eléctrica. La instalación donde se realiza ésta conversión se le conoce como central eléctrica.

Se le llama central eléctrica al conjunto de máquinas motrices generadoras, aparatos de maniobra y protección que sirven para la producción de energía eléctrica.

Los generadores funcionan de manera similar a los motores, pero en forma inversa, esto significa que: mientras a un motor le inyectamos energía eléctrica para transformarla en energía mecánica (movimiento), a los generadores debemos de alguna manera entregarles energía mecánica (mover su eje) para transformarla en energía eléctrica y así producir electricidad. Claro está que un

simple motor no funcionará como generador, para que lo haga deberá tener ciertos accesorios adicionales que los motores normalmente no traen.

Según el servicio que dan en el consumo global de la red, las centrales se clasifican en:

- **Centrales de base o centrales principales**. Son las que están destinadas a suministrar energía eléctrica de manera continua.
- **Centrales de punta**. Proyectadas para cubrir demandas de energía en las horas punta.
- **Centrales de reserva**. Tienen por objetivo reemplazar las centrales de base en caso de avería o reparación.
- **Centrales de bombeo**. Son las que en las horas bajas utilizan la energía sobrante para bombear agua a un embalse superior y en las horas punta se aprovechan para dar energía a la red.

La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad se realiza en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas y nucleares.

Al cierre del mes de diciembre de 2005, la CFE contó con una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 45,575.92 Megawatts (MW), de los cuales: 8,250.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas); 10,269.58 MW son de hidroeléctricas; 22,128.89 MW corresponden a las termoeléctricas de CFE; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 959.50 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a la nucleoeléctrica, y 2.18 MW a la eoloeléctrica.

CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA DE GENERACIÓN

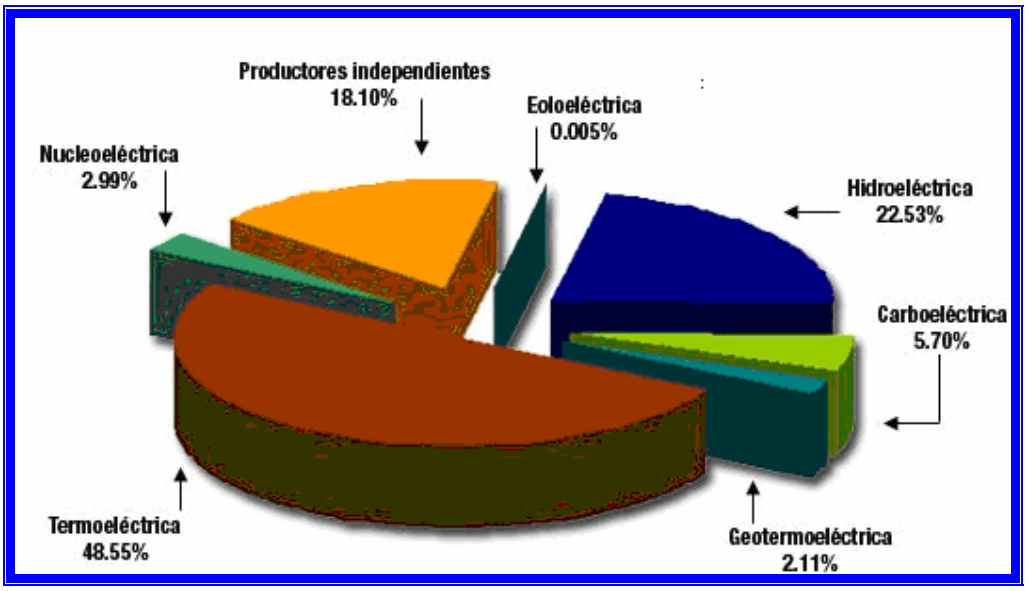


Tabla 1. Desarrollo de la capacidad instalada y de la generación

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Capacidad (MW)	CFE	33,920	33,944	34,384	34,839	35,385	36,236	36,855	36,971	38,422	37,325
	PIE´S	-	-	-	-	484	1,455	3,495	6,756	7,265	8,251
	Total	33,920	33,944	34,384	34,839	35,869	37,691	40,350	43,727	45,687	45,576
Generación (TWh)	CFE	149.97	159.83	168.98	179.07	190	190.88	177.05	169.32	159.53	170.07
	PIE´S	-	-	-	-	1.21	4.04	21.83	31.62	45.86	45.56
	Total	149.97	159.83	168.98	179.07	191.2	194.92	198.88	200.94	205.39	215.63

Incluye 17 centrales de productores independientes de energía, (PIE) las cuales aparecen en el apartado de Centrales Generadoras.

Para cumplir el objetivo de CFE de cubrir las necesidades de energía eléctrica de la población, de la industria, la agricultura, el comercio y los servicios en México, la generación de electricidad ha ido en aumento, como se aprecia en la tabla anterior (Información a diciembre de 2005).

Transmisión. Las líneas de transmisión, son los elementos encargados de transmitir la energía eléctrica, desde los centros de generación a los centros de consumo a través de distintas etapas de transformación de voltaje, las cuales también se interconectan con el sistema eléctrico de potencia (SEP).

Toda la electricidad producida en los centros de generación se debe transportar hacia los grandes centros poblados, que por lo general se encuentran bastante alejados, uno del otro. Para realizar esta labor de forma eficiente se utilizan grandes torres metálicas para sujetar los cables que la transportan, las cuales cruzan montañas, ríos y lagos, esta es la etapa que denominamos Transmisión.

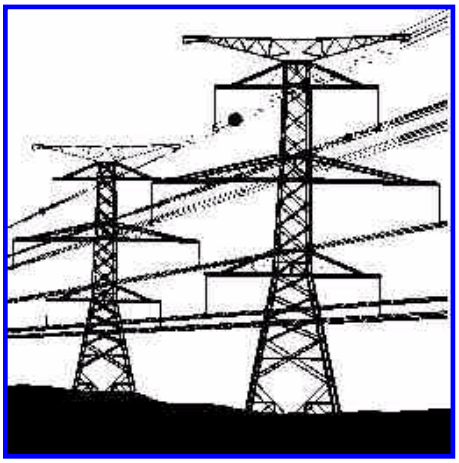
El recorrido de la corriente desde las centrales hasta el usuario se realiza a través de dos grandes redes de líneas eléctricas: la de transporte y la de distribución. Las conexiones se llevan a cabo en las estaciones o subestaciones eléctricas.

Las líneas eléctricas son el conjunto de materiales eléctricos, destinados al transporte y la distribución de energía eléctrica. Se dividen en dos tipos según su construcción:

- Aéreas. Los conductores se mantienen a una cierta altura del suelo. Son más económicas de instalar que las subterráneas, pero son menos fiables y necesitan más mantenimiento por estar sometidas permanentemente a los cambios meteorológicos (viento, lluvia, nieve, etc.)

- Subterráneas. Los conductores van enterrados bajo tierra dentro de canales. Tienen un elevado costo de instalación, pero son las más fiables y tienen un mantenimiento menor que las aéreas. Normalmente las líneas de transporte y las líneas de distribución primarias son aéreas, por otro lado las líneas de distribución secundarias son subterráneas.

- También se pueden clasificar según el grado de voltaje que transporten: alta tensión (AT), media tensión (MT) y baja tensión (BT).



Se le llama subestación eléctrica, al conjunto de aparatos y dispositivos de transformación, conversión y distribución de energía eléctrica, cuya misión es alimentar una red eléctrica. Las subestaciones eléctricas, en función a su diseño son las encargadas en interconectar líneas de transmisión de distintas centrales generadoras, transformar los niveles de voltajes para su transmisión o consumo. Las subestaciones eléctricas por su tipo de servicio se clasifican en:

- Subestaciones elevadoras
- Subestaciones reductoras
- Subestaciones compensadoras
- Subestaciones de maniobra o switcheo
- Subestación principal del sistema de distribución
- Subestación de distribución
- Subestaciones rectificadoras
- Subestaciones inversoras

Una vez que nos aproximamos a los centros poblados, es necesario reducir la tensión a valores menores (23 KV y 230 KV), por medio de transformadores reductores. Para facilitar así, la entrega de energía a su paso y hacer mas

sencillo transportar la electricidad hacia los grandes centros industriales y residenciales de las grandes ciudades (al poder utilizar estructuras metálicas de menores dimensiones). Esta corresponde a la etapa de Sub-transmisión.

Para conducir la electricidad desde las plantas de generación hasta los consumidores finales, CFE cuenta con las redes de transmisión y de distribución, integradas por las líneas de conducción de alta, media y baja tensión.

La red de transmisión considera los niveles de tensión de 400, 230 y 150 kilovolts (kV). Al finalizar diciembre del año 2005, esta red alcanzó una longitud de 45,767km.

Tabla 2. Longitud de líneas de transmisión (km)

Nivel de tensión (kV)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
400	11,337	11,908	12,249	12,399	13,165	13,695	14,504	15,998	17,790	18,144
230	18,878	19,374	20,292	21,224	21,598	22,645	24,060	24,773	25,687	27,148
161	456	456	456	456	508	508	646	470	475	475
150	445	66	66	0	0	0	0	0	0	0
Total	31,116	31,804	33,063	34,079	35,271	36,848	39,210	41,241	43,952	45,767

Transformación. Es el proceso que permite, utilizando subestaciones eléctricas, cambiar las características de la electricidad (tensión y corriente) para facilitar su transmisión y distribución. Ésta ha crecido en paralelo al desarrollo de la red de transmisión y distribución, contando a diciembre del año 2005 con 174,413 MVA, de los cuales 77.23% corresponde a subestaciones de transmisión y el restante 22.77% a subestaciones de distribución.

Distribución. Finalmente y para poder llegar a cada uno de los hogares, centros comerciales e industrias, se reduce la tensión a valores comerciales (127 V, 220 V), por medio de transformadores instalados directamente en los postes por donde se transporta la energía eléctrica.

La red de distribución esta integrada por las líneas de subtransmisión con niveles de tensión de 138, 115, 85 y 69 kilovolts (kV), así como, las de distribución en niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 kV y baja tensión. A diciembre de 2005, la longitud de estas líneas fue de 45,598 km y 567,056 km, respectivamente.

Tabla 3. Longitud de líneas de distribución (miles de km)

Nivel de tensión (kV)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
Subtransmisión										
138	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
115	30	31	32	34	35	36	38	39	40	41
85	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
69	3566	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2
Subtotal	**35,301**	**35.7**	**37.1**	**38.8**	**39.6**	**40.7**	**42.6**	**43.6**	**44.9**	**45. 6**
Distribución										
34.5	55	56	57	59	60	62	63	64	65	66
23	21	22	23	23	24	25	26	26	27	28
13.8	211.5	219.2	226.9	233.2	239.7	246.3	251.7	257.4	264.5	269.4
6.6 1_/	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Baja tensión	196.9	205.9	208.7	211.9	215.3	221	222.1	225.1	230.2	233
Subtotal	**484.5**	**503.5**	**516.1**	**528.1**	**539.7**	**554.3**	**563**	**573.2**	**587.5**	**597.1**
Total de líneas	**519.8**	**539.3**	**553.3**	**566.9**	**579.3**	**595.1**	**605.7**	**616.8**	**632.4**	**642.7**
Total CFE 2_/	**550.9**	**571.1**	**586.3**	**601**	**614.6**	**632**	**644.9**	**658**	**676.4**	**688.4**

1_/ Incluye tensiones de 4.16 y 2.4 kV

2_/ El total incluye líneas de Transmisión

*Cifras a diciembre de 2005

3.2 EQUIPOS DONDE SE PUEDEN PRESENTAR FALLAS

- **Subestación**

Es el conjunto de dispositivos, máquinas, aparatos y circuitos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia, que tiene la función de modificar sus parámetros tanto de tensión como de corriente, además de proveer un medio de interconexión que permite el suministro de la energía al sistema y líneas de transmisión existentes.

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, éstas se pueden agrupar en:

1) Subestación de transmisión: arriba de 230 kV
2) Subestación de subtransmisión: entre 230 y 115 kV
3) Subestación de distribución primaria: entre 115 y 23 kV
4) Subestación de distribución secundaria: debajo de 23 kV

- **Transformador**

Su función principal es transformar o transferir energía eléctrica de un sistema primario con determinada tensión a un sistema secundario con la tensión deseada.

- **Transformador de Corriente**

Son aparatos donde la corriente secundaria dentro de las condiciones normales de operación es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente defasada. Desarrollan dos tipos de funciones: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los

circuitos de alta tensión. Los transformadores de corriente pueden ser de medición, protección o mixto.

- **Transformador de Potencial**

Son aparatos en que la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria auque ligeramente defasada. Desarrolla dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

- **Interruptores**

Los interruptores son dispositivos que permiten el cierre y apertura de la continuidad en un circuito eléctrico bajo carga en condiciones normales y/o en condiciones de corto circuito. Es el medio para insertar o retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

- **Apartarrayos**

Los apartarrayos son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo de sistemas. Un dispositivo de protección efectivo debe tener tres características principales:

1) Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado.
2) Convertirse en conductor al alcanzar la tensión de ese valor.
3) Conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

- **Barras Colectoras**

Es el conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos de una subestación. Los circuitos que se conectan o se derivan de las barras colectoras pueden ser generadores, líneas de transmisión, bancos de transformadores, bancos de tierra, etc.

Tipos de barras:

1) Cables: Es un conductor formado de alambres cruzados en forma helicoidal, usualmente de cobre y aluminio reforzado con acero. Su principal desventaja es la pérdida de energía debido al efecto corona, aunque es el más usado ya que es el más económico de los tres tipos de barras.
2) Tubos: Las barras colectoras tubulares son utilizadas cuando se tiene una corriente muy alta especialmente en subestaciones de bajo perfil, como las instaladas en zonas urbanas, el material más utilizado son el cobre y el aluminio.
3) Solera: Es la más utilizada para llevar grandes cantidades de corriente (especialmente en interiores), puede ser de cobre o de aluminio y tiene la característica de ser relativamente más económica que el tubo.

- **Cuchillas**

Es un dispositivo que permite conectar y desconectar los componentes de una instalación eléctrica.

- **Banco de Capacitores**

Es utilizado normalmente para la corrección del bajo factor de potencia. En algunas instalaciones industriales y de potencia, los capacitores se instalan en

grupos llamados bancos, los cuales generalmente se conectan en estrella en alta tensión con neutro flotante y pocas veces con neutro conectado a tierra.

- **Aisladores**

Son aquellos dispositivos que fijan las barras conductoras a la estructura y además proporcionan el nivel de aislamiento necesario. El aislador se seleccionará de acuerdo a varios factores como son el tipo de barra que se usará, el nivel de aislamiento que se determine para el juego de barras, los esfuerzos a que esté sujeto, condiciones ambientales, etc.

- **Barra de Tierra**

Es un conductor común que permite interconectar los conductores de puesta a tierra los cuales a su vez se conecta al sistema de tierra en uno o varios puntos. Este puede ser un cable, una barra o solera y generalmente es de cobre.

- **Conductor de Puesta a Tierra**

Es un conductor que se utiliza para la conexión directa a tierra, en el punto requerido es decir, en las cubiertas metálicas de los equipos y otras partes metálicas que pudieran transportar corrientes indeseables.

- **Conductor Puesto a Tierra**

Es el conductor de un circuito o sistema que intencionalmente se conecta a tierra, como es el caso del neutro.

- **Electrodos de Tierra**

Dispositivos metálicos, los cuales pueden ser agrupados y enterrados con la finalidad de establecer el contacto o conexión directo con la tierra.

- **Fusibles**

Es un dispositivo de protección en una red eléctrica cuya función es interrumpir a un circuito cuando se produce en ellos una sobrecorriente, así mismo soporta la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

- **Relevadores**

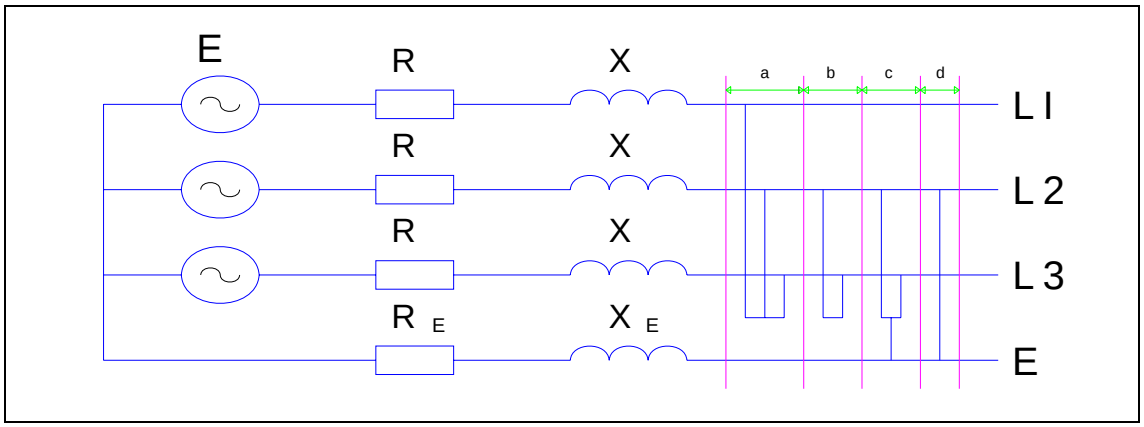
Son aquellos dispositivos electromagnéticos o electrónicos, que permiten proteger a los equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla o daño.

3.3 FALLAS PRINCIPALES EN LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA

A causa de los grandes esfuerzos dinámicos y térmicos, las fallas entre fases son las más peligrosas que pueden acontecer en un sistema eléctrico de potencia. A continuación se enuncian las principales clases de fallas, así como su diagrama unifilar:

(a) fallas trifásicas
(b) fallas entre dos fases
(c) fallas entre dos fases y tierra
(d) fallas a tierra

Donde E es igual a la fuente.



3.3.1 Fallas entre espiras en máquinas

Existen fallas entre las espiras lo que corresponde a una ruptura de aislamiento entre vueltas de la misma fase o entre devanados en paralelo que pertenecen a la misma fase. Este tipo de fallas se presentan específicamente en generadores síncronos, motores de alta tensión y transformadores de potencia. Y son ocasionadas generalmente por sobretensiones, descarga atmosférica o daños mecánicos del aislamiento.

3.3.2 Las fallas entre espiras en generadores síncronos

Estas fallas son detectadas tanto en el estator como en el rotor. Por lo que respecta al estator solamente son posibles en generadores de relativamente poca potencia con varias varillas en cada ranura, en generadores con dos devanados por fase o en motores de alta tensión.

3.3.3 Las fallas entre espiras en transformadores de potencia

Son ocasionadas por sobre tensión atmosférica, las cuales acompañan a las fallas a tierra o bien por el deterioro del aislamiento producto de la influencia química del aceite del transformador.

3.4 DETECCIÓN DE FALLAS

3.4.1 Sobrecorriente

Las sobrecorrientes son ocasionadas por las fallas entre fases y a tierra, sin embargo también se pueden presentar durante la operación normal, es decir, cuando se energiza un transformador de potencia o un motor de inducción, etc.

Por lo cual se llega a la conclusión que una sobrecorriente puede ser utilizada como un criterio para detectar fallas entre fases y fallas a tierra, siempre y cuando las sobrecorrientes antes mencionadas no se presenten en un sistema en particular.

3.4.2 Corriente diferencial (circulante)

En la detección de falla usando el criterio de corriente diferencial, se comparan las amplitudes de las corrientes, por lo cual es seguro que exista una falla tan pronto como la diferencia entre las dos corrientes deje de ser cero.

La protección diferencial es estrictamente selectiva para un elemento y su principio se fundamenta en la medición de la corriente de entrada y salida del elemento a proteger. Por lo tanto la zona de protección donde estará el transformador de potencia, se delimitara por el área entre los TC de entrada y salida del relé.

Por lo tanto para prever las fallas tanto internas como externas de cualquier elemento, el relé comprueba constantemente si las corrientes en el lado de la entrada coinciden con las respectivas corrientes en el lado de salida. Cualquier diferencia puede ser causa de una falla interna, ocasionando que actué la protección después de sobrepasar un umbral establecido. En el caso de los transformadores, es relevante tomar en cuenta la relación de transformación y

la conexión con la finalidad de que las cantidades y las fases puedan compararse.

3.4.3 Diferencia de los ángulos de fase de las corrientes

La protección compara los ángulos de fase de las corrientes que fluyen hacia adentro y hacia fuera de la unidad protegida y por la tanto también se le conoce como protección de comparación de fase.

3.4.4 Sobre y Baja Tensión

En un sistema trifásico tanto las tensiones de fase a neutro como las de fase a fase, están relacionados con la caída de tensión a lo largo de la línea y por lo tanto por la propia carga.

Si las tensiones exceden los límites permisibles provocando una condición de operación anormal, la falla queda indicada. Las sobretensiones pueden ser ocasionadas por reguladores de tensión o transformadores de potencia defectuosos, corte de carga, una baja regulación del factor de potencia, etc.

Las sobretensiones atmosféricas (descargas, ondas viajeras, etc.) no suelen afectar, ya que generalmente los apartarrayos se hacen cargo de esta falla.

3.4.5 Componentes simétricas de las corrientes y de las tensiones.

Para estas aplicaciones, se usan filtros para extraer las componentes simétricas a partir de los sistemas trifásicos de corrientes y de tensiones. Las principales clases de fallas que son detectadas mediante el monitoreo de las componentes simétricas son:

- Fallas entre fases y a tierra en sistemas conectados a tierra sólidamente o a través de una baja resistencia.

- Fallas a tierra en sistemas aislados de tierra o conectados a ella a través de bobinas de reactores.
- Configuraciones asimétricas de un sistema, cargas asimétricas y conductores con circuito abierto.

3.4.6 Impedancia

La impedancia es un criterio que permite detectar fallas en sistemas de transmisión, cuando hay una baja excitación o en condición de fuera de paso en generadores.

Se detecta una falla en el sistema de transmisión, cuando la impedancia medida en el sitio donde se encuentra el relevador en condiciones de carga normal es más alta que la impedancia de una falla. Por lo que generalmente se usa el criterio de impedancia para detectar fallas entre fases y a tierra.

3.4.7 Frecuencia

La desviación de la frecuencia de un sistema de potencia eléctrica de su valor nominal es una indicación de desbalance entre la generación de potencia real y la demanda de carga, un defecto en generación hace que la frecuencia caiga y la generación en exceso hace que la frecuencia suba.

3.5 TIEMPO DE INTERRUPCIÓN POR USUARIO

Las actividades humanas son cada vez más dependientes del suministro de energía eléctrica trayendo como consecuencia que la continuidad y calidad del servicio sea más exigido a las empresas eléctricas por parte de los usuarios y de la industria en general, en todos los niveles de tensión ofrecidos.

Los disturbios más comunes que afectan a los usuarios y a la industria son la tensión y las interrupciones, las cuales ocurren frecuentemente en los sistemas de distribución. En la actualidad esta situación se presenta en un gran número de empresas eléctricas en todo el mundo, por lo cual se está introduciendo y empleando técnicas cuantitativas de confiabilidad.

La verificación continua de la calidad en el suministro de energía eléctrica se basa en la comparación de los valores previamente fijados por las compañías de distribución de energía eléctrica y los que se presentan en la operación real de los sistemas a través del tiempo.

Cabe señalar que las metas de calidad deben ser fijadas en función de las necesidades de suministro de los consumidores, tomando en cuenta siempre las inversiones necesarias que deberán erogarse en el equipo y su mantenimiento. La consideración de estás metas debe ser establecida a través de índices numéricos conocidos como índices de confiabilidad.

TIU (Tiempo de Interrupción por usuario). Este indicador refleja la calidad en el suministro de la energía eléctrica.

$$TIU = \frac{\sum_{i=1}^{T}\sum_{i=1}^{Mi} D[i]UAi1}{\sum_{i=1}^{T} NUi}$$

En donde:

D [i] = Duración de la interrupción (1) en minutos acaecida durante el mes (i) en un circuito de distribución de la zona de que se trata.

UAi1 = Usuarios afectados por la interrupción (1) acaecida durante el mes de (i) en un circuito de distribución de la zona de que se trata.

NUi = Número total de consumidores del sistema o alimentador.

i = Mes de que se trata, variando desde 1 hasta T, en donde 1 corresponde al mes del inicio del periodo y T al término.

1 = Número ordinal en que aconteció la interrupción (1) durante el mes (i) hasta Mi, en donde Mi es la última interrupción acaecida durante el mes (i).

FIL (Interrupciones por cada 100 km de línea). Este índice está definido como:

$$FIL = \left[\frac{IS}{LP} \right] X100$$

En donde:

IS = Total de Interrupciones sostenidas y no continuas, acaecidas durante el periodo especificado, en los circuitos de distribución de la zona que se trata.

LP = Longitud total en Km de líneas primarias en operación, al último día del mes (i), de la zona de que se trata.

PID (Porciento de índice de disponibilidad). Este índice está definido como:

$$PID = \frac{MMNU - MU}{MMNU} X100$$

En donde:

MU=Total de minutos usuario no disponible debido a las interrupciones acaecidas durante el periodo especificado.

MMNU=Total de minutos usuarios demandados durante el periodo especificado, en los circuitos de distribución de la zona en que se trata.

FIU (Interrupciones por cada 1000 usuarios). Este índice esta definido como:

$$FIU = \frac{IS}{NU} X100$$

En donde:

IS=Total de interrupciones sostenidas y no continuadas, acaecidas durante el periodo especificado, en los circuitos de distribución en la zona de que se trata.

NU=Total de número de usuarios al día último de los meses del periodo especificado de la zona de que se trata.

FIC (Interrupciones por circuito). Este índice esta definido como:

$$FIC = \frac{IS}{NC}$$

En donde:

IS=Total de interrupciones sostenidas y no continuadas, acaecidas durante el periodo especificado, en los circuitos de distribución de la zona de que se trata.
NC=Total de números de circuitos en operación durante los meses del periodo especificado de la zona de que se trata.

TIPDI (Tiempo de interrupción promedio por disturbio). Este índice esta definido de la siguiente manera:

$$TIPDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} D1i}{\sum_{i=1}^{n} NDi}$$

En donde:

*D*1*i*=Duración en minutos de la interrupción (1) acaecida en un circuito de distribución de la zona de que se trata.
NDi=Número de disturbios durante el mes en el sector considerado.

FEC (Frecuencia equivalente de interrupción por consumidor).

$$FEC = \frac{\sum_{j=1}^{m} \lambda jnjCaj}{Cs}$$

En donde:

Cs=Número total de consumidores del sistema (equivalente a NUi).
λj=Tasa de falla de la componente j, en fallas / unidad / año o fallas / km / año.
nj=Número de componentes j existentes en el sistema, en unidades o km en caso de alimentadores.

Caj=Número de consumidores afectados en la interrupción por una falla en la componente j(equivalente a UAi).
m=Número de diferentes tipos de componentes

DEC (Duración equivalente de la interrupción por consumidor en horas). Esta expresión es similar a la del TIU; sin embargo en este caso estará expresada en función del tiempo medio de reparación r de la componente y de su tasa de falla λ característica, quedando la expresión como sigue:

$$DEC = \frac{\sum_{j=1}^{m} \lambda jnjrjCaj}{Cs}$$

Donde:

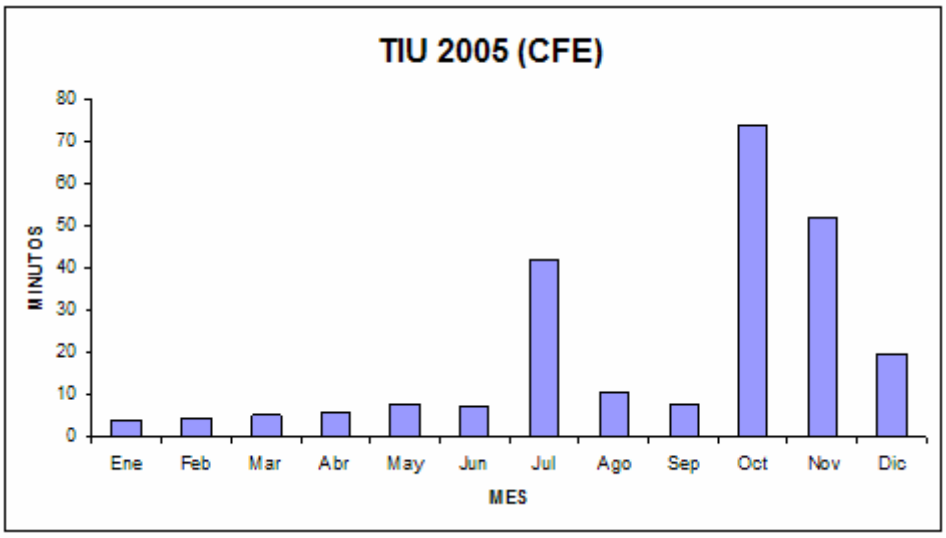
rj=Tiempo medio de restablecimiento de la componente j, en horas.
Cs=Número total de consumidores del sistema (equivalente a NUi).
λj=Tasa de falla de la componente j, en fallas / unidad / año o fallas / km / año.
nj=Número de componentes j existentes en el sistema, en unidades o km en caso de alimentadores.

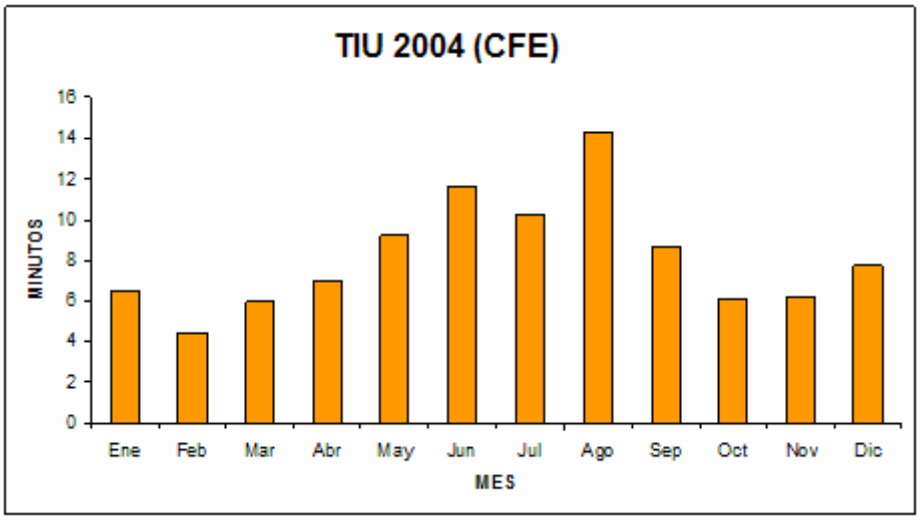
3.6 Tiempo de Interrupción por Usuario Total

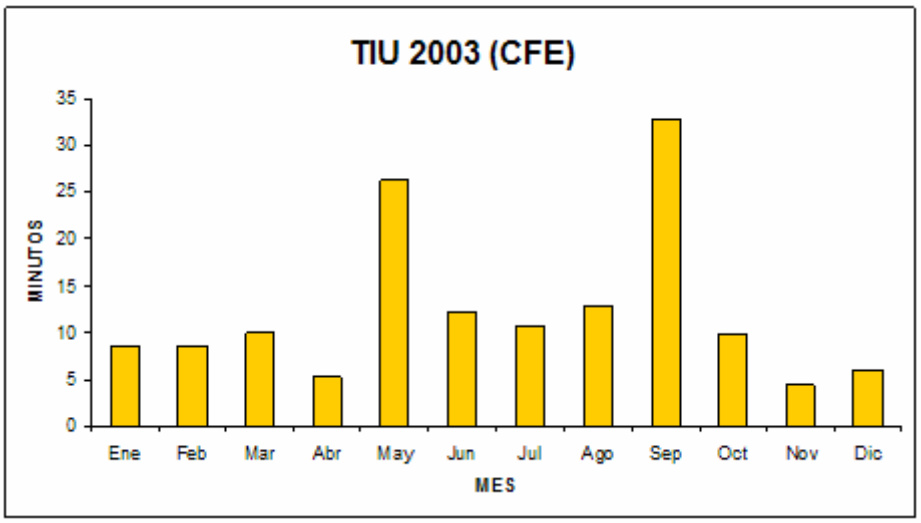
Tabla 1. Comisión federal de electricidad

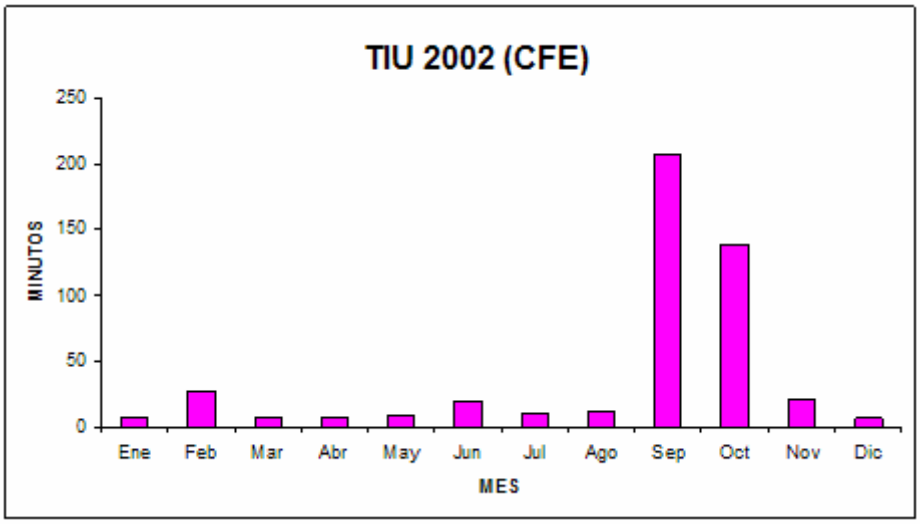
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN TOTAL EN CFE													
MINUTOS													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
2005	4.052	4.486	5.327	5.962	7.992	7.289	41.978	10.435	7.486	73.867	52.063	19.758	240.69
2004	6.501	4.429	5.988	7.011	9.225	11.653	10.26	14.251	8.653	6.072	6.267	7.746	98.076
2003	8.65	8.535	9.984	5.313	26.313	12.225	10.674	12.827	32.736	9.873	4.437	5.99	147.557
2002	6.18	26.981	6.292	7.149	8.999	19.477	11.15	12.168	207.47	138.533	21.275	6.353	472.027
2001	5.73	6.94	12.554	9.676	22.189	15.558	17.923	13.503	20.915	13.347	6.691	6.778	151.804
2000	5.82	6.49	7.31	8.52	13.24	11.18	17.86	17.37	14.42	18.1	9.27	8.426	138.006
												SUMA TOTAL	1248.16

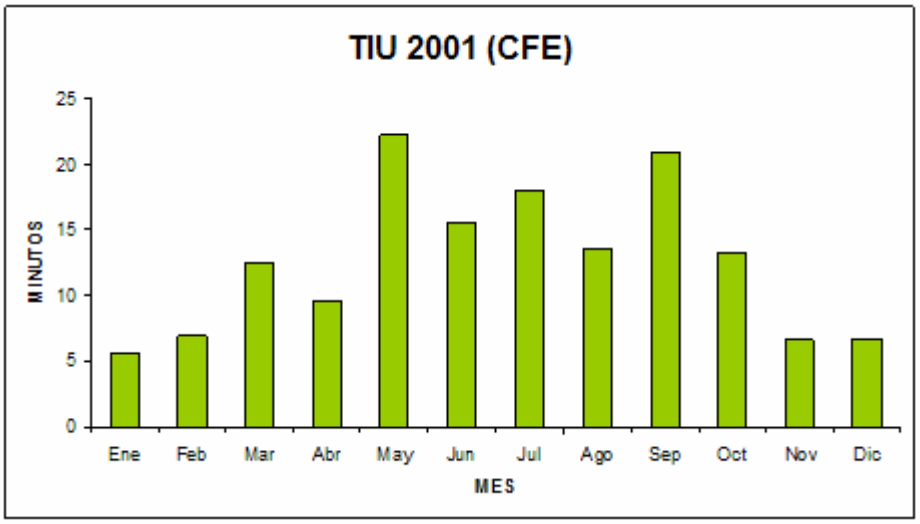
NOTA: En el año de 2002 para los meses de septiembre y octubre, los minutos reportados se derivan del huracán Isidoro.

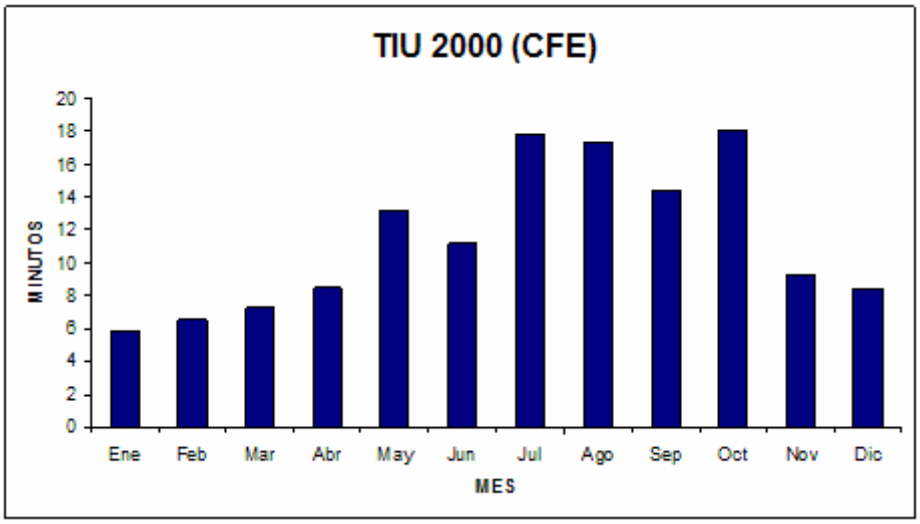

TIU 2005 (CFE)
MINUTOS
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
MES

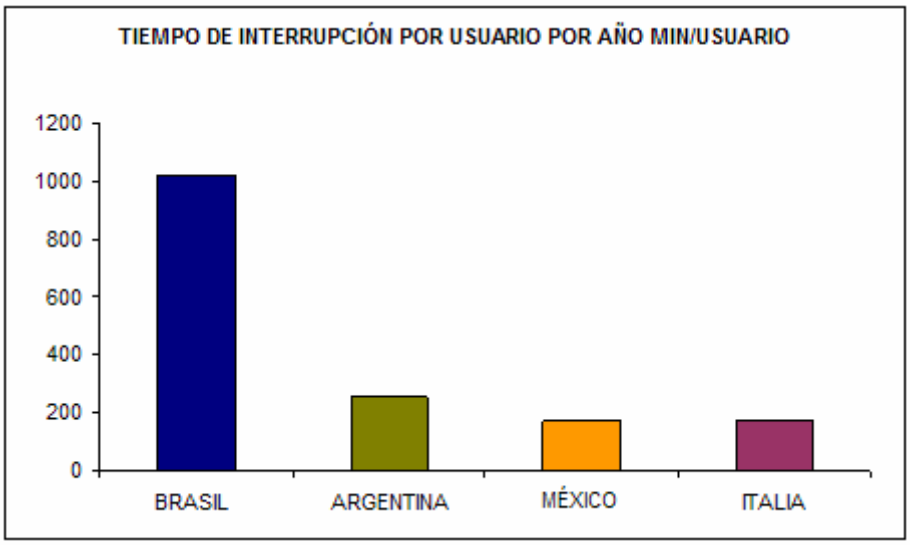

TIU 2004 (CFE)
MINUTOS
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
MES


TIU 2003 (CFE)
MINUTOS
35
30
25
20
15
10
5
0
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
MES


TIU 2002 (CFE)
MINUTOS
250
200
150
100
50
0
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
MES


TIU 2001 (CFE)
MINUTOS
25
20
15
10
5
0
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
MES

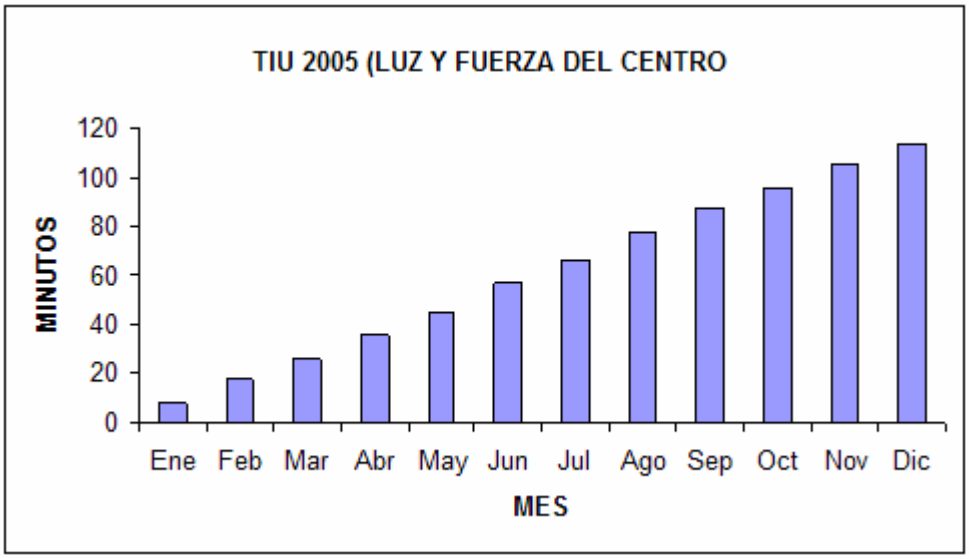

TIU 2000 (CFE)
MINUTOS
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
MES

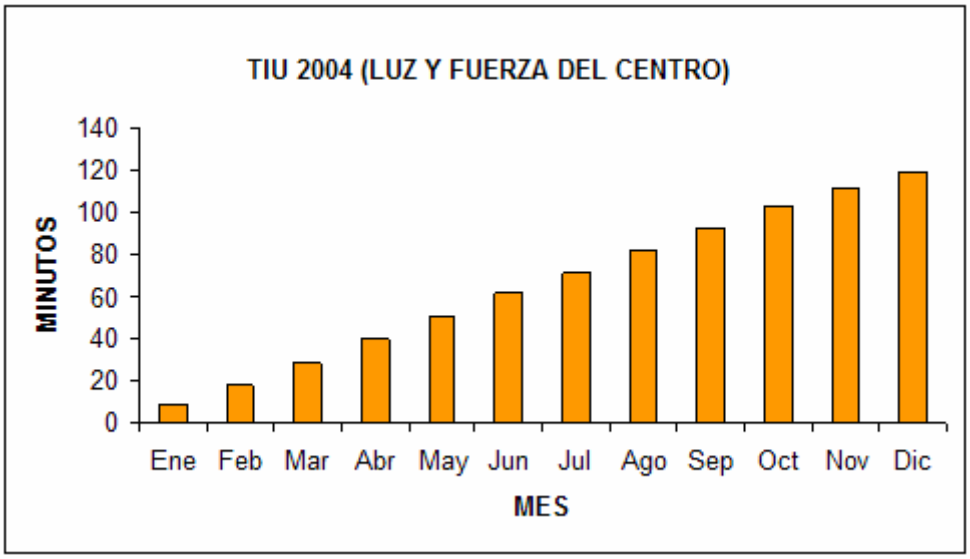


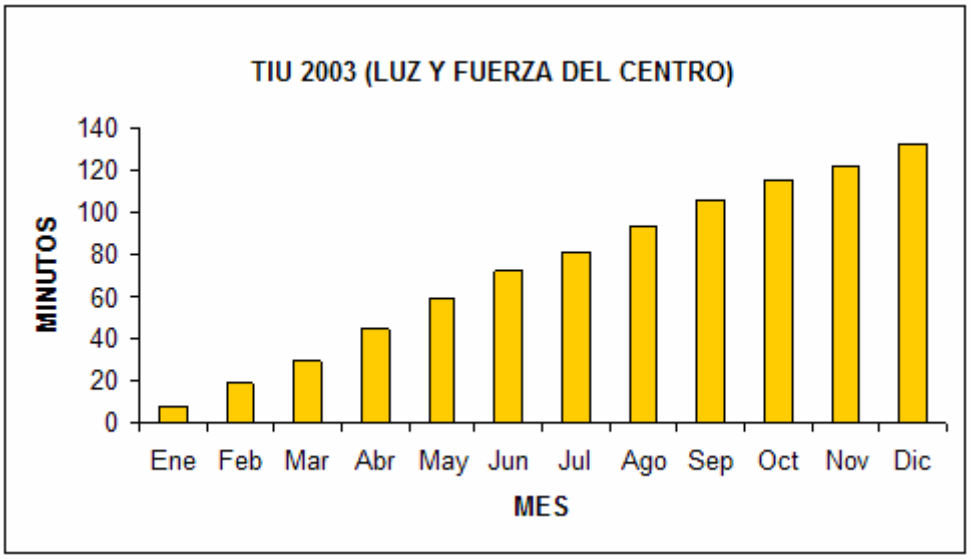
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN POR USUARIO TOTAL LUZ Y FUERZA DEL CENTRO (VALOR ACUMULADO)

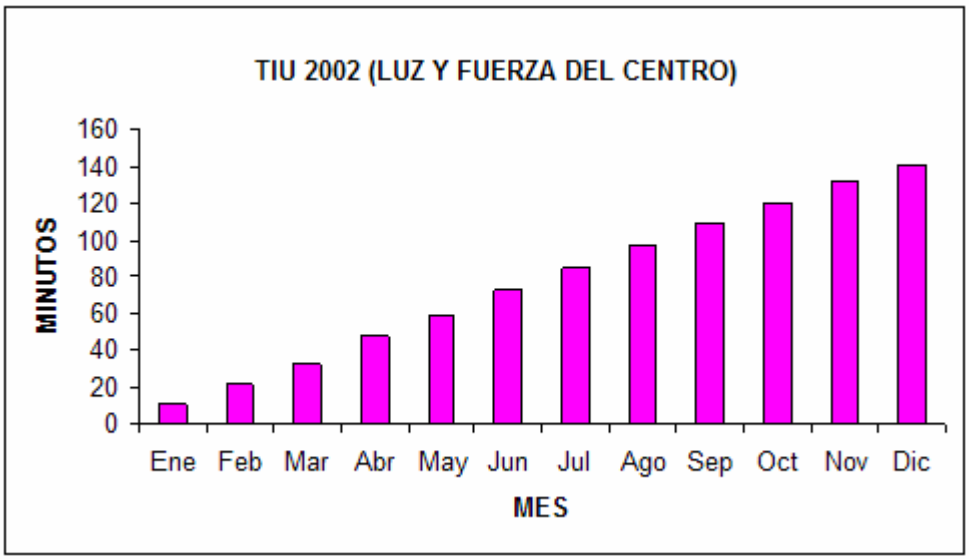
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN TOTAL EN LUZ Y FUERZA DEL CENTRO MINUTOS													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	SUB-TOTAL
2005	8.16	17.82	26.06	35.66	44.56	56.54	66.35	78.01	87.56	95.88	105.13	113.2	734.93
2004	8.43	17.51	28.25	40.03	50.28	61.31	70.64	82.24	93.16	103.19	111.51	119.17	785.72
2003	7.85	18.97	29.63	44.23	58.37	71.85	81.67	93.95	106.06	115.12	122.4	132.75	882.85
2002	10.88	21.48	32.29	47.37	58.74	72.1	84.09	97.05	109.62	120.4	131.72	140.08	925.82
2001	9.33	22.24	38.65	59.24	72.63	88.71	101.66	115.54	127.72	138.86	148.14	160.14	1082.86
2000	14.55	32.33	50.29	67.41	89.17	110.13	128.2	150.29	167.37	181.41	194.04	206.23	1391.42
												TOTAL	5803.6

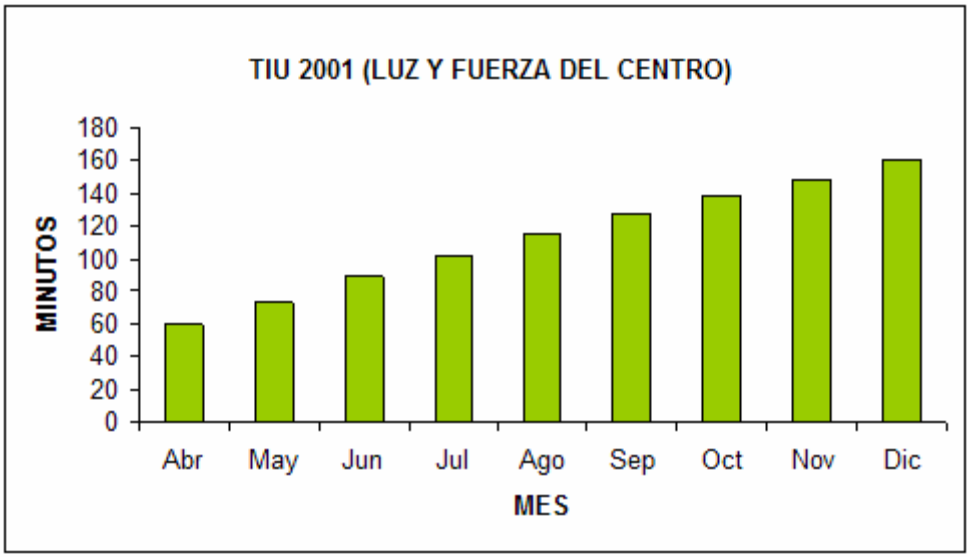
NOTA: No se incluyen eventos extraordinarios.

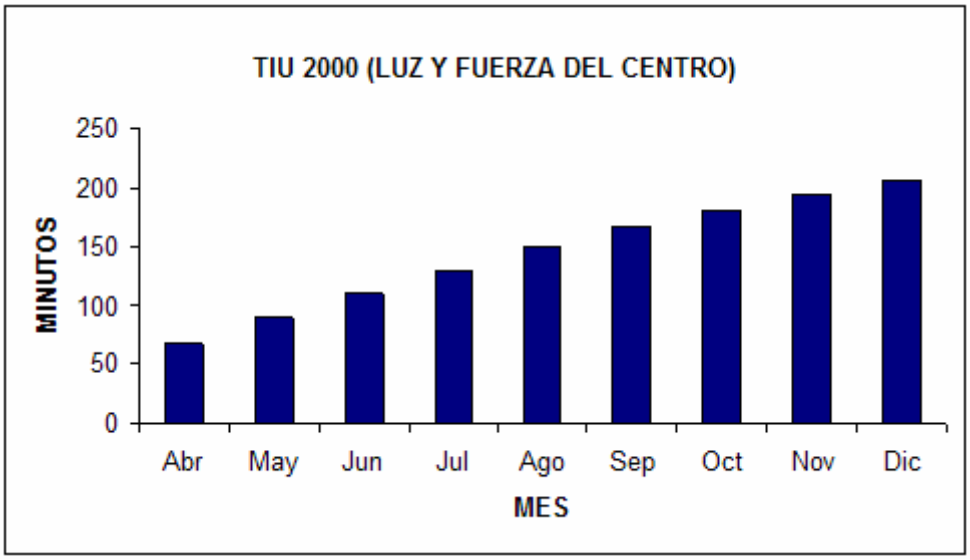



TIU 2004 (LUZ Y FUERZA DEL CENTRO)
MINUTOS
140
120
100
80
60
40
20
0
Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic
MES


TIU 2003 (LUZ Y FUERZA DEL CENTRO)
MINUTOS
140
120
100
80
60
40
20
0
Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic
MES


TIU 2002 (LUZ Y FUERZA DEL CENTRO)
MINUTOS
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic
MES





La continuidad del suministro zonal se mide por índices que reflejan el número y duración de las interrupciones del suministro eléctrico, que permiten medir dicha continuidad y analizarla conjuntamente en todo el territorio nacional.

CAPÍTULO 4. TARIFAS ELÉCTRICAS

En el mundo hay muchas compañías de generación de energía eléctrica de las cuales cada una tiene diferentes tipos de tarifas y procedimientos de cálculo, sin embargo todas las facturas expedidas sobre el consumo obedecen el mismo patrón ya que todos los suministradores manejan tres conceptos de cargo para formularlas, siendo: demanda máxima, energía consumida y factor de potencia.

Los cargos por concepto de demanda facturable se sustentan en los costos de generación de energía eléctrica, de la transmisión y distribución de la misma, de acuerdo con los medios disponibles para efectuarla. Los cargos por concepto de energía comprenden los costos del combustible, mantenimiento y otros gastos relacionados con la operación. Los conceptos relacionados con la carga que puede suministrar una central eléctrica y con la demanda de energía de los consumidores son:

- **Potencia instalada**

Es la suma total de las potencias nominales de todas las cargas eléctricas conectadas a la red, que alimenta la central. Se llama también carga instalada.

- **Factor de demanda**

Es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la potencia instalada, es decir:

$$FD = \frac{D_M[kVA]}{P_I[kVA]}$$

Donde:

D_M=demanda máxima

P_I=potencia instalada

- **Factor de instalación**

El factor de instalación es la relación entre la potencia total de una central eléctrica y la potencia conectada a la red alimentada por dicha central, es decir:

$$FI = \frac{P_{TC}[kVA]}{P_I[kVA]}$$

Donde:
P_{TC}=Potencia total de la central
P_I=Potencia instalada

<u>EJEMPLO No. 1</u>

Un edificio contiene 500 lámparas de 100 W, la carga instalada será:

$$500 \times 100 = 50{,}000 \text{ W}$$

Normalmente nunca están todas las lámparas en funcionamiento, si el número máximo de lámparas utilizadas es de 120 la demanda será:

$$120 \times 100 = 12{,}000 \text{ W}$$

Y el factor de demanda:

$$FD = \frac{12{,}000}{50{,}000} = 0.24$$

Para suministrar la energía eléctrica necesaria, disponemos de un grupo de generadores cuya potencia es de 20 kW, el factor de instalación es de:

$$FI = \frac{20{,}000}{50{,}000} = 0.4$$

- **Utilización anual**

Es el número de horas anuales que debería trabajar la instalación a plena carga, para que la energía producida fuese igual a la que la central produce en un año, trabajando a carga variable.

Ejemplo No. 2

Una central de 2000 kW de potencia ha producido en un año 7,000,000 kWh, con las variables, que dependen de diversas causas de acuerdo a la utilización anual de la central.

$$U_{ANUAL} = \frac{7,000,000[kWh]}{2,000[kW]} = 3,500[hrs]$$

Es decir que para suministrar esa energía se necesitó trabajar 3,500 horas al año. La utilización anual se denomina también duración de aprovechamiento

- **Factor de utilización**

La relación entre el número de horas de utilización anual y el número total de horas del año.

$$FU = \frac{N_{HA}}{N_{TH}}$$

Donde:

N_{HA}=Número de horas de utilización anual
N_{TH}=Número total de horas del año
EJEMPLO No. 3

Utilizando los datos del ejemplo No. 2 se tiene:

Número total del año: $FR = \frac{P_{TC}[kVA]}{P_{MC}[kVA]} 365 \times 24 = 8{,}760$ [hrs]

Número de horas de utilización anual igual a $3{,}500$ [hrs]

Por lo tanto:

$$\text{FU}=\frac{3{,}500}{8{,}760} = 0.4$$

- **Factor de reserva**

Un grupo de generadores puede quedar parado por avería o por inspección, por lo tanto, hay que disponer de una reserva de máquinas que sustituyan a las que han quedado fuera de servicio. Lo que quiere decir que la potencia total de la central debe ser mayor que la potencia máxima para la que ha sido proyectada.

Este hecho se expresa por medio del factor de reserva que es la relación entre la potencia total de la central y la potencia máxima que ha de suministrar, es decir:

$$FR = \frac{P_{TC}[kVA]}{P_{MC}[kVA]}$$

Donde:

P_{TC}=Potencia total de la central en kVA

P_{MC}=Potencia máxima de la central en kVA

El factor de reserva es siempre mayor que la unidad. En muchas ocasiones, no es necesario que cada central tenga su propia reserva. Si varias centrales están interconectadas entre sí, podemos hacer que una de ellas trabaje sin reserva, suponiendo que en caso de avería en sus generadores, la potencia que falta será suministrada por las otras centrales interconectadas.

4.1 ESTRUCTURA DE LAS TARIFAS

La estructura actual de las tarifas de energía eléctrica se basa en los costos de suministro a los usuarios, por lo cual se han tomado en cuenta las diferencias regionales, estaciones del año, horarios de consumo, nivel de la tensión de suministro y demanda.

4.2 REGIONALIZACIÓN TARIFARIA

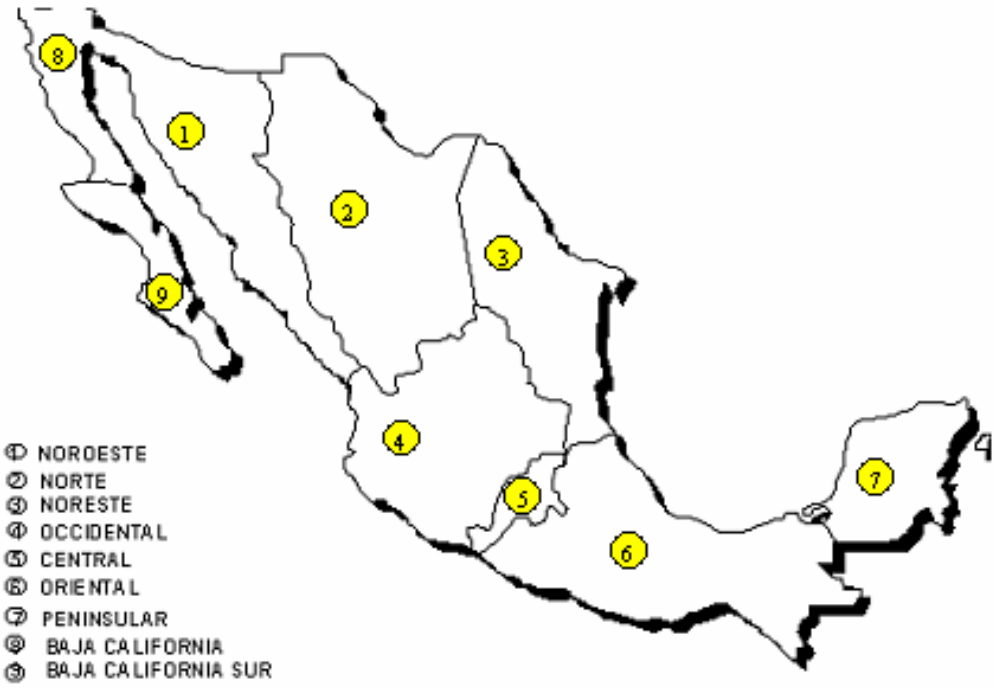
Por lo anterior Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha dividido el territorio nacional por regiones, principalmente para diferenciar el uso de la energía eléctrica en media y alta tensión.

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se encuentra dividido en nueve áreas interconectadas entre sí, de esta manera se ha dado pauta para aprovechar el uso de tarifas con diferenciación horaria.

El SEN se divide en nueve áreas:

1.- Noroeste
2.- Norte
3.- Noreste
4.- Occidental
5.- Central
6.- Oriental
7.- Peninsular
8.- Baja California
9.- Baja California Sur

Las siete primeras se encuentran interconectadas entre sí y forman el Sistema Interconectado Nacional (SIN).



4.3 FUNCIONES DE LAS TARIFAS HORARIAS

CFE diseña tarifas horarias que dan señales económicas claras a los usuarios (principalmente industriales) para hacer un uso más racional de la electricidad.

Las tarifas horarias reflejan los costos que para la CFE representa el proveer electricidad en horas pico (que es la hora en la cual CFE tiene que tener el mayor número de plantas en operación).

El consumo de energía en las horas base es más económico que en el periodo punta. El pago por concepto de energía en el periodo punta es mayor debido a que CFE tiene que operar más equipos para el suministro de energía en este periodo.

4.4 CARGOS POR DEMANDA MÁXIMA

La demanda máxima puede explicarse de la manera siguiente: Supongamos que una planta va a fabricar botes de hojalata y que el rendimiento de cada máquina es de 10,000 botes diarios, una orden de 300,000 botes requiere 30 máquinas para fabricar este volumen en un día, pero si esta orden se reparte en 10 días la planta podrá trabajar con solo tres máquinas.

El valor de la inversión representado por las máquinas tiene que incluirse en el costo de la producción de los botes. Si se puede convencer al comprador para que espere más tiempo para recibir sus botes, se le podrá dar un precio más reducido. Si se reducen los gastos generales, se podrá obtener un precio más bajo por unidad.

Lo mismo sucede con el caso de la energía eléctrica, solo que en este renglón no le queda a la central de generación eléctrica ninguna alternativa más que satisfacer las necesidades de los usuarios al momento que éstos lo requieran. Al hacer funcionar un interruptor debe haber energía suficiente para encender el alumbrado. Al oprimir un botón, las líneas de suministro deben tener la fuerza suficiente para el arranque del motor respectivo.

Por lo general no se enciende todo el alumbrado a la vez y lo mismo ocurre en el caso de los motores. Pero si el consumidor así lo desea, se podrá conectar totalmente al servicio. Por tal motivo, la central eléctrica necesita tener a su disposición todo el equipo necesario para poder sostener esa carga continuamente las 24 horas del día.

Pero la central no da el servicio a solo 10 industrias, sino que tiene que suministrar a algunos cientos o miles de ellas, de manera que la compañía suministradora debe de tener disponible en todo tiempo una vasta reserva de energía.

El costo para el sostenimiento de estos servicios que exige un máximo de esfuerzos se les pasa a los usuarios en forma de cargos por demanda. La demanda máxima es la demanda media en kilowatts durante un periodo de quince minutos en el cual el consumo de energía es mayor que en cualquier otro periodo.

Entre más alta es la demanda de energía en un momento dado por un periodo de 15 minutos, más alto también será el cargo por demanda. Entre más uniformemente se pueda repartir el consumo de energía eléctrica en una industria o planta, más bajo será el cargo por demanda.

4.5 FACTOR DE CARGA

Si el consumidor utiliza la capacidad total o sea la demanda máxima, durante las 24 horas diariamente, se dice que esta operando al 100% de su carga o de su factor de carga. En esa forma se logrará la tarifa más baja por kilowatt-hora. Indicador de la forma en que se usa la energía eléctrica en una instalación.

El factor de carga es un parámetro útil para determinar el efecto relativo de la demanda máxima sobre el consumo de energía eléctrica, se puede interpretar como una medida de aprovechamiento de la energía consumida con relación a la demanda máxima. El factor de carga es la relación entre la demanda media y la demanda máxima:

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Demanda Media}}{\text{Demanda Máxima}}$$

La demanda media es la relación entre el consumo de energía y el total de horas del período de facturación. Cabe mencionar que cada día representa 24 horas independientemente de que algunas empresas no trabajan las 24 horas:

$$\text{Demanda Media} = \frac{\text{Consumo kWh}}{\text{Días Facturados} \times 24 \text{ Horas}}$$

El factor de carga se puede interpretar como una medida del aprovechamiento de la energía consumida con respecto a la demanda máxima solicitada:

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Consumo kWh} / \text{Días Facturados X 24 Horas}}{\text{Demanda Máxima}}$$

El factor de carga ideal es la unidad (1.0) pero es muy difícil de alcanzar. Mientras más alto sea el factor de carga es mayor el aprovechamiento de la energía eléctrica y menor el costo promedio de la misma.

4.6 CONTROL DE LA DEMANDA

Dados los elevados cargos por concepto de demanda, vale la pena hacer un esfuerzo por parte de los consumidores, con el objeto de reducir la demanda máxima y tratar de utilizar la energía fuera de las horas punta. La estructura de las tarifas penaliza el uso de la energía en los periodos de punta y alienta a los consumidores para hacer uso de la misma durante los periodos de base. Esta estructura favorece económicamente a los usuarios y permite que las compañías de energía eléctrica exploten con mayor eficiencia sus instalaciones.

Para poder reducir y controlar su demanda los usuarios deben reorganizar sus operaciones según el proceso se los permita para distribuir su demanda fuera de las horas pico; o bien limitar en forma automática la demanda mediante un sistema controlador.

Por lo tanto se requiere de un análisis que permita conocer las características de la demanda durante un periodo dado, se deben de considerar los siguientes factores:

- Factor de carga
- Valor y duración de los picos de demanda
- Valor y duración de los valles
- Horario de los picos de demanda
- Causas de los picos de demanda

4.7 CARGOS POR ENERGÍA CONSUMIDA

Los costos de operación de la porción de la factura de consumo de energía eléctrica, se basan en el número de kilowatts-hora registrados en el término de cierto periodo, normalmente por un mes.

Existen cuatro situaciones en las que se deben de considerar las pérdidas en el transformador:

- Si el usuario tiene su contratación en baja tensión, las pérdidas en los transformadores las absorbe las compañías que suministra el servicio.

- Si el usuario tiene su contratación en media y alta tensión y su medidor de consumo se encuentra en el secundario del transformador, la compañía que suministra el servicio efectúa un cargo del 2% por concepto de las perdidas en el transformador.

- Si el usuario tiene su contratación en media y alta tensión y su medidor de consumo se encuentra en el primario del transformador, no se realiza cargo ya que las pérdidas del transformador quedan incluidas en el medidor.

- Si el suministrador del servicio tiene disponible solo baja tensión y el usuario requiere aumentar su tensión a media o alta tensión mediante la instalación de un transformador, el suministrador del servicio bonifica el 2% al usuario o se recurre a otro convenio para hacerse cargo de las perdidas del transformador.

4.8 CARGOS POR BAJO FACTOR DE POTENCIA

El término factor de potencia puede elevar el monto de la facturación de consumo y sus efectos se hacen sentir en otros aspectos en el sistema de distribución de energía eléctrica en toda planta o industria. El factor de potencia es un número que expresa una relación y puede explicarse de la manera siguiente:

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \qquad \text{ó} \qquad \text{kW} = \text{kVA} \times \text{FP}$$

De la fórmula anterior se desprende que para evitar cierta cantidad de potencia a un consumidor, la central tendrá que transmitir una corriente mayor hacia un sistema que tenga un factor de potencia bajo, que hacia otro cuyo factor de potencia sea más alto. El valor de la corriente adicional no es registrado por el watthorímetro del consumidor y por lo tanto representa una pérdida para la compañía suministradora. Esta condición exige también la instalación de cables más gruesos y los transformadores, generadores y otros equipos cuyas características se basan en su capacidad para producir corriente, tendrán que ser de mayor tamaño.

En atención a la necesidad de compensar el monto de la mayor inversión que se necesita para atender la demanda de cargas de factor de potencia bajo, las compañías de energía eléctrica han introducido la cláusula de factor de potencia para las facturas de consumo de energía. En esta cláusula se ofrece

una reducción o bonificación en las cuotas de consumo para cargas con factor de potencia alto, también imponen cuotas a manera de multa o penalizaciones si el factor de potencia es bajo. Pero el resultado real es que se aplican cargos extra cuando el factor de potencia esta por abajo del 90% en la mayoría de los casos.

4.9 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

Para la aplicación e interpretación de las tarifas se considera que:

- Baja tensión es el servicio que suministra en niveles de tensión menores o iguales a 1.0 kV.
- Media tensión es el servicio que suministra en niveles de tensión mayores a 1.0 kV, pero menores o igual a 35 kV.
- Alta tensión a nivel subtransmisión es el servicio que suministra a niveles de tensión mayores a 35 kV, pero menores a 230 kV.
- Alta tensión a nivel transmisión es el servicio que suministra a niveles de tensión iguales o mayores a 230 kV.

El suministro de energía eléctrica en el país se encuentra a cargo de la Comisión Federal de Electricidad y de Compañía de Luz y Fuerza del Centro. Ambas compañías tienen las mismas tarifas para la distribución de la energía, dichas tarifas se clasifican de la siguiente manera:

Tarifas específicas:

Domésticas 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F
Domésticas de alto consumo DAC
Servicios públicos 5, 5-A, 6
Agrícolas 9, 9M, 9-CU, 9-N
Temporal 7

Tarifas generales:

En baja tensión 2, 3
En media tensión O-M, H-M, H-MC
En alta tensión HS, HS-L, HT, HT-L
Servicio de respaldo HM-R, HM-RF, HM-RM, HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF, HT-RM

4.9.1 Tarifa 1 Servicio doméstico

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC), conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda.

Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

4.9.2 Tarifa 1A

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 25 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 25 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante

tres ó más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos ó más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.9.3 Tarifa 1B

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 28 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 28 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres ó más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos ó más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.9.4 Tarifa 1C

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de

30 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres ó más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos ó más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.9.5 Tarifa 1D

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 31 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 31 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres ó más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos ó más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.9.6 Tarifa 1E

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 32 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 32 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres ó más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos ó más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.9.7 Tarifa 1F

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 33 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 33 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los últimos cinco de que se disponga de la información

correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.9.8 Tarifa DAC 2006

Servicio doméstico de alto consumo: Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda, considerada de alto consumo o que por las características del servicio así se requiera.

Alto consumo: Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad.

Consumo mensual promedio: El consumo mensual promedio registrado por el usuario se determinará con el promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses.

Límite de alto consumo: El límite de alto consumo se define para cada localidad en función de la tarifa en la que se encuentre clasificada:

Tarifa 1: 250 kWh/mes.
Tarifa 1A: 300 kWh/mes.
Tarifa 1B: 400 kWh/mes.
Tarifa 1C: 850 kWh/mes.
Tarifa 1D: 1,000 kWh/mes.
Tarifa 1E: 2,000 kWh/mes.
Tarifa 1F: 2,500 kWh/mes.

Cuando el Consumo Mensual Promedio del usuario sea superior al Límite de Alto Consumo se le reclasificará a la Tarifa Doméstica de Alto Consumo.

4.9.9 Tarifa 5

Servicio para alumbrado público: Esta tarifa sólo se aplicará al suministro de energía eléctrica para el servicio a semáforos, alumbrado y alumbrado ornamental por temporadas, de calles, plazas, parques y jardines públicos.

4.9.10 Tarifa 5-A

Servicio para alumbrado público: Esta tarifa sólo se aplicará al suministro de energía eléctrica para el servicio a semáforos, alumbrado y alumbrado ornamental por temporadas, de calles, plazas, parques y jardines públicos en todo el país exceptuándose las circunscripciones para las cuales rige la tarifa 5.

4.9.11 Tarifa 6

Servicio para bombeo de aguas potables o negras, de servicio público: Esta tarifa se aplicará al suministro de energía eléctrica para servicio público de bombeo de aguas potables o negras.

4.9.12 Tarifa 9

Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión: Esta tarifa se aplicará exclusivamente a los servicios en baja tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.

4.9.13 Tarifa 9M

Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión: Esta tarifa se aplicará exclusivamente a los servicios en media tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.

4.9.14 Tarifa 9-N

Tarifa de estímulo nocturna para bombeo de agua para riego agrícola: Esta tarifa de estímulo nocturna se aplicará para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo, de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

4.9.15 Tarifa 7

Servicio temporal: Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía temporalmente a cualquier uso, exclusivamente donde y cuando la capacidad de las instalaciones del suministrador lo permitan y éste tenga líneas de distribución adecuadas para dar el servicio.

4.9.16 Tarifa 2

Servicio general hasta 25 kW de demanda: Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda hasta de 25 kilowatts, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa.

4.9.17 Tarifa 3

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

4.9.18 Tarifa OM

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

4.9.19 Tarifa H-M

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más. La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

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

4.9.20 Tarifa H-MC

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión en las regiones Baja California y Noroeste, con una demanda de 100 kilowatts o más, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

4.9.21 Tarifa H-S (2005 - 2006)

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel subtransmisión y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

4.9.22 Tarifa H-T (2005-2006)

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel transmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

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

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

Las demandas máximas medidas en los distintos periodos se determinarán mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente.

Cualquier fracción de kilowatt de demanda facturable se tomará como kilowatt completo.

4.9.23 Tarifa H-TL

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel subtransmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año

4.9.24 Tarifa HM-RF (2005 - 2006)

Esta tarifa se aplicará para el servicio de respaldo para falla a productores externos, suministrado en media tensión, con una demanda de 500 kilowatts o más, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio.

La demanda máxima medida se determinará diariamente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 (quince) minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica del consumidor sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 (quince) minutos. Cualquier fracción de kilowatt se tomará como kilowatt completo

Por cada día que se registre una demanda máxima medida mayor que el límite superior de la banda de tolerancia que se establezca en el contrato de suministro, se contará un día de utilización del servicio de respaldo.

Los días en que se utilice el servicio de respaldo se clasificarán en acumulables y no acumulables. Son no acumulables los primeros 31 (treinta y un) días de cada año natural que se utilice el servicio de respaldo, con excepción de que, cuando exista un periodo de respaldo de más de 10 (diez) días consecutivos, los posteriores al décimo serán acumulables. Todos los demás días en que se utilice el servicio de respaldo son acumulables.

CAPITULO 5. FALLAS ATRIBUIBLES AL CONSUMIDOR

El desarrollo de la tecnología ha logrado dispositivos que son muy sensibles a las variaciones de los parámetros en los que se mide la calidad de la energía eléctrica.

Podemos decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de tensión, proponiendo soluciones para corregir las fallas que se presentan en el sistema.

Existen diferentes perturbaciones en las redes eléctricas de distribución. Las más usuales son: fluctuaciones de tensión, sobre tensiones transitorias, interrupciones de energía, ruido eléctrico (interferencias) y distorsiones armónicas. El mantenimiento preventivo e instalaciones de equipos de protección y de control, son parte de las herramientas que pueden utilizarse para sostener una adecuada calidad de la energía eléctrica.

El problema de la calidad de la energía puede ser visto desde tres perspectivas diferentes:

- La primera de ellas es la que corresponde al lado de los consumidores después del medidor y es el impacto de los disturbios en los equipos.

- La segunda también del lado de los consumidores, es que los fabricantes de equipos deben conocer los niveles de éstos disturbios y la frecuencia con que ocurren, para así determinar una tolerancia razonable para sus equipos.

- La tercera que concierne a ambos lados del medidor, es cómo los disturbios ocasionados por un consumidor afectan a otros consumidores que están conectados a la misma red de suministro.

5.1 PROBLEMAS DETECTADOS FRECUENTEMENTE EN LA INDUSTRIA

Los problemas asociados a la calidad de la energía eléctrica no son necesariamente nuevos. Lo que es nuevo es que ahora los usuarios están más conscientes de las consecuencias de estos fenómenos y que las técnicas para su detección y corrección son más accesibles que en años pasados. Todos los sistemas eléctricos están expuestos a contingencias y diversos problemas causados por fenómenos naturales, accidentes o por la propia operación de la red, lo cual repercute en la calidad de la energía.

5.1.1 Reducción Súbita en la Tensión (Sags)

Puede ser causada por operaciones de maniobra asociadas con la desconexión temporal en la instalación, así como con la gran demanda de corriente asociada al arranque de motores grandes o al flujo de corrientes de falla.

Estos eventos pueden provenir de los sistemas de los clientes o de la compañía suministradora. Algunos elementos efectivos para minimizar los problemas generados por estas reducciones súbitas de tensión son los transformadores de aislamiento y las unidades ininterrumpibles de energía eléctrica.

5.1.2 Incrementos en la Tensión (Swells)

Generalmente acompañan a las caídas de tensión breves (sags), aparecen en las fases no falladas de un circuito trifásico que ha presentado un corto circuito monofásico. También aparecen cuando los sistemas rechazan carga.

Los incrementos en la tensión también pueden ocasionar trastornos en los controles y controladores de estado sólido de motores, particularmente en variadores de velocidad, los cuales pueden interrumpir su operación al accionarse la protección de sus circuitos electrónicos. También pueden someter a esfuerzos dieléctricos a los componentes de computadoras y acortar su vida útil. Para minimizar los efectos adversos producidos por este tipo de fenómenos se utilizan supresores de transitorios y UPS´s.

5.1.3 Los Transitorios

Son causados por descargas atmosféricas, así como por maniobras de interruptores y por oscilaciones comúnmente debidas a la conexión de bancos de capacitores. Las posibles soluciones para limitar estos problemas son: el uso de unidades ininterrumpibles de energía eléctrica (UPS), protectores electrónicos de Sags, transformadores de aislamiento y acondicionadores de la calidad de la energía eléctrica.

5.1.4 Los Desbalanceos

Describen una situación, en la cual las tensiones de una fuente trifásica no son idénticas en magnitud o el desplazamiento entre fases no es de 120 grados

eléctricos o ambas. Esto afecta a los motores y otros dispositivos que dependen del adecuado balanceo de la fuente de suministro.

Un medio para eliminar el desbalanceo en las instalaciones es realizar una nueva interconexión de todos los equipos de la instalación, de manera que las cargas monofásicas y trifásicas sean distribuidas de manera equitativa en la instalación.

Es recomendable realizar un análisis de las cargas para verificar que bajo las diferentes condiciones de operación no se presente un desbalanceo mayor al 5% entre la fase de mayor carga y la de menor carga.

5.1.5 Regulación de Tensión

Las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo. En México la regulación puede variar ±10% con respecto a la nominal, pero no es extraño encontrar variaciones de 12% y hasta 15% en algunos casos. En lámparas incandescentes, un aumento de 10% en la tensión provoca incremento de 21% en el consumo y 70% de reducción de vida.

Los problemas de tensión generados por la conexión y desconexión de grandes cargas, arranques de motores, o las condiciones de baja tensión de las distribuidoras de electricidad durante las horas pico del verano, normalmente pueden controlarse con reguladores de tensión.

5.2 EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LA INSTALACIÓN DEL USUARIO

Las armónicas de los sistemas de potencia son un problema de estado continuo con resultados potencialmente peligrosos. Las armónicas pueden presentarse en corriente, tensión o ambas y se pueden combinar con la frecuencia fundamental para crear distorsión. El nivel de distorsión está directamente relacionado a las frecuencias y amplitudes de las corrientes armónicas.

Las armónicas no se producen normalmente por un sistema eléctrico de potencia, pero sí en la mayoría de los casos por las cargas conectadas al mismo.

Algunas de las fuentes más comunes de armónicas son: convertidores estáticos, transformadores sobre-excitados, alumbrado fluorescente, motores eléctricos, dispositivos de estado sólido tales como computadoras, controladores de velocidad, etc. También generan armónicas las reactancias saturables, los equipos de soldadura y los hornos de arco.

Las principales consecuencias de estos fenómenos sobre las cargas son:

- Sobre los transformadores y generadores: El contenido armónico provoca un fenómeno de calentamiento considerable sobre el valor de la corriente rmc debido a la histéresis, las corrientes parásitas y el efecto piel.

- Sobre los motores: Produce un sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas de secuencia negativa (5ª armónica) y las corrientes parásitas.

- Sobre los conductores: Las armónicas provocan un sobrecalentamiento del conductor neutro por ello se debe a que las armónicas de secuencia cero se suman en el neutro en vez de cancelarse como sucedería con cargas lineales balanceadas.

- Sobre la barra de neutro: Se sobrecarga debido a las armónicas de secuencia cero, asimismo se producen fugas por el neutro ocasionadas por el sobrecalentamiento en caso de sobrecargas.

- Sobre el tablero de distribución: Calentamientos debido a corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos.

- Sobre los capacitores empleados para corregir el factor de potencia: Debido a que los capacitores puede ser la impedancia más baja de un sistema, las armónicas pueden quemar los fusibles.

- Sobre los dispositivos de protección contra sobre-corrientes: Los dispositivos de protección contra sobre-corrientes como fusibles y desconectadotes son afectados por el calentamiento debido al efecto piel en corrientes con alto contenido armónico.

- Sobre los dispositivos de protección: Estos se ven afectados por las armónicas provocando disparos en situaciones en las que no debiera producirse este fenómeno, ello se debe al calentamiento adicional en el tablero generado por las circulación de corriente de la 3ª armónica en le conductor neutro.

- Sobre los instrumentos de medición: Las armónicas pueden provocar errores en la medición de energía cuando se utilizan equipos de inducción.

Las armónicas pueden ocasionar que los discos corran más rápido o más lento para la misma corriente RMC. Si este medidor se utiliza para facturar el consumo el pago puede ser más alto o más bajo de lo que debiera.

- Sobre los equipos electrónicos: Al distorsionarse su forma de onda los equipos pueden sufrir fallas en su funcionamiento.

- Sobre los reguladores de tensión: Muchos de estos dispositivos de control emplean circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión o corriente, pero con un contenido elevado contenido de armónicas puede haber muchos cruces, lo que provocaría la inestabilidad en la velocidad y en el control de frecuencia.

- Entonces, un aspecto importante dentro del análisis de la calidad de la energía en la industria corresponde al concepto de distorsión armónica total. En los últimos años el uso cada vez mayor de cargas no lineales de uso común como computadoras, balastros electrónicos, variadores de velocidad y fuentes de poder ininterrumpibles (UPS), generan tensiones y corrientes armónicos que tienen efectos adversos en equipos que están diseñados para trabajar con cargas lineales, es decir que fueron diseñados para trabajar con una forma de onda senoidal pura de 60 Hz. Por lo anterior es necesario evaluar el impacto que tienen las corrientes y tensiones armónicas dentro de las instalaciones y equipos.

- Cuando la distorsión armónica en tensión es menor al 3% se considera que el nivel de distorsión es aceptable, aunque dependerá de las cargas que se están alimentando. Usualmente la señal de corriente puede tolerar más armónicas que la señal de tensión. Es recomendable mantener en

observación el comportamiento de las armónicas a lo largo del tiempo para plantear una solución adecuada y rentable cuando se requiera.

- Las cargas no lineales representan para la red eléctrica corrientes armónicas las cuales generalmente fluirán hacia la empresa suministradora debido a que la impedancia de la fuente es baja. El fenómeno de la distorsión armónica es un problema actual que debe preocupar no solo a los usuarios de la energía sino también a las empresas suministradoras.

- Se denominan armónicas a las ondas de tensión o de corriente cuyas frecuencias son varias veces mayor que la frecuencia fundamental de la red. Generalmente se presentan simultáneamente varias ondas de diferentes frecuencias, que modifican o distorsionan la señal inicial.

5.2.1 Efecto de las Armónicas en los Conductores

La presencia de corriente armónicas incrementa el Valor Medio Cuadrático de la Corriente, lo que provoca más pérdidas y sobrecalentamiento. Además, la corriente alterna tiende a fluir hacia la superficie externa de un conductor (efecto piel), efecto que es más pronunciado a altas frecuencias, lo que ocasiona pérdidas adicionales y sobrecalentamiento.

Los interruptores automáticos termomagnéticos comunes, los cuales usan un mecanismo de activación que responde al efecto de calentamiento por la corriente del circuito, pueden activarse debido al sobrecalentamiento causado por las armónicas.

El uso de conductores eléctricos y barras de mayor dimensión y tamaño reducen las pérdidas y activaciones causadas por las armónicas; es útil separar las cargas

lineales de las no lineales causantes de armónicas y reemplazar los tableros e interruptores automáticos donde sea necesario.

5.2.2 Efecto de las Armónicas en un Conductor Neutro

En el caso de circuitos trifásicos con cargas no lineales, las armónicas de orden impar (3ª, 9ª, 15ª, etc.) no se cancelan sino que se suman en el conductor neutro, por lo que la corriente por éste puede ser mayor que la corriente de fase. El peligro consiste en un excesivo sobrecalentamiento del cable neutro, además de presentar caídas de tensión entre el neutro y la tierra, mayores de lo normal.

Es recomendable que el tamaño del conductor neutro sea del doble que el conductor de fase cuando los circuitos alimentan cargas no lineales.

Opcionalmente debe proveerse un conductor neutro aparte para cada fase. Otra alternativa para bloquear el flujo de armónicas que tienden a circular por el neutro es utilizar transformadores con conexión delta - estrella.

5.2.3 Efecto de las Armónicas en Capacitores

Los capacitores para corrección de factor de potencia se sobrecargan debido a que las corrientes armónicas fluyen hacia la ruta de baja impedancia de los capacitores en lugar de regresar al transformador de distribución. Además, cuando los capacitores y las inductancias del sistema de distribución de potencia forman un circuito paralelo resonante que tiene una frecuencia de resonancia cercana a una armónica de carga significativa presente, la corriente armónica resultante puede incrementarse sustancialmente sobrecargando los capacitores, haciendo volar sus fusibles.

Se puede evitar la resonancia añadiendo una inductancia en serie con el condensador para desintonizar la frecuencia de resonancia del sistema o alternativamente instalar una red de corrección con kVAR diseñada especialmente.

5.3 SISTEMAS INVOLUCRADOS CON LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

El desarrollo de la tecnología en los últimos 20 años, ha logrado dispositivos que son muy sensibles a las variaciones de los parámetros en los que se mide la calidad de la energía. Debido a que estos equipos a menudo suelen utilizarse en complejos sistemas de control en procesos de manufactura, el cliente necesita saber que tan sensible es su equipo a las variaciones de la calidad de la energía y a quién acudir para la identificación de problemas.

5.3.1 Sistema de Tierra

Todos los sistemas de distribución eléctrica deben estar apropiadamente conectados a tierra para asegurar la seguridad del sistema. Otro beneficio importante de una conexión correcta a tierra es una operación confiable de los equipos electrónicos.

Puede ser fácil establecer la relación entre la conexión a tierra y la protección contra picos. La conexión a tierra del sistema ofrece una ruta que puede seguir el pico, evitando daños al sistema. Si la conexión a tierra no es sólida, la protección contra picos no funcionará apropiadamente.

La función del sistema de protección contra descargas atmosféricas es ofrecer un camino a la corriente generada por el rayo a través de la instalación hacia la conexión a tierra. Esto se efectúa proporcionando al rayo una ruta de baja impedancia hacia la tierra, minimizando las rutas alternas a través de otros elementos (equipo electrónico costoso, por ejemplo). Si la conexión a tierra es insatisfactoria o inoperante, la corriente generada por el rayo puede seguir una ruta mucho más dañina a través de la instalación, causando daño a equipo y/o lesión al personal.

Aproximadamente el 80% de los problemas de calidad de la energía se relacionan con problemas de conexión a tierra.

La eficacia de la conexión a tierra se relaciona también directamente con la resistencia en el sistema. Entre menor es la resistencia de conexión a tierra, más eficaz será dicha conexión a tierra.

Puesto que la conexión a tierra es tan vital para la seguridad de un sistema de distribución de energía eléctrica, debe ser revisada y probada regularmente.

Cuando es defectuoso acarrea muchos problemas, incluyendo los de seguridad y eficiencia. Interfiere en el funcionamiento correcto del equipo de protección, en el encendido confiable de lámparas fluorescentes, en los equipos de cómputo y en los dispositivos de estado sólido en general (como balastros electrónicos y sensores de presencia, etc).

5.3.2 Seccionamiento Deficiente de Circuitos

Es común encontrar áreas muy grandes con un número muy reducido de circuitos. Esto provoca una falta de control sobre la iluminación de áreas específicas, con el consiguiente desperdicio de energía.

5.3.3 Sistema de Iluminación

Existe una enorme diversidad de luminarios para lámparas fluorescentes que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad. Los principales problemas detectados son: mal ensamblaje, pintura de mala calidad (baja reflectancia, reducido espesor y mala adherencia) dimensiones irregulares, difusores de material rápidamente degradable por la radiación ultravioleta (UV), lámina de menor calibre al requerido, diseño óptico ineficiente e información fotométrica casi siempre inexistente. El espesor de la lámina es determinante para que la rigidez del luminario evite amplificar el ruido producido por el balastro y para que se asegure un buen contacto entre los portalámparas y las bases. Si no existe información fotométrica completa y confiable, es imposible garantizar el nivel de iluminancia, las relaciones de uniformidad, el índice de probabilidad de confort visual (IPCV), el factor de eficacia de luminario (FEF) y mucho menos la eficiencia.

Instalación defectuosa de luminarios. La instalación defectuosa contribuye a producir ruido, incertidumbre en el arranque y calentamiento anormal de lámparas y balastros. Luminarios mal instalados tienden a amplificar el ruido producido normalmente por el balastro. La falta de aterrizamiento interfiere en el encendido de las lámparas de encendido rápido. Un luminario con diseño térmico defectuoso o con montaje que no permita un buen enfriamiento, provoca que el balastro trabaje a temperatura mayor con el aumento de pérdidas ya comentado, haciendo

que las lámparas reduzcan su eficacia al rebasar su punto de óptima temperatura de trabajo.

5.3.4 Sistema De Adecuación de la Tensión

Es una máquina eléctrica que se caracteriza por ser un dispositivo estático de tipo

electromagnético, que tiene dos o más devanados acoplados por un campo magnético mutuo, canalizado a través del núcleo y que se usa para convertir uno o varios sistemas de corriente alterna en otro(s) de corriente alterna de tensión diferente. La aplicación de los transformadores, permite elevar o bajar la tensión, variar el número de fases y en algunos casos, incluso variar la frecuencia de la corriente alterna.

Debido a la construcción interna del transformador, se tienen varios tipos de pérdidas de las cuales, las más importantes son las pérdidas debidas al hierro del núcleo y al cobre de los conductores en los devanados, por lo tanto, las no sobrecargas, limpiezas periódicas, el balance de cargas y el control de temperaturas, son algunas recomendaciones básicas para el buen funcionamiento de éstos equipos.

Transformadores sobredimensionados. Esto provoca que se trabaje con bajo factor de potencia y baja eficiencia. El rango óptimo de carga para transformadores es variable, pero generalmente se encuentra entre 50% y 70% de plena carga. Se han encontrado instalaciones con 2 transformadores idénticos trabajando cada uno en promedio a menos de 25% de su carga nominal.

Transformadores permanentemente conectados. En ciertas instalaciones el consumo a determinadas horas cae casi a cero, haciendo que el transformador

trabaje prácticamente en vacío. En estas condiciones la eficiencia es cero y el factor de potencia es bajísimo.

Transformadores de Aislamiento. La función básica de los transformadores es la de cambiar o ajustar los niveles de tensión. Actualmente se les ha asignado otras 2 funciones que consisten en:

- Proporcionar un separador para la fuente de potencia
- Permitir el aislamiento de las terceras Armónicas

Los transformadores con Blindaje de Aislamiento no proveen protección contra anomalías de tensión como Baja-tensiones o Sobre-tensiones. En efecto, debido a las características de estos transformadores, las variaciones de tensión ocurridas en el devanado primario inducen corrientes en el devanado secundario del transformador.

Adicionalmente por la naturaleza propia de los transformadores se pueden generar transitorios. Por ello, los transformadores con blindaje de aislamiento de alta calidad vienen acompañados de supresores de transitorios de tensión, que pueden superar ciertos tipos de anomalías en la alimentación. La resolución de problemas creados por múltiples caminos de corrientes en el circuito de tierra son ejemplos del uso efectivo de esta combinación.

Transformadores estrella - delta. Permiten retener en ese punto de la instalación los Armónicos 3ª, 9ª y múltiplos de tres, los que solo pueden circular desde la carga hasta el transformador. También permiten liberar al neutro de la fuente de las corrientes armónicas, que pueden ser muy importantes, evitando el recalentamiento del mismo.

Las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo. Los problemas de tensión generados por la conexión y desconexión de grandes cargas, arranques de motores, o las condiciones de baja tensión de las distribuidoras de electricidad durante las horas pico, normalmente pueden controlarse con reguladores de tensión. La función de los mismos es la de mantener constante la tensión para una carga determinada, bajo condiciones anormales de la tensión de alimentación.

Emplear más de un regulador en el mismo sistema eléctrico (en serie) puede provocar problemas de inestabilidad. Estos problemas dependen del tiempo de respuesta y de la sensibilidad del regulador. La alimentación de los equipos microprocesados requiere de un valor límite para regular la capacidad de las cargas, regulaciones adicionales pueden ser o no necesarias.

Los circuitos empleados en los reguladores de tensión son vulnerables a los daños producidos por los picos de tensión, por lo que deben estar adecuadamente protegidos por supresores de transitorios.

Antes de seleccionar el dispositivo regulación de tensión, es imperativo que los ingenieros conozcan la configuración del sistema eléctrico, la naturaleza de los problemas a corregir, las tolerancias admisibles, así como los pasos en los cambios de tensión a considerar.

Los Reguladores mantienen constante la tensión de salida a las cargas aún con variaciones importantes en la tensión de entrada. Existen varios tipos, cada uno con ventajas y desventajas en su operación, los principales son:

- Los Transformadores Ferroresonantes, que pueden separar las tensiones de entrada y salida y permiten tanto la transformación de tensiones como el

aislamiento de ruidos. Tienen excelente regulación, pero admiten una capacidad de sobrecarga limitada, tienen una eficiencia pobre a cargas bajas y pueden interactuar con formas de onda no lineales.

- Los Reguladores Magnéticos de Tensión, que constituyen un tipo especial de autotransformador.

5.3.5 Sistema de Fuerza

En la industria cerca de un 73% de la energía consumida es debido a la operación de motores eléctricos. Disminuir el monto de la factura eléctrica por este concepto significa vigilar el trabajo eficiente de los motores eléctricos mediante recomendaciones de ahorro energético o la instalación de motores de alta eficiencia, unido a una buena instalación eléctrica y mecánica, al uso de sistemas de control, la optimización de la carga y un correcto dimensionamiento de la máquina eléctrica.

De acuerdo a su importancia, es evidente el gran impacto que tienen los motores eléctricos en el consumo y calidad de la energía, por tanto, resalta la conveniencia de identificar y evaluar las características de operación de estos equipos. Para lograrlo, es necesario conocer inicialmente las condiciones de operación actual de los motores, como son: su tensión, corriente, índice de carga, factor de potencia, etc., además de su antigüedad, el número y tipo de reparaciones que ha experimentado y por supuesto la eficiencia actual; para lograr que un motor opere con buena eficiencia energética es necesario investigar los sistemas alternativos como son motores de alta eficiencia, convertidores de frecuencia y controladores de operación entre otros.

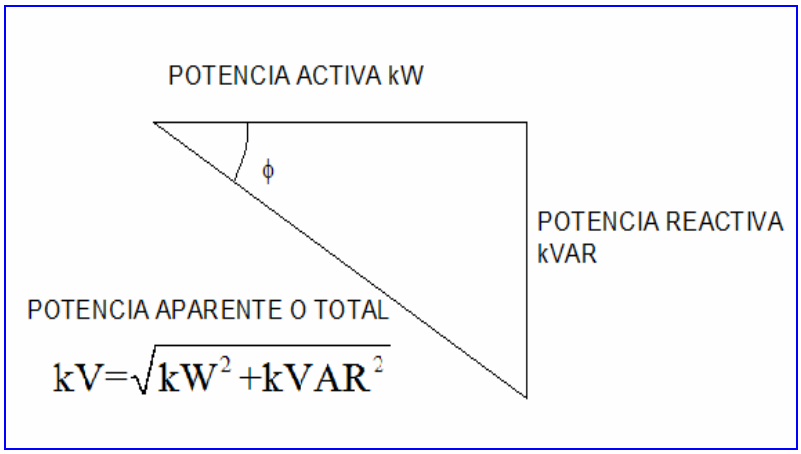
Los motores eléctricos y transformadores son equipos formados por la combinación de resistencia e inductancia, por tanto, el consumo es de potencia activa (P) y de potencia reactiva inductiva (Q_L), estos a su vez determinan la potencia aparente, la cual es la base para el dimensionamiento de los alimentadores y cableados.

Al utilizar cualquier equipo eléctrico, la potencia (o energía) real o activa es la que en el proceso de transformación se puede aprovechar como trabajo (lumínico, mecánico, calorífico, etc.) haciendo que está sea productiva y utilizable.

La energía y la potencia reactiva a pesar de ser necesaria para magnetizar motores, transformadores y otras cargas inductivas, no produce ningún trabajo útil y se mide en Volts-Amperes Reactivos (VAR).

El estudio y aplicación de las tres potencias se realiza mediante el triángulo de potencias que se muestra en la siguiente figura:

Triángulo de potencias y corrientes.



Por definición, el factor de potencia (F. P.) indica la cantidad de energía total que se ha convertido en trabajo, dado por la relación:

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} = \text{COS } \phi$$

El valor ideal del factor de potencia es la unidad, ya que implica que no existen pérdidas o que toda la energía consumida ha sido transformada en trabajo. A medida que el ángulo es menor, se reduce la potencia reactiva hasta alcanzar un punto en que dicho ángulo es cero grados, la potencia reactiva será igual cero. Tal situación permite que toda la energía manejada se convierta íntegramente en trabajo productiva.

La carga de una instalación está constituida por equipos eléctricos fabricados a base de bobinas, por esta razón es normal encontrar que predomine la carga inductiva sobre la capacitiva, es decir, generalmente la corriente está atrasada con respecto a la tensión, por lo que es más común escuchar hablar del factor de potencia atrasado.

El factor de potencia al que trabajan las máquinas de corriente alterna tiene importancia económica debido al costo implícito de la potencia reactiva; un factor de potencia bajo afecta desfavorablemente de 3 formas distintas al sistema:

- En primer lugar, los generadores, transformadores y equipos de transmisión se dimensionan en función de los kVA en lugar de hacerlo en función de los kW, ya que el calentamiento y las pérdidas dependen principalmente de la tensión y corriente independientemente de la potencia. Las dimensiones físicas y el costo de los aparatos de corriente alterna es aproximadamente proporcional a sus kVA nominales; las inversiones en generadores,

transformadores y demás equipos necesarios para suministrar una potencia dada son inversamente proporcionales al factor de potencia.

- En segundo lugar, un factor de potencia bajo representa una mayor corriente, con el consiguiente incremento de pérdidas en el cobre de las máquinas, cables y equipos. Si el factor de potencia es inferior al límite establecido implica que los equipos consumen energía reactiva y por tanto se incrementa la corriente eléctrica total que circula en las instalaciones del consumidor y de la compañía suministradora. Los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas.

- Y por último, el tercer inconveniente es la dificultad de regular la tensión con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos.

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a lo establecido por las compañías suministradoras presentan las siguientes consecuencias en la medida que éste disminuye, además afecta a la red eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión:

- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.- El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil, debido a que estos equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se deben operar sin que éste se rebase.

- Aumento de la caída de tensión.- Resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una

reducción en su potencia de salida. Esta caída de tensión afecta a los embobinados de los transformadores de distribución, los cables de alimentación y los sistemas de protección y control.

- Aumento de las pérdidas por efecto Joule, las cuales están en función del cuadrado de la corriente, estas pérdidas se manifestarán en: Los cables entre medidor y el usuario, los embobinados de los transformadores de distribución y en dispositivos de operación y protección.

- Incremento de la potencia aparente.- Con lo que se reduce la capacidad de carga instalada en KVA en los transformadores de distribución.

- Incremento en la facturación eléctrica.- Ya que un bajo factor de potencia implica pérdidas que afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

En México las compañías suministradoras de energía eléctrica han establecido que el valor del factor de potencia mínimo aceptable debe ser de 90%. En el caso de que los usuarios demanden la potencia eléctrica con un factor de potencia menor al 90% se hacen acreedores a sanción económica que deben pagar en su factura eléctrica

Las instalaciones eléctricas cuya carga esta compuesta principalmente por motores de inducción tienen un factor atrasado, por esta razón resulta necesario compensar la carga inductiva con carga capacitiva, además de realizar modificaciones o acciones para que los motores operen en condiciones de carga adecuadas (75 - 100%) para mejorar el factor de carga del mismo y de la instalación total.

La solución sencilla es la colocación de bancos de capacitores que proporcionan los KVA's reactivos necesarios para que le factor de potencia esté por encima de lo estipulado en el contrato de suministro. De hecho, las empresas suministradoras de energía eléctrica utilizan este sistema para compensar el factor de potencia de su red de transmisión y distribución.

5.3.6 Sistema de Distribución

En algunos tableros la falta de mantenimiento provoca malos aprietes que se convierten en puntos calientes y desperdicio de energía. También es común encontrar que la conducción de los cables y la corriente nominal de los interruptores no concuerda, provocando altas temperaturas generadoras de mayores pérdidas y reducción de vida de los aislamientos. Otro problema es encontrar circuitos compartidos para sistemas de fuerza y alumbrado. Esto dificulta o imposibilita incluso el control y el monitoreo de parámetros relevantes para auditoría y control de energía.

5.3.7 Sistemas de Emergencia

Los sistemas de emergencia tienen la finalidad de proporcionar energía eléctrica en situaciones consideradas como críticas en cierto tipo de instalaciones y para algunos equipos u aparatos, los cuales se definen como una fuente de reserva independiente que proporciona energía eléctrica de aceptable calidad y cantidad, de tal suerte que las instalaciones de las industrias puedan continuar con una operación satisfactoria.

Las empresas suministradoras proveen la energía eléctrica, la cual puede contener deficiencias y en consecuencia se ha desarrollado una familia de equipos denominados genéricamente "equipos de emergencia", los cuales permiten el

continuo funcionamiento de los equipos y/o cargas cuando existe una falla eléctrica.

Es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros en la realización de los diseños de un sistema eléctrico como son: la duración de la operación, la potencia requerida, la confiabilidad y el tiempo para transferir de la fuente normal a la fuente alternativa. Una clasificación que depende de la fuente de potencia eléctrica es:

- **Baterías**

Dependen de un cargador automático, una batería y una barra (bus) de corriente directa de emergencia, este tipo de sistemas debe ser capaz de mantener la carga total por un periodo mínimo de hora y media. Principalmente es utilizable para respaldar el alumbrado, sistemas de comunicación, etc.

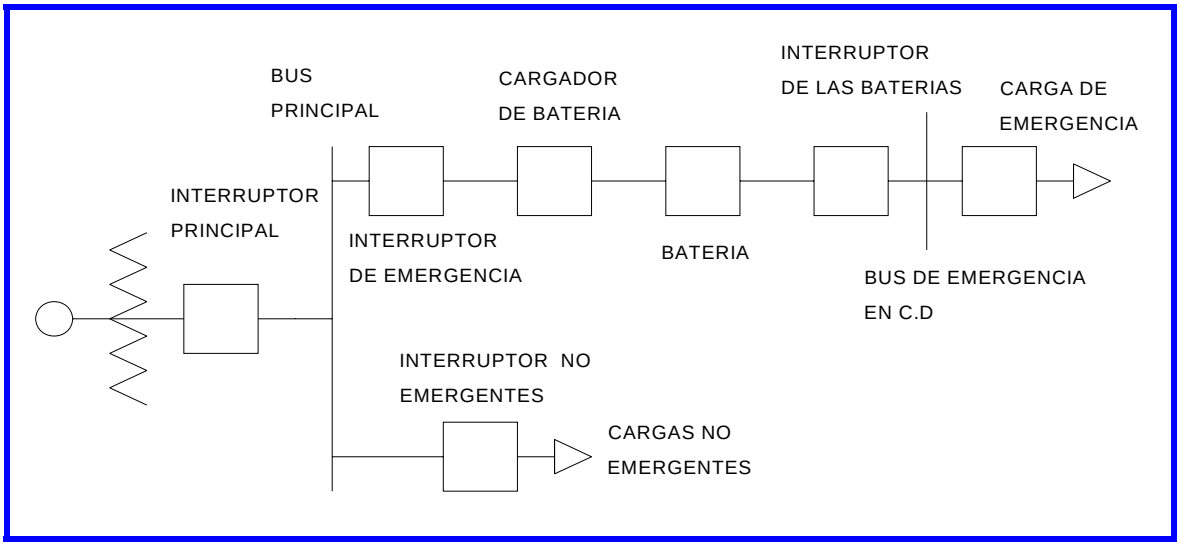


Diagrama Unifilar

- **Plantas de Emergencia.**

Está conformado por un motor diesel o gasolina, así mismo puede tener eventualmente un turbina de gas acoplada a un generador de corriente alterna y a sus controles. Representa la forma ideal de fuente de alimentación, sin embargo tiene ciertas desventajas, requiere de una cimentación para soportar su peso, un sistema de almacenamiento y suministro de combustible, un sistema de escape de gases, un sistema de ventilación, controles e interruptor.

Las plantas de emergencia se clasifican en 3 tipos:

- Con motor de gasolina: Su capacidad va de varios cientos de watts hasta alrededor de 100 kW, cuyo motor debe operar a 3600 RPM y su conexión directa a 60 Hz.

- Con motor diesel: Su capacidad va de varios cientos de kW hasta unos 10 000 kW, alcanza velocidades desde 600 hasta 1800 RPM operando por largos períodos de tiempo, su costo y peso es superior a los de motor de gasolina, sin embargo es el más vendido en el mercado. Requieren de aproximadamente 10 segundos para alcanzar su velocidad plena.

- Con turbina de gas: Están disponibles en potencias de hasta 10 000 kW, operan a muy altas velocidades, son compactos, de bajo peso y requieren de aproximadamente 120 segundos para alcanzar su plena carga a velocidad nominal.

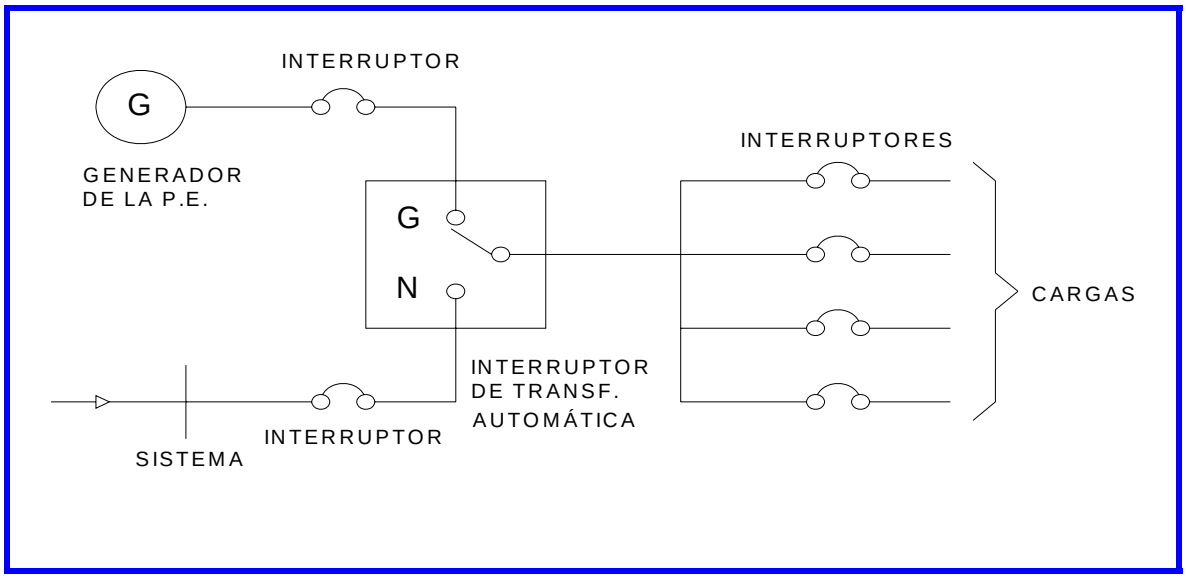


Diagrama Unifilar

- **UPS (Unidad de Energía Ininterrumpible)**

Su función es mantener constante la alimentación de energía a una carga o bien un grupo de cargas a la vez. Proveen un filtro y un acondicionamiento necesario para asegurar la calidad de la energía requerida por los equipos electrónicos sensibles, así mismo, sirven de fuente de alimentación en caso de salidas de servicio de la alimentación principal.

Constan de las siguientes partes:

- Rectificador de Corriente Alterna en Continua
- Un bus de corriente continua con una batería flotante
- Un inversor de Corriente Continua a Alterna
- Un switch de by-pass de estado sólido

Las UPS estáticas se fabrican desde unos pocos cientos de VA para la protección de cargas individuales hasta 750 kVA a una frecuencia de 60 Hz, para proteger instalaciones enteras. Cargas mayores se atienden mediante el empleo de unidades en paralelo y con frecuencia la UPS opera de forma combinada con las plantas de emergencia.

El módulo cuenta con un by-pass que transfiere la carga de emergencia a la fuente normal de forma automática cuando la UPS falla, o bien para mantenimiento. El switch estático de alta velocidad cierra primero, seguido del cierre del puente del interruptor y abriendo el interruptor de salida. La UPS opera para alimentar la carga de emergencia en forma continua, no opera en el modo de puente o standby.

La popularidad de los dispositivos de estado sólido ha crecido dramáticamente en las últimas décadas. Esto es cierto en el caso de todos los segmentos del mercado: consumidores, comercial e industrial. De hecho, aproximadamente la mitad de la energía eléctrica generada a escala mundial pasa a través de un dispositivo de este tipo.

Los microprocesadores se basan en señales digitales que son secuencias rápidas de conexión/desconexión, si las secuencias son distorsionadas, las señales pueden ser afectadas y el desempeño puede verse aminorado o hasta nulo. En el caso de un pico de Tensión mayor (100V-20kV), los dispositivos pueden ser dañados o destruidos, lo que resulta que el reemplazo de equipos sea costoso.

Puesto que es imposible evitar la penetración de los picos de tensión en un edificio, se utiliza la protección contra picos.

La función del protector contra picos es detener (o por lo menos limitar) los efectos de una mala Calidad de la Energía que afectan los dispositivos electrónicos de estado sólido. La protección contra picos es una solución económica para evitar el tiempo perdido y el daño al equipo.

Filtros de ruidos, son unidades que se conectan a las redes de computadoras, permiten el paso de la frecuencia de alimentación, pero presentan una elevada impedancia que bloquea o atenúa los ruidos o señales desconocidas, usualmente de alta frecuencia. Los filtros suelen estar combinados con supresores de transitorios o con otros dispositivos de acondicionamiento de líneas.

5.4 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE UN SISTEMA

La realización de los estudios de la Calidad de la Energía requiere de un análisis en el lugar que arroja los resultados de las mediciones y emite procedimientos para la prevención, identificación y resolución de estos problemas en los sistemas de potencia. Esto gracias a la tecnología y al software disponible actualmente para el monitoreo de la Calidad de la Energía que nos provee de las siguientes ventajas:

- Reducción de riesgo
- Reducción de esfuerzos de ingeniería
- Mayor eficiencia en los procesos

Los tipos de instrumentos habitualmente empleados son:

- **Multímetro**

Sirve para verificaciones rápidas de los niveles de tensión y/o corriente dentro de una instalación, así mismo, puede detectar la sobrecarga de circuitos, problemas de baja y sobre tensión y desbalances entre circuitos. Las señales que detecta son:

1. Tensión entre fase y tierra
2. Tensión de fase a neutro
3. Tensión de neutro a tierra
4. Tensión de fase a fase
5. Corrientes de fase
6. Corrientes de neutro

- **Osciloscopio**

Permite visualizar en tiempo real, ya que al observar la forma de onda de tensión y corriente, se puede intuir lo que está sucediendo, aún sin realizar un análisis detallado de la forma de onda. Se pueden ver las magnitudes de tensión y corriente y las distorsiones obvias detectando las variaciones en las señales. Existen una gran variedad de modelos entre los que se puede optar, sin embargo los osciloscopios más útiles son los digitales con velocidad de muestreo muy alta, debido a que la forma de onda se puede almacenar y analizar.

- **Analizadores de Perturbaciones**

Los Perturbógrafos (Analizadores de Perturbaciones) son instrumentos desarrollados específicamente para la medición de la Calidad de la Energía, permiten medir una amplia variedad de perturbaciones en el sistema desde transitorios de tensión de muy corta duración hasta fluctuaciones o interrupciones de suministro, el cual puede configurar los registros de disturbios por un período de tiempo determinado.

La información generalmente se registra en papel, pero muchos dispositivos permiten también guardar los datos en memoria, de tal suerte que el software permite emitir un informe de lo sucedido en la línea a través del análisis de dichos eventos.

- **Analizador de Armónicas**

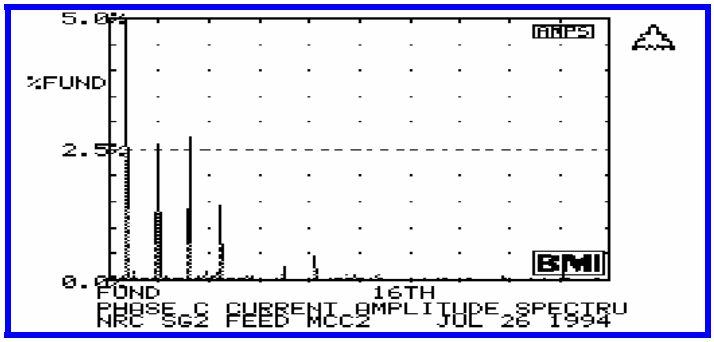
Estos son analizadores más potentes ya que incluyen un módulo que permite calcular rápidamente las Transformadas de Fourier para determinar el menor orden de Armónicas. Es por ello, que las mediciones de Armónicas requieren de instrumentos diseñados para el análisis espectral, los cuales requieren de:

1. La capacidad necesaria para medir en forma simultánea la tensión, la corriente y el contenido de Armónicas o espectral.
2. La capacidad para medir el ángulo de fase de cada componente Armónica individual, así mismo es requerida para el cálculo de potencia.
3. La capacidad de sincronización y alta velocidad de muestreo para la adecuada medición de componentes.
4. La capacidad de detección, de acuerdo a la naturaleza estadística de los niveles de distorsión Armónica. De tal manera que debe considerar los cambios en los niveles de Armónicas, así como las condiciones de carga y/o del sistema.

Los requerimientos mínimos para los analizadores de Armónicas son:

1. La posibilidad de medir simultáneamente la tensión como la corriente así mismo el contenido de Armónicas o espectral.
2. El muestreo de la onda en forma sincronizada con la frecuencia fundamental, lo que permitirá el cálculo adecuado de los ángulos Armónicos de fase.
3. La velocidad de muestreo necesaria para determinar hasta la Armónica 51 o superior.
4. Alta resolución en la conversión analógica - digital.

5. Representaciones adecuadas. Las mediciones obtenidas en un período de tiempo deben ser realizadas por una muestra estadística de sus componentes Armónicas y por la distorsión total determinada.



- **Instrumentos Combinados (Analizadores de Redes)**

En la actualidad los instrumentos utilizados en los estudios de la Calidad de la Energía combinan el muestreo de Armónicas y el monitoreo de las funciones de energía permitiendo el análisis de todas las fuentes de disturbios. Debido a la tecnología se observa el resultado en forma gráfica y los datos pueden ser monitoreados en forma remota mediante líneas telefónicas comunicadas a una base de datos centralizada, con los cuales se realizará el análisis estadístico, en conclusión los instrumentos combinados permite realizar un diagnóstico eficaz de las instalaciones permitiendo la medición de:

1. La distorsión armónica Total ó THD.
2. Nos indican el ángulo de fase de los diferentes armónicos.
3. Factor de potencia por fases.
4. Corriente por fase: I1, I2, I3 y se calcula la corriente trifasica I1-2-3.
5. Tensión entre fases: V1-2, V1-3, V2-3 y se calcula la tensión trifásica V1-2-3

6. Factor de potencia trifásico (F.P. trifásico).
7. Aportación de armónicas en corriente y tensión (espectro de armónicas)
8. Potencia Eléctrica Activa Total o trifásica (kW totales)
9. Potencia Eléctrica Reactiva Total o trifásica (kVAR).
10. Potencia Eléctrica Aparente Total o trifásica (kVA).

Estos instrumentos realizan una medición continua en tensión y en corriente ciclo a ciclo durante un periodo de tiempo determinado, lo que permite obtener la hora y fecha de los eventos, lo cual se requiere para aquellos problemas donde se demanda el registro en tiempo de las posibles fallas

Además registran en memoria (y/o impresora) estos parámetros en sistemas monofásicos y/o trifásicos. La programación puede realizarse para que los registros se realicen cada minuto, 5 minutos, 15 minutos durante un periodo de 24 horas, 48 horas, 72 horas, etc., e inclusive algunos de estos equipos pueden registrar cada 125 milisegundos esto es de gran utilidad para determinar el comportamiento en el arranque de algún equipo en particular.

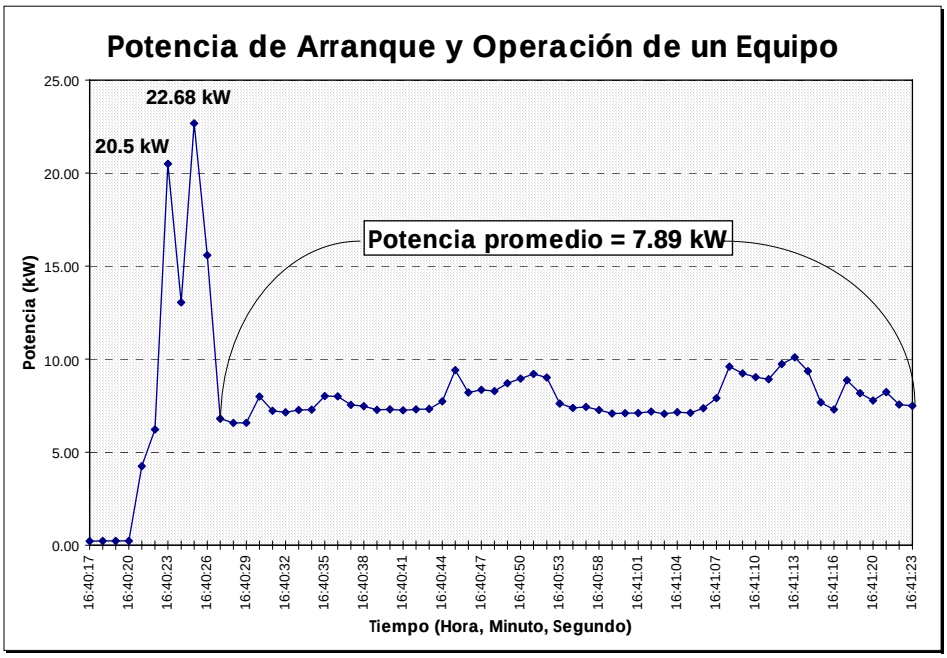
Los analizadores de redes son una herramienta de medición muy importante para el análisis de la energía eléctrica, tal como en los siguientes puntos:

1. Analizar como es usada la energía y el costo que esta representa
2. Análisis de la demanda máxima
3. Análisis de la calidad de la energía
4. Análisis de armónicas
5. Problemas de distribución y equipos eléctricos
6. Índice de carga de transformadores
7. Análisis de motores eléctricos

Para la localización de fallas, antes de que éstas se vuelvan costosas o perjudiciales, los problemas de difícil localización, la causa de transformador sobrecalentado, un conductor neutro sobrecargado, un tablero eléctrico vibrante. El analizador de redes es idóneo para el análisis y la optimización del rendimiento de los sistemas de potencia.

A continuación, se presenta una gráfica con el registro del arranque de un equipo y su operación típica.

Figura, Medición de Arranque de un Motor de Inducción



6. NORMAS

Las normas son especificaciones, características y métodos de prueba que sanciona los organismos especializados que rigen las diferentes áreas de la Ingeniería. La normalización abarca tres niveles:

- Nivel Industria. Son formuladas por organizaciones de productores, técnicos, usuarios, educación y comercio con el fin de homologar la calidad y la seguridad de los productos.

- Nivel nacional. Son formuladas por los países (generalmente por los desarrollados industrialmente), con el fin de homologar la calidad entre los diferentes productores y seguridad mediante representantes de las ramas de la industria y comercio.

- Nivel Internacional. Las cuales rigen a las dos anteriores, permitiendo reglamentar las transacciones técnicas entre los países productores.

Los organismos de normalización suelen estar formados por un consejo directivo, un comité ejecutivo, los comités y subcomités técnicos. La normalización se apoya en la ciencia, la técnica y la experiencia.

Entre las normas se encuentran la DIN (Alemana – DEUTSCHE INDUSTRIE NORM), ANSI (Americanas – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE), NOM (Mexicanas – NORMA OFICIAL MEXICANA), CEI (COMISIÓN ELECTROMECÁNICA INTERNACIONAL), UL (americana), etc.

6.1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2005, INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN) [1]

La norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2005 que corresponde a la utilización de la energía eléctrica en las instalaciones, fue aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas (CCNNIE), con el apoyo de la Dirección General de Distribución y Abastecimientos de Energía Eléctrica y la coordinación de la Asociación de Normalización y Certificación A.C. (ANCE).

6.1.1 Objetivo

Satisfacer los lineamientos técnicos de las instalaciones eléctricas, permitiendo la seguridad de las personas o bienes, contra los choques eléctricos, los efectos térmicos, sobrecorrientes, las corrientes de falla y sobretensiones.

6.1.2 Campo de aplicación

Abarca a todas aquellas instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en la industria, el comercio, hospitales, casas residenciales o de vivienda, casas móviles, construcciones flotantes, ferias, circos, sistemas de emergencia, subestaciones, líneas aéreas de energía eléctrica, centrales eléctricas para la cogeneración y autoabastecimiento, instalaciones eléctricas de los barcos, del transporte eléctrico, aeronaves, minas, etc.

- Protección contra las corrientes de falla. Aquellos conductores que no sean vivos y en general las partes diseñadas para conducir una corriente de falla no deben alcanzar la máxima temperatura permisible.

- Protección contra sobretensiones. Es muy importante proteger a las personas, animales y bienes de aquellas lesiones a consecuencia de

una tensión, falla en la operación de un equipo de interrupción y fallas entre partes vivas de circuitos alimentados a tensiones diferentes.

- Planeación de las instalaciones eléctricas. Los factores que influyen en la planeación son: la protección de personas, animales, los bienes así como el funcionamiento correcto de la instalación eléctrica en general.
- Dispositivos de protección. Las características en los equipos de protección, deben determinarse con respecto a su función, la cual puede ser por ejemplo, la protección contra los efectos de:

    1. Sobrecorriente (sobrecargas, cortocircuito).
    2. Corriente de falla a tierra.
    3. Sobretensiones.
    4. Bajas tensiones y ausencia de tensión.

- Características (Selección del equipo eléctrico). Cada equipo eléctrico seleccionado debe corresponder a las condiciones y características prevista para la instalación eléctrica, éstas deben en particular cumplir con los requisitos siguientes, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002:

    1. Tensión
    2. Corriente eléctrica
    3. Frecuencia
    4. Potencia
    5. Condiciones de instalación
    6. Prevención de los efectos nocivos
    7. Construcción y prueba inicial de las instalaciones eléctricas

- Tensiones eléctricas. Las tensiones eléctricas consideradas deben ser aquellas a las que funcionan los circuitos. La tensión eléctrica nominal

de un equipo eléctrico no debe ser inferior a la tensión eléctrica real del circuito al que está conectado.

A continuación se mencionan de tensiones normalizadas de un sistema: 120/240 V; 220Y/127 V; 480Y/227; 480 V como valores preferentes, 2400 V como de uso restringido y 440 V como valor congelado.

Nota: La tensión eléctrica nominal de un sistema es el valor cercano al nivel de tensión al cual opera normalmente el sistema. Debido a contingencias de operación, el sistema opera a niveles de tensión del orden de ±10% de la tención eléctrica nominal del sistema para la cual los componentes del sistema están diseñados.

- Puesta a tierra de los equipos. Los equipos fijos o temporales deben estar conectados a tierra, tanto en sus partes metálicas como en las no conductoras de corriente eléctrica que pueden energizarse:

    1. Armazones y estructuras de tableros de distribución.
    2. Órganos de tubos. Estructura y carcasas de motores y generadores de órganos de tubos que funcionen con motor eléctrico.
    3. Armazones de motores.
    4. Cubiertas de los controladores de motores.
    5. Grúas y elevadores.
    6. Estacionamientos públicos, teatros y estudios cinematográficos.
    7. Anuncios luminosos.
    8. Equipos de proyección de películas.
    9. Circuitos de control remoto, señalización y alarma contra incendios de energía limitada.
    10. Luminarias.
    11. Bombas de agua operadas por un motor.

- Sistema de electrodos de puesta a tierra. Se permite que el conductor del electrodo de puesta a tierra sin empalmes llegue hasta cualquier electrodo de puesta a tierra disponible en el sistema de electrodos de puesta a tierra. Debe dimensionarse de acuerdo con el conductor para electrodo de puesta a tierra exigido entre todos los electrodos disponibles. Las conexiones entre los electrodos se hará independientemente del uso de cada uno.

NOTA: En el terreno o edificio pueden existir electrodos o sistemas de tierra para equipos de cómputo, pararrayos, telefonía, comunicaciones, subestaciones o acometida, apartarrayos, entre otros, y todos deben conectarse entre sí.

- (Puesta a tierra de los equipos) Equipo fijo o conectado permanentemente. Las partes metálicas expuestas y no conductoras de corriente eléctrica del equipo fijo que no estén destinadas a transportar corriente y que tengas probabilidad de energizarse, deben ser expuestos a tierra si se presentan cualquiera de las circunstancias mencionadas en los siguientes incisos:

    1. Si están a menos de 2.5 m en vertical o de 1.50 m en horizontal de tierra u objetos metálicos puestos a tierra y que puedan entrar en contacto con personas.
    2. Se localizan en lugares mojados o húmedos.
    3. Existe contacto eléctrico con metales.
    4. Se encuentran en áreas peligrosas.
    5. Cuando estén alimentados por medio de cables con forro metálico, recubiertos de metal, en canalizaciones metálicas u otro método de instalación que pueda servir de puesta a tierra del equipo.
    6. Cuando el equipo opere con cualquier Terminal a más de 150 V a tierra.

- Separación de los conductores de bajada de los pararrayos. Las canalizaciones, envolventes, estructuras y partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1.8 m como mínimo de los conductores de bajada de los electrodos de puesta a tierra de los pararrayos o deben unirse cuando la distancia a los conductores de bajada sea inferior a 1.8 m.

- Instalación de los conductores de puesta a tierra. Un conductor del electrodo de puesta a tierra o su envolvente debe sujetarse firmemente a la superficie sobre la que va instalado. Se utiliza un conductor de cobre o aluminio de 21,2 mm^2 (4 AWG) o superior si está expuesto a daño físico severo, de lo contrario puede utilizarse un conductor de 13.3 mm^2 (6 AWG).

6.2 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-STPS-1999, ELECTRICIDAD ESTÁTICA EN LOS CENTROS DE TRABAJO - CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE [3]

6.2.1 Objetivo

Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática.

6.2.2 Campo de aplicación

La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas y que por la naturaleza de sus procesos empleen materiales, sustancias o equipos capaces de almacenar o generar cargas eléctricas estáticas o que estén ubicados en una zona donde puedan recibir descargas eléctricas atmosféricas.

6.2.3 Selección de pararrayos

- Queda prohibido utilizar pararrayos que funcionen a base de materiales radioactivos.
- Los factores que se deben considerar para la determinación de la obligación de instalar pararrayos y, en su caso, el tipo de pararrayos a utilizar para drenar a tierra la descarga eléctrica atmosférica, son:

    1. El nivel isoceráunico de la región.
    2. Las características fisicoquímicas de las sustancias inflamables o explosivas que se almacenen, manejen o transporten en el centro de trabajo.
    3. La altura del edificio en relación con las elevaciones adyacentes.
    4. Las características y resistividad del terreno.
    5. Las zonas del centro de trabajo donde se encuentren sustancias químicas, inflamables o explosivas.
    6. El ángulo de protección del pararrayos.
    7. La altura de instalación del pararrayos y el sistema para drenar a tierra las corrientes generadas por la descarga eléctrica atmosférica.

6.2.4 Resistencia de la red de tierras

Instrumentos:

- Instrumento de medición de resistencia de tierra.
- Óhmetro para medir únicamente la continuidad de las conexiones a tierra.

Procedimiento de medición.

- Se debe utilizar el método de caída de tensión que consiste en hacer circular una corriente entre dos electrodos fijos, uno auxiliar y el otro de prueba, midiendo la caída de tensión entre otro electrodo auxiliar y un electrodo bajo medición; el segundo electrodo auxiliar se desplaza y conforme esto ocurre se van tomando las lecturas, obteniendo una gráfica, el valor de la resistencia de la red de tierras es el que se obtiene en la intersección del eje de resistencia con la parte paralela de la gráfica al eje de las distancias.
- Si la curva no presenta un tramo paralelo quiere decir que la distancia entre los electrodos no es suficiente, por lo que se debe alejar la red de tierras.
- Los valores de la resistencia que se obtengan en esta prueba deben estar comprendidos entre 0 y 25 ohms, y para sistemas de pararrayos, la resistencia de la red de tierras debe tener un valor no mayor a 10 ohms.

Registro de las mediciones efectuadas. Debe contener como mínimo lo siguiente:

- Nombre o razón social del centro de trabajo.
- Dirección del centro de trabajo.
- Fecha de realización de la medición.
- Ubicación y descripción de las fuentes generadoras de la electricidad estática.
- Características generales del equipo de medición utilizado.
- Valores de resistencia de la red de tierras, además de los valores de continuidad de los puntos de conexión de dicho sistema.
- En su caso, altura del pararrayos, ubicación y ángulo de protección.

6.2.5 Unidades de verificación y laboratorios de prueba.

El patrón tendrá la opción de contratar una Unidad de Verificación o Laboratorio de Prueba, acreditado y aprobado, según lo establecido en la Ley Federal

sobre Metrología y Normalización, para verificar o evaluar el cumplimiento de la presente Norma.

- Los laboratorios de prueba solamente podrán evaluar de acuerdo a lo establecido, para lo cual deberán contar con los procedimientos para la revisión documental y satisfacer los requerimientos establecidos en las normas mexicanas vigentes.
- Las unidades de verificación podrán certificar en función al cumplimiento de esta Norma, para lo cual deberán contar con los procedimientos para realizar la revisión documental y para verificar el desarrollo técnico de la evaluación.
- La vigencia del dictamen emitido por la Unidad de Verificación o del informe del Laboratorio de Prueba será de dos años.

6.2.6 Vigilancia

La vigilancia en el cumplimiento de la presente Norma corresponde a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

6.2.7 Puesta a Tierra de Protección Atmosférica

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Los rayos consisten generalmente de descargas múltiples, con intervalos entre descargas de decenas a centenas de milisegundos. La primera descarga es la que tiene mayor amplitud, mientras que las subsecuentes tienen tiempos de ataque más rápidos, aunque la velocidad de las descargas se ha encontrado que depende del lugar geográfico.

Las descargas atmosféricas causan grandes diferencias de potencial en los sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas.
El campo eléctrico debajo de una nube de tormenta es generalmente considerado entre 10 y 30 kV/m. Es importante, comparar estos valores con el de 1.5 kV/m cuando las puntas empiezan a emitir iones.

Algunas particularidades aumentan la probabilidad de la caída de rayos en un lugar. Por ejemplo, la frecuencia de descargas en un lugar es proporcional al cuadrado de la altura sobre el terreno circundante. Esto hace que las estructuras aisladas sean particularmente vulnerables. Además, las puntas agudas incrementan también la probabilidad de una descarga.

6.2.8 Sistema de Pararrayos

La protección de estructuras es más tolerante que una protección electrónica. Así, un edificio puede tolerar hasta 100,000 V mientras que componentes electrónicos a 24 V se dañarán con tensiones sostenidos de 48 volts.

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero la energía puede ser desviada en una forma controlada. Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:

- Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito llamado terminal aérea.
- Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un conjunto de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia.
- Disipar la energía en un grupo de terminales (electrodos) en tierra.

Cuando la energía de un rayo viaja a través de una trayectoria de gran impedancia, el daño causado puede ser grave por el calor y las fuerzas mecánicas que se crean.

Como la tierra no tiene una resistividad uniforme en todos los puntos, dentro de un mismo predio puede existir un potencial entre dos placas de metal enterradas. Por eso, en un sistema de electrodos múltiples conectados entre sí, a manera de malla, existe la probabilidad de que exista una diferencia de potencial entre algunos de sus puntos aterrizados.

El problema de diferencia de potenciales entre electrodos se complica aún más cuando una nube cargada pasa por encima de la malla. Además, una descarga eléctrica que caiga cerca, causará grandes corrientes en la tierra para restablecer el equilibrio de cargas. Al fluir esta corriente por tierra, causará una diferencia de potencial entre los diferentes electrodos y esta diferencia de potencial, a su vez, causará que fluya corriente por los conductores de la malla.

Es conocido que un campo magnético se crea cada vez que existe un rayo, no importando si es a tierra o entre nubes. Este campo induce una corriente en cualquier conductor en la vecindad del rayo. Si existen electrodos al final de ese conductor, fluirá por tierra la corriente cerrando el circuito.

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, por ello son causa de interferencia en sistemas electrónicos. Son de alta frecuencia por la elevada razón de cambio de la señal, de aproximadamente 1 us. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se utilizan las técnicas para señales en altas frecuencias.

La inductancia de los conductores de cobre usados para tierras es de aproximadamente de 1.64 uH/m. A la frecuencia equivalente de los rayos, la impedancia debida a la inductancia es muchas veces mayor que la impedancia debida a la resistencia del conductor. Por lo que, para los rayos, los

conductores más largos de 10 m tienen una impedancia en términos prácticos infinita, lo que impide que conduzcan la corriente. Además, estas señales de alta frecuencia no seguirán nunca una vuelta muy cerrada del conductor, porque cada doblez incrementa la reactancia inductiva. De ahí, que todos los cables de conexión a tierra de pararrayos deben tener curvas generosas en lugar de esquinas cerradas. Por ello, se recomiendan curvas con radio de unos 20 cm, y conductores múltiples conectados en paralelo a tierra.

Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga.

6.2.9 Estándares de Protección

Tanto en Europa, como en Norteamérica, se ha debatido mucho sobre los métodos de protección, tanto así que en misma Europa permanecen los dos estándares de protección, el llamado Franklin/Faraday, que es el tradicional, y el de puntas de inicio (*early streamers* en inglés). En EUA, el estándar aprobado por la Nacional FIRE Protection Asociation (NFPA) es el Franklin/Faraday y, se conoce como NFPA-780. El otro, no fue aceptado como parte del estándar, ya que se considera de efectividad igual que una punta del tipo Franklin.

En México, tenemos desde el 2006 una Norma Mexicana al respecto emitida por ANCE con el número NMX-J-549-ANCE (Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas).

La técnica usada para analizar la acción de las descargas en objetos a tierra es el modelo electromagnético, y derivado de ese modelo, desde 1970 se emplea el método de la esfera rodante para calcular la zona o distancia de protección de los pararrayos.

El equipo dentro de la zona de protección debe ser conectado a la misma red de tierras para que no exista una diferencia de potencial entre puntos en el sistema. Sin embargo, aparatos conectados a líneas eléctricas que salen del área de mismo potencial pueden dañarse.

6.2.10 Sistema Franklin

Benjamín Franklin fue el primero en darse cuenta que la altura era un factor importante en el diseño de protecciones contra rayos.

El rango de atracción de un pararrayos es la distancia sobre la cual un pararrayos sencillo vertical de una altura dada sobre un plano limpio, atrae una descarga atmosférica. El espacio protegido por tal dispositivo define el lugar en que la construcción no suele ser afectada por una descarga directa.

El sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos.

Estas terminales deben estar por lo menos 25 cm - las más pequeñas miden 30 cm - sobre la estructura y, cuando esta altura mínima se emplea, la distancia entre ellas debe ser como máximo de 6 m.

Para asegurarnos de una buena conexión y de una baja impedancia, por lo menos cada terminal aérea debe tener dos trayectorias a tierra, y estas trayectorias deben estar cuando más a 30 m de separadas entre sí.

De acuerdo con el estándar NFPA 780, existen dos clases de materiales (terminales aéreas, cables, accesorios y terminales de tierra). Los materiales clase I se utilizan para la protección de estructuras que no exceden de 23 m de altura, y, los materiales clase II, las estructuras que si exceden dicha altura.

Tabla 1. Diferencias importantes de las dos clases de materiales

Tipo	Clase I	Clase II
Terminales Aéreas, diámetro (mm)	9,5 Cobre, 12,7 Aluminio	12,7 Cobre, 15,9 Aluminio
Conductor principal, peso	278 g/m Cu, 141 g/m Al	558 g/m Cu, 283 g/m Al
Calibre	29 mm^2 Cu, 50 mm^2 Al	58 mm^2 Cu, 97 mm^2 Al
Tamaño mínimo de alambre	17 AWG Cu, 14 AWG Al	15 AWG Cu, 13 AWG Al

Los tamaños de los conductores más usuales son: 29 ó 32 hilos calibre 17 (65,6 kcm) de cobre para conductores de uniones, 28 hilos calibre 14 o más grueso de cobre para conductores principales. Cuando se emplean conductores de aluminio, se debe tener precaución en no llegarlos hasta el suelo porque sufren corrosión.

Al respecto de la trayectoria, la NOM dice que cualquier parte metálica no conductora de corriente a una distancia menor de 1,8 m del cable de los pararrayos debe tener puentes de unión a éste para igualar potenciales y prevenir arqueos.

Los conductores terminan en tierra en sendos electrodos, y para revisar el estado de dichos electrodos, es una práctica recomendada utilizar conectores de prueba a una altura de 1,0 a 1,5 m.

De acuerdo con la norma NFPA-780 el sistema de electrodos para la protección contra descargas atmosféricas depende también de las condiciones del suelo. De ahí que, para estructuras ordinarias menores a 23 m de altura, en:

- Arcilla Profunda y Húmeda.- Una simple varilla de 3 m es suficiente.
- Suelo arenoso.- Se requieren dos o más varillas espaciadas más de 3 m.
- Suelo con tierra poco profunda.- Se emplean trincheras radiales al edificio de 5 m de largo y 60 cm de ancho en arcilla. Si la roca está más superficial, el conductor podría colocarse sobre la roca.

- Rocas.- En un suelo muy poco profundo, un cable en anillo se instala en una trinchera alrededor de la estructura. Para mejorar aún el contacto, es posible colocar placas de al menos 2 pies^2.

6.2.11 Sistema Tipo Jaula de Faraday.

Para estructuras grandes, se utiliza una modificación al sistema Franklin de pararrayos, al añadir a las terminales aéreas conductores que crucen sobre la estructura a proteger como una caja de Faraday limitada sobre y a los lados de la construcción, y todo ese conjunto resultante es conectado a cables múltiples de bajada, que a su vez se conectan al sistema de tierras perimetral del edificio.

Los edificios modernos con estructura de acero y con varillas embebidas en concreto se acercan al concepto de la jaula de Faraday, y el riesgo de que un rayo penetre en un edificio protegido de esta manera es extremadamente pequeño. Aunque se debe notar que los rieles de los elevadores no deben ser usados como el conductor de bajada de los pararrayos, la NOM-001-SEDE-1999 permite que se unan al sistema de pararrayos.

Para hacer más efectiva la protección de este sistema, se usan puntas del tipo Franklin o del tipo "paraguas" (patentadas).

6.3 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-STPS-1999, CONDICIONES DE ILUMINACIÓN EN LOS CENTROS DE TRABAJO [4]

6.3.1 Objetivo

Establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

6.3.2 Campo de aplicación

La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo.

6.3.3 Niveles de iluminación

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 tabla 2.

Tabla 2. Niveles Mínimos de Iluminación

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍNIMOS 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.	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

6.4 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-029-STPS-2005, MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO-CONDICIONES DE SEGURIDAD [5]

6.4.1 Objetivo

Establecer las condiciones de seguridad para las actividades de mantenimiento en las instalaciones eléctricas de los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevar a cabo dichas actividades y a personas ajenas a ellas que se pudieran exponer.

6.4.2 Campo de aplicación

Esta Norma aplica en todos los centros de trabajo del territorio nacional que cuenten con instalaciones eléctricas permanentes y provisionales, y para todas aquellas actividades de mantenimiento que se desarrollan en las líneas eléctricas aéreas y subterráneas.

6.4.3 Análisis de riesgos potenciales para el mantenimiento de las instalaciones eléctricas

El análisis de riesgos potenciales para las actividades de mantenimiento a las instalaciones eléctricas debe realizarse tomando en cuenta, como mínimo, lo siguiente:

- El tipo de operaciones que se van a desarrollar.
- Los peligros a los que se expondrá el trabajador.
- La ubicación del equipo eléctrico, la zona y distancias de seguridad, de acuerdo a la tensión eléctrica y las fallas probables.
- El peso y la forma de los objetos, equipos y herramientas, y los movimientos a realizar para evitar actos o condiciones inseguras.

- Las protecciones existentes y las que se requieran de acuerdo a los riesgos que se puedan presentar al desarrollar el trabajo (candados, señales, elementos para delimitar zonas de trabajo, entre otros).
- Las partes del equipo que requieran protección para evitar el contacto con partes vivas (líneas energizadas, bancos de capacitores, entre otros).
- Las maniobras de apertura o cierre que se requieran para los dispositivos de protección de los medios de conexión y desconexión.
- El equipo de protección personal, los materiales de protección con que se cuenta y los que se requieran para el tipo de instalaciones eléctricas a las que se dará mantenimiento.
- Las acciones de primeros auxilios con que se cuenta, y las que se requieren.
- Los procedimientos de seguridad con que se cuente y los que se requieran de conformidad.
- La frecuencia con la que se realiza la actividad.
- El número de trabajadores que intervienen en la actividad.
- El tiempo estimado para realizar la actividad.

6.4.4 Condiciones de seguridad en instalaciones eléctricas permanentes o provisionales

Según aplique, se deben adoptar las medidas de seguridad para realizar el mantenimiento a las instalaciones eléctricas, al equipo y a las subestaciones, incluyendo las instalaciones eléctricas provisionales. Lo anterior considerando al menos lo siguiente:

<u>En el equipo eléctrico</u>

- Los interruptores deben estar contenidos en envolventes que imposibiliten, en cualquier caso, el contacto accidental de personas y

objetos. En la medida de lo posible deben estar protegidos de la lluvia, sol y tolvaneras.

- Para la correcta operación de los dispositivos de conexión y desconexión, deben consultarse previamente los diagramas unificares.
- La apertura y cierre de cuchillas, seccionadores, cuchillas fusibles y otros dispositivos similares, debe hacerse bajo la supervisión de personal autorizado, utilizando equipos de protección y de seguridad de acuerdo al nivel de tensión eléctrica en que se esté trabajando. Ejemplo del equipo de protección y de seguridad son las pértigas aisladas, guantes de cuero (carnaza) y dieléctricos (según la clase y de acuerdo a la tensión eléctrica), protección ocular, casco de seguridad, ropa de trabajo y botas dieléctricas.
- Cuando el equipo se conecte a líneas o a un circuito energizado por medio de algún cable o dispositivo de conexión, éste se conectará primero a la parte desenergizada. Inversamente, cuando se desconecte, la parte del lado de la fuente se desconectará primero.

<u>En las instalaciones eléctricas:</u>

- En los lugares en que el contacto con equipos eléctricos o la proximidad de éstos pueda presentar peligro para los trabajadores, deben colocarse avisos de seguridad de conformidad con colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- Todos los equipos destinados al uso y distribución de la energía eléctrica deben contar con información que identifique sus características eléctricas y la distancia de seguridad para las tensiones presentes, ya sea en una placa, en etiquetas adheridas o marcada sobre el equipo.
- Se debe contar con una protección para poner los elementos energizados fuera del alcance de los trabajadores, utilizando alguno de los siguientes medios:

1. Barreras protectoras.
2. Resguardos.
3. Aislamiento.
4. Control de acceso.
5. Reducción a una tensión de seguridad.

- Debe evitarse instalar cables desnudos y otros elementos descubiertos energizados de una instalación a menos de 3 metros del suelo o de cualquier otro lugar de trabajo o de paso, salvo si están protegidos eficazmente mediante cercas o pantallas de protección.
- Todos los cables deben protegerse contra daños, especialmente los que puedan provocar vehículos o equipos mecánicos pesados.
- Los conductores energizados deben manipularse con guantes dieléctricos y de cuero (carnaza) o con equipos aislados concebidos para la tensión eléctrica de que se trate.
- Queda prohibido almacenar materiales de cualquier tipo, sobre todo de aquellos que sean incompatibles con las instalaciones eléctricas, es decir, que impidan su operación segura.
- Queda prohibido el uso de flexómetros metálicos, especialmente los de resorte, y de equipos de radiocomunicación con antena en las inmediaciones de las instalaciones eléctricas expuestas, es decir, de las energizadas.
- Cuando las cubiertas del equipo o de los dispositivos sean fijas.
- Su desplazamiento debe interrumpir la corriente y debe ser imposible quitarlas sin una herramienta o llave especial confiada a una persona autorizada.

<u>En la subestación:</u>

- Mantener controlado el acceso a la subestación a personas no autorizadas mediante el uso de cerraduras o candados, envolturas,

enrejados y limitando el acceso únicamente con la autorización de orden de trabajo que corresponda.

- Sólo personal autorizado debe realizar las actividades de operación y mantenimiento de los equipos que integran la subestación eléctrica y tableros.
- La persona que realice actividades dentro de la subestación jamás debe hacerlo sola (Regla del segundo hombre).
- Considerar que todo el equipo que se localice en la subestación está energizado hasta que no se compruebe lo contrario.
- Verificar con equipo de medición la ausencia de energía en los equipos antes de iniciar el mantenimiento.
- Aplicar los procedimientos de seguridad establecidos para el mantenimiento y los que se requieran.
- Todos los equipos de medición y prueba, de tipo portátil, para su operación deben contar con puesta a tierra.
- Todos los equipos de calibración y prueba deben contar con certificado vigente de calibración.
- Respetar los avisos de seguridad que se encuentren instalados para prevenir riesgo.
- Tener identificada la salida de emergencia y asegurarse que las puertas abran:

    1. Hacia afuera o sean corredizas.
    2. Fácilmente en cualquier momento desde el interior.
    3. Desde el exterior únicamente con una llave especial o controlada, libremente y sin obstáculos.

- Las palancas de acción manual, puerta de acceso, gabinetes de equipo de control, entre otros, según sea el caso, se deben mantener con candado o con una etiqueta de seguridad mientras no estén siendo operados o se está ejecutando en ellos algún trabajo.

- Los elementos desnudos energizados deben estar fuera del alcance del personal o estar protegidos por pantallas, enrejados, rejillas u otros medios similares.

En el mantenimiento:

- Sólo personal autorizado y que cuente con la licencia o permiso correspondiente debe realizar esa actividad en las instalaciones eléctricas de lugares peligrosos.
- Se debe considerar que todos los conductores y equipos están energizados mientras no se demuestre lo contrario.
- En la medida de lo posible, debe evitarse el trabajo en conductores o equipos energizados.
- Se debe, invariablemente, colocar candados o etiquetas de seguridad al equipo o dispositivos de control eléctrico donde se hará esa actividad.
- Se debe aplicar el procedimiento de libranza a conductores o equipo energizado antes de efectuar cualquier operación con objeto de:

    1. Interrumpir el flujo de la corriente eléctrica.
    2. Aplicar otras medidas preventivas que también son necesarias, como la colocación de candados o avisos, para impedir que se conecte de nuevo la corriente eléctrica.
    3. Poder verificar con equipo de medición que no circula corriente eléctrica por los conductores o equipo.
    4. Conectar a tierra y en cortocircuito los conductores y equipo.
    5. Proteger los elementos energizados situados en las inmediaciones contra el contacto accidental.

- Después de haberse efectuado cualquier trabajo en conductores o equipo, sólo se debe energizar por orden de una persona autorizada.
- Aplicar los procedimientos de seguridad que se requieran, el personal que estará en contacto con los equipos o maquinaria energizados.

- Mantener legible la identificación del equipo o dispositivos (tableros, gabinetes, interruptores) indicando las características eléctricas que manejan y el equipo que energizan.
- No desplazar los aparatos eléctricos portátiles mientras estén conectados a la fuente de energía.
- Las herramientas y aparatos eléctricos portátiles no deben emplearse en atmósferas inflamables o explosivas, a menos que cumplan con las especificaciones del equipo a prueba de explosión.
- Se debe conectar a tierra el armazón de las herramientas y los aparatos de mano y portátiles, excepto el de las herramientas con doble aislamiento.
- El sistema de puesta a tierra de toda la instalación debe someterse a prueba de continuidad y conservar el registro respectivo.
- Se debe contar con las herramientas y equipo de protección personal adecuados a cada tarea, tales como: guantes dieléctricos y de cuero (carnaza), esteras y mantas aislantes (en número suficiente y de acuerdo al potencial eléctrico en el que se va a trabajar).
- Si hay que emplear a la intemperie aparatos de conexión de tipo abierto:

    1. Todos los elementos bajo tensión eléctrica deben protegerse convenientemente contra contactos accidentales mediante cubiertas o bien colocándolos a cierta altura que no represente un riesgo de contacto accidental.
    2. Se debe dejar un espacio de trabajo en torno a los elementos energizados.
    3. Al menos los aparatos de conexión, los transformadores y demás aparatos energizados deben protegerse con cercas metálicas que se encuentren conectadas a una tierra física.

De la señalización y limitación de la zona de trabajo:

En todos los trabajos de mantenimiento a las instalaciones de líneas eléctricas aéreas o subterráneas que se realicen, o en sus proximidades, se debe delimitar la zona de trabajo y colocar señales de seguridad que:

- Indiquen la prohibición de entrada a la subestación o la energización de máquinas eléctricas por personas no autorizadas.
- Prohíban a personas no autorizadas manejar o tocar los aparatos eléctricos.
- Delimiten el área en mantenimiento mediante la colocación de:

    1. Cintas, cuerdas o cadenas de plástico de color rojo o anaranjado y mosquetones para su enganche.
    2. Barreras extendibles de color rojo o anaranjado provistas de cuerdas en sus extremos para su sujeción.
    3. Banderolas.
    4. Estandartes.
    5. Colgaduras de color rojo para la señalización de la zona de trabajo.
    6. Tarjetas de libranza con información de quién realiza, quién autoriza, cuándo se inició y cuándo finaliza el trabajo a realizar.
    7. Identifiquen los dispositivos de enclavamientos de uno a cuatro candados.

En el mantenimiento con equipos o aparatos, se debe comprobar:

- Que todas las soldaduras o uniones mantengan la continuidad eléctrica.
- Que se apliquen las medidas de seguridad en caso de contar con líneas energizadas próximas a muros sin aislar.
- Que se revise que los aparatos para dar mantenimiento estén desenergizados y que estén conectados a tierra.

- Que no existen daños mecánicos en los aislamientos de los conductores.
- Que los empalmes cuenten con la resistencia mecánica para que mantengan la continuidad del circuito.

Material aislante y equipo de protección que se debe utilizar, según aplique, para realizar con seguridad el mantenimiento en instalaciones eléctricas de menos de 600 volts.

Se debe emplear uno o más de los siguientes equipos o materiales según el tipo de trabajo a desarrollar:

- Guantes aislantes de acuerdo a la tensión que se maneje;
- Tarimas o alfombras aislantes;
- Comprobadores o discriminadores de tensión eléctrica;
- Herramientas aisladas;
- Material de señalización (discos, barreras, banderines, etc.);
- Lámparas portátiles;
- Transformadores de seguridad a 24 volts, y
- Transformadores de aislamiento.

Trabajos y maniobras con máquinas y lámparas portátiles en instalaciones eléctricas de baja tensión.

Cuando se utilicen máquinas o lámparas portátiles, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones de seguridad:

- El cable de alimentación de una máquina o lámpara portátil debe estar perfectamente aislado y mantenerse en buen estado de conservación.
- La tensión de alimentación de las herramientas y lámparas portátiles para los trabajos en zanjas, pozos, galerías, calderas, etc., no debe ser superior a 24 volts.

- En aquellos casos en que la herramienta portátil tenga que funcionar a una tensión eléctrica superior a los 24 volts, se debe utilizar como mínimo una de las siguientes protecciones:

    1. Guantes dieléctricos aislantes.
    2. Herramienta portátil de doble aislamiento.
    3. Herramienta portátil con conexión a tierra.
    4. Protección de los defectos de aislamiento de la misma, mediante relevadores diferenciales.
    5. Transformadores de aislamientos.

Las lámparas portátiles deben estar provistas de mango aislante, dispositivo protector de la lámpara y conductor con aislamiento de uso rudo o extrarrudo.

Para los trabajos que se realicen dentro del perímetro de las instalaciones eléctricas permanentes:

- Conservar la distancia de trabajo que corresponda a la tensión eléctrica de la instalación, antes de efectuar cualquier maniobra de operación o mantenimiento a los conductores o instalaciones eléctricas.
- Evitar hacer maniobras de operación o mantenimiento a una distancia menor de trabajo en un conductor o instalación eléctrica, mientras no se haya desenergizado o se hayan aplicado las medidas de seguridad.
- Cuando no sea posible desconectar un conductor o equipo de una instalación eléctrica en cuya proximidad se hayan de efectuar maniobras de operación o mantenimiento, se deben aplicar medidas de seguridad e indicar las instrucciones concretas a los trabajadores para prevenir los riesgos de trabajo.
- Siempre que sea posible, las medidas de seguridad deben comprender la colocación de protecciones, candados o etiquetas de seguridad en los conductores e instalaciones energizados, según corresponda.

- En caso de emplear equipo móvil para dar mantenimiento en las inmediaciones de conductores o quipos de una instalación eléctrica que no puedan ser desconectados, deben controlarse sus desplazamientos para evitar un riesgo por contacto.
- Comprobar que ningún trabajador, material o herramienta se encuentra en el área involucrada al concluir las actividades de mantenimiento, antes de volver a energizar.

Condiciones de seguridad para instalaciones eléctricas provisionales:

- Solicitar por escrito al jefe de turno del centro de control de maniobras o despacho, autorización para realizar instalaciones eléctricas provisionales.
- Informar por escrito al jefe de turno del centro de control de maniobras o despacho de todas aquellas modificaciones provisionales efectuadas y etiquetadas colocadas, con el propósito de que sean retiradas o convertidas en instalaciones permanentes.
- Para evitar accidentes a los trabajadores expuestos, las instalaciones provisionales deben ser retiradas o convertidas en instalaciones permanentes en un plazo no mayor a 30 días naturales posteriores al término del propósito para el cual fueron colocadas, y el jefe de turno debe dar la autorización para retirar las etiquetas de seguridad.
- Retirar equipos y materiales empleados en las instalaciones eléctricas provisionales al término del propósito de dichas instalaciones.

Condiciones de seguridad para las actividades de mantenimiento que se desarrollan en líneas eléctricas aéreas y subterráneas.

- Los trabajos y maniobras en instalaciones eléctricas que afecten a estas líneas deben tomar en cuenta, al menos las siguientes consideraciones de seguridad, mismas que deben estar contenidas en los procedimientos de seguridad que para tal efecto se desarrollen.

- Antes de iniciar el trabajo y una vez recibida la línea o parte de la misma en consignación o descargo, se debe verificar la ausencia de tensión eléctrica; poner la misma en corto circuito y a tierra, a ambos lados, lo más cerca posible del lugar de trabajo, asegurándose de que las tomas de tierra mantengan continuidad. Se deben colocar barreras de protección y señales o avisos de seguridad.
- Al terminar los trabajos y antes de retirar las conexiones de puesta a tierra, el jefe de trabajo debe asegurarse de que no queda ningún operario en la línea, ni depositados útiles o herramientas en el lugar de trabajo. Después se debe proceder a quitar las conexiones de puesta a tierra, efectuándolo en sentido inverso al seguido en su colocación.
- La desconexión de líneas o equipos de la fuente de energía eléctrica se debe hacer abriendo primero los equipos diseñados para operar con carga.
- Cuando se abran interruptores, restauradores y cuchillas que se localizan en vía pública, con objeto de librar una sección de un circuito, en ese lugar, a la altura del dispositivo de seccionamiento o sobre la manija del dispositivo, se debe colocar un aviso preventivo con la leyenda: “peligro, no energizar”, así como la razón y actividad que se está realizando, además de colocar bloqueos físicos (como candados).

<u>Para la apertura o cierre de cuchillas energizadas, de operación en grupo, se debe:</u>

- Verificar que el maneral se encuentre conmutado a tierra.
- Usar equipo de protección personal adecuado a la actividad, tales como guantes aislados de la clase que corresponda, casco de seguridad con barbiquejo para usos eléctricos, botas de seguridad sin casquillo metálico, ropa de trabajo de algodón y lentes de seguridad.
- Utilizar tapetes aislantes, mantas o cubiertas aislantes, en caso de que exista humedad excesiva del suelo.

- En caso de colocar o remover un poste en o cerca de líneas energizadas, colocar cubiertas protectoras para el poste y/o cubiertas protectoras de conductor de la clase que corresponda y los trabajadores deben usar guantes dieléctricos para la tensión eléctrica requerida, además de guantes de cuero (carnaza) para tocar el poste.

- La estructura metálica del camión utilizado para colocar o remover un poste debe estar conectada a tierra o a un electrodo o sistema de puesta a tierra. Los trabajadores no deben tocar el vehículo mientras estén parados en el suelo, a menos que se hayan terminado las maniobras o se detenga la actividad.
- Al tener un conductor sobre o cerca de otro(s) conductor(es) con tensión eléctrica, el carrete que lo suministra debe contar con una puesta a tierra en forma correcta. El trabajador que atiende el carrete debe trabajar en una plataforma aislada y usar guantes aislantes.

<u>Para reemplazar los fusibles en las líneas de alta tensión, deben tomarse las mismas precauciones que, para dejar una instalación en consignación</u>

Para la reposición de fusibles y cortacircuitos fusibles:

- Verificar que se haya corregido la falla.
- Guardar una distancia de seguridad. Los cortacircuitos fusibles al estar abiertos del lado de la carga se consideran energizados y para reemplazarlos se requiere que se conecten a tierra.
- Inclinar la cabeza ligeramente hacia abajo, al momento de cerrar un cortacircuito fusible, para protegerse del arco eléctrico y posibles proyecciones de partículas que puedan producirse. Se debe utilizar para esta actividad casco de seguridad con barbiquejo para usos eléctricos, botas de seguridad sin casquillo metálico, ropa de trabajo de algodón y lentes de seguridad.

- Verificar la continuidad de las conexiones de puesta a tierra y los conductores de puesta a tierra.

En las líneas montadas sobre los mismos apoyos, en todo o parte de su recorrido:

- Se prohíbe realizar trabajos y maniobras en una línea por el procedimiento llamado de hora convenida.
- No se deben realizar trabajos o se deben suspender cuando haya tormentas eléctricas.
- No se deben realizar trabajos en una línea con dos o más circuitos estando uno de ellos con tensión eléctrica, si para su ejecución es necesario mover los conductores, aisladores o soportes mecánicos, de forma que se pudiera entrar en contacto con el otro circuito.

Para trabajos de mantenimiento en líneas subterráneas se debe:

- Identificar la ubicación de los equipos conforme lo indiquen los planos.
- Ubicar las trayectorias, circuito de alimentación, transformador y seccionador.
- Identificar los riesgos y determinar las medidas preventivas para realizar las tareas.
- Verificar el estado de las conexiones de puesta a tierra y los conductores de puesta a tierra.
- Utilizar candados o etiquetas de seguridad.

Requisitos para la puesta a tierra temporal en subestaciones, líneas eléctricas aéreas y subterráneas

Se entiende por puesta a tierra temporal, a aquella conexión que se aplica con carácter provisional para descargar la instalación eléctrica que se desenergiza. Una vez que la instalación eléctrica ha quedado en consignación o descargo

queda preparada para realizar los trabajos de mantenimiento, por lo que las siguientes consideraciones deben estar contenidas en los procedimientos de seguridad particulares que se elaboren,

- Conectar primero los conductores de puesta a tierra al sistema de tierras y a continuación conectarlos mediante pértigas o dispositivos especiales a la instalación a proteger (conductores de líneas, electroductos, etc.). Para desconectar la puesta a tierra se procede a la inversa, primero se retiran de la instalación los conductores de la puesta a tierra y a continuación se desconectan del electrodo de puesta a tierra.
- Si la puesta a tierra se hace por medio de seccionadores de puesta a tierra ya establecidos, se debe asegurar que las cuchillas de estos aparatos queden todas en posición de cerrado.
- Para que la puesta a tierra sea más efectiva se debe conectar lo más cerca posible del lugar de trabajo y a ambas partes del mismo.
- La puesta a tierra temporal debe tener contacto eléctrico, tanto con las partes metálicas que se desean poner a tierra como con el sistema de puesta a tierra.
- La puesta a tierra de los conductores o aparatos en los cuales se ha de realizar algún trabajo debe hacerse con ayuda de dispositivos especiales de puesta a tierra.
- Cuando se trabaja en el sistema general de tierras de una instalación, debe suspenderse el trabajo durante el tiempo de tormentas eléctricas y pruebas de líneas.
- Antes de efectuar la desconexión de la puesta a tierra en servicio, debe colocarse un puente conductor a tierra en la zona de trabajo. El trabajador que realice esta actividad debe estar aislado para evitar formar parte del circuito eléctrico.
- Vigilar que en el transcurso de las actividades de conexión de la puesta a tierra el trabajador no entre en contacto simultáneo con dos circuitos de puesta a tierra que no están unidos eléctricamente, ya que éstos pueden encontrarse a potenciales diferentes.

- Verificar que las partes metálicas no conductoras de máquinas, equipos y aparatos con las que pueda tener contacto el trabajador de manera accidental y provocar con ello un choque eléctrico, estén conectadas a tierra, especialmente las de tipo móvil.

Los procedimientos de seguridad deben contemplar las siguientes previsiones:
Para las instalaciones:

- La indicación para que toda instalación eléctrica se considere que se encuentra energizada, mientras no se compruebe lo contrario con aparatos, equipos o instrumentos de medición destinados a tal efecto.
- Utilizar el equipo de medición que se requiera para evaluar la presencia o ausencia de la energía eléctrica en equipos o instalaciones eléctricas a revisar.
- Según aplique, colocar señalización, candados o cualquier otro dispositivo para garantizar que el circuito permanezca desenergizado cuando se le realizan actividades de mantenimiento.
- Antes de realizar actividades de mantenimiento, seguir las instrucciones para verificar que la puesta a tierra esté en condiciones de funcionamiento o bien colocar las tierras temporales.
- Después de haber realizado los trabajos de mantenimiento, seguir las instrucciones para realizar una inspección en todo el circuito o red en el que se efectuaron los mantenimientos, con objeto de asegurarse que ha quedado libre de materiales, herramientas y personal. Al término de dicha inspección, ya se podrán retirar los candados, señales o cualquier otro dispositivo utilizado.

<u>Para el desarrollo de las actividades de mantenimiento a las instalaciones eléctricas contar con:</u>

- El diagrama unifilar y al menos el cuadro general de cargas correspondientes a la zona donde se realizará el mantenimiento.

- Las indicaciones para conseguir las autorizaciones por escrito que correspondan, donde se describa al menos la actividad a realizar, la hora de inicio, una estimación de la hora de conclusión, la persona que autorizó la entrada y la salida, el estado de la reparación (temporal o permanente) y la precisión de si se realizará el mantenimiento con la instalación eléctrica energizada o con las medidas de seguridad para desenergizarla.
- Las instrucciones concretas sobre el trabajo a realizar.
- Las indicaciones para identificar las instalaciones eléctricas que representen mayor peligro para los trabajadores encargados de brindar el mantenimiento.
- Los procedimientos de seguridad que incluyan medidas de seguridad necesarias para impedir daños al personal expuesto y las acciones que se deben aplicar antes, durante y después en los equipos o áreas donde se realizarán las actividades de mantenimiento.
- Las indicaciones para la colocación de señales, avisos, candados, etiquetas de seguridad en las instalaciones eléctricas que estén en mantenimiento.
- Las distancias de seguridad que deben observarse cuando los dispositivos de protección abran con carga.

<u>Las herramientas, equipos, materiales de protección aislante y equipo de protección personal:</u>

- Deben ser entregados al trabajador junto con las instrucciones para su revisión o reemplazo, para verificar que están en condiciones de funcionamiento.
- Deben contar con instrucciones al alcance de los trabajadores para que observen las adecuadas condiciones para su almacenamiento, transporte y mantenimiento, que garanticen su buen funcionamiento.
- Se deben seleccionar de acuerdo a las tensiones de operación del circuito cuando se trabaje con líneas vivas.

- Deben manipularse para realizar el mantenimiento en las instalaciones eléctricas energizadas o desenergizadas de acuerdo a las instrucciones de seguridad.

Requisitos del procedimiento de rescate de un trabajador accidentado (por choque eléctrico) con energía eléctrica

El procedimiento de rescate de accidentados por efectos de la energía eléctrica, al menos, debe contener:

- Las instrucciones concretas de cómo realizar el rescate.
- Los equipos o aparatos necesarios para la ejecución del rescate.
- Las técnicas para aplicar la reanimación cardiopulmonar (RCP).
- Un plan para la atención y traslado de las víctimas a lugares de atención médica, que indique:

    1. Las instrucciones específicas en un lugar visible de qué hacer en caso de accidente.
    2. Las acciones inmediatas que incluyan: la desconexión de la fuente de energía, las instrucciones para retirar al lesionado del peligro inmediato, la colocación de la víctima en un lugar seguro, la aplicación de los primeros auxilios o la instrucción para llamar a la persona idónea y pedir ayuda.
    3. La forma en que se debe dar una respuesta secundaria, misma que describa la información que se debe proporcionar con relación al accidente, por ejemplo: si la víctima tuvo contacto con la energía eléctrica, si la causa fue por una descarga eléctrica o por una explosión de algún dispositivo eléctrico u otros.
    4. Los hospitales o unidades médicas más próximos para trasladar a la víctima para que reciba la atención médica.
    5. Números telefónicos para llamar en caso de emergencia.

6.4.5 Unidades de verificación

El patrón tendrá la opción de contratar una unidad de verificación acreditada y aprobada, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, para verificar el grado de cumplimiento de la presente Norma. Las unidades de verificación contratadas a petición de parte deben verificar el grado de cumplimiento de acuerdo con lo establecido en el procedimiento de evaluación de la conformidad.

Los patrones que contraten unidades de verificación deben solicitar a éstas al término de sus actuaciones, el correspondiente dictamen de verificación.

La vigencia del dictamen de verificación, cuando éste sea favorable, será de dos años, siempre y cuando no sean modificadas las condiciones que sirvieron para su emisión.

CAPÍTULO 7. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA

Las perturbaciones clásicas en las redes, causadas por las descargas eléctricas, las operaciones de conmutadores y los cortos circuitos, aunada a la baja redundancia de las líneas y subestaciones tienen efectos negativos sobre la calidad de la energía en las redes de distribución de media y baja tensión.

Con el fin de garantizar una energía de calidad en estos dos niveles de tensión, especialmente para los clientes que desarrollan procesos sensibles y de alta seguridad en sus instalaciones, en el mercado se encuentran una amplia gama de productos basados en las tecnologías acreditadas tradicionales o en las técnicas de conversión por electrónica de potencia.

En el suministro de energía eléctrica se indica, por lo general, como premisa de que la forma de onda de la tensión será una senoide pura. En la mayoría de los casos y para muchas de las aplicaciones y estudios, esta idealización es suficiente.

El supuesto anterior será mas probable si el suministro inicia de una red de alta tensión potente, es decir de elevada potencia de corto circuito, y en la instalación propia no existen cargas de gran potencia capaces de deformar la onda de tensión.

Sin embargo si las circunstancias antes mencionadas no se dan con mayor frecuencia. Por un lado, la tensión de suministro dista de ser una senoide pura y en las instalaciones abundan receptores generadores de perturbaciones que a su vez suelen ser sensibles a las mismas paradójicamente.

El objetivo es estudiar las condiciones eléctricas de una instalación industrial, analizar con mayor detalle la principal fuente de las perturbaciones, continuando de forma más general con el comportamiento de la red y de los equipos, finalizando con las medidas correctivas y preventivas requeridas para la mejora de la instalación.

REQUERIMIENTOS PARA EL ESTUDIO DE CALIDAD DE LA ENERGÍA EN UNA INSTALACIÓN

No existe una metodología obligatoria a seguir en un estudio de calidad de la energía aplicado a una instalación comercial, residencial o industrial. Como referencia, se listan las actividades principales:

- Recopilación de Antecedentes
- Solicitud de acceso para las diversas áreas
- Reconocimiento de las Instalaciones
- Análisis de Información y Cronograma de Actividades
- Levantamiento y Mediciones en Campo
- Procesamiento y Análisis de la Información
- Determinación de la Situación Existente
- Establecimiento de Alternativas
- Análisis Técnico-Económico de Alternativas
- Determinación de la Mejor Opción
- Elaboración de Especificaciones y Volumen de Obra
- Ruta Crítica
- Conclusiones y Recomendaciones

Información preliminar

Información General: Se concentra información de 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 término esperado), así como datos de los auditores responsables, su personal operativo y su equipo de trabajo, etc.

Información Complementaria: Ubicación geográfica, giro ó 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, hasta el recibo ó la factura 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.).

LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DE LAS PRINCIPALES CARGAS EN LA INSTALACIÓN

Se comienza con un diagrama a mano alzada de la instalación, donde se indica la localización aproximada de todas sus secciones importantes. El diagrama ayudará en la localización relativa de cada equipamiento eléctrico y de los principales circuitos.

Luego se puede proceder al inventario físico. Se debe asegurar que los formularios tengan espacios suficientes para todos los datos a registrar, como ser:

- Área física y localización de cada pieza de equipo.
- Nombre y descripción de los equipamientos.
- Placas con datos eléctricos (si se requieren).
- Tableros eléctricos y circuitos que alimentan a los equipos.
- Síntomas y frecuencia de los problemas operativos.

Caminando a través de la instalación, se puede efectuar una lista de cada pieza de los equipos eléctricos empleados. Se debe incluir en la misma tanto a

los grandes motores eléctricos como a los pequeños dispositivos electrónicos. Esta información ayudará para aislar cargas críticas que puedan causar problemas a otros equipamientos eléctricos, como motores, fotocopiadoras, enfriadores de agua, etc.

Muchos tableros están identificados con las cargas que sirven, pero otros no lo están. Se debe verificar que las etiquetas no contengan errores. Si los tableros no están etiquetados, o los diagramas de cableado no son correctos o no están disponibles, es un buen momento para actualizarlos.

Se debe estar seguro de que el personal de la instalación (que está familiarizado con equipos eléctricos) esté disponible, y que los electricistas de la instalación tomen la precaución de operar los interruptores.

Clasificación de cargas:

Para mejor manejo de la información es recomendable clasificar los tipos de cargas que se pueden encontrar en cualquier tipo de instalación ya sea comercial, residencial o industrial. Las principales cargas eléctricas las podemos clasificar de la siguiente manera:

- **Iluminación** (Lámparas Fluorescentes Lineales, Lámparas fluorescentes compactas, Lámparas de alta intensidad de descarga e incandescentes)

- **Motores eléctricos** (empleados para: proceso, sistema de bombeo, ventiladores, extractores, bandas transportadoras, sistemas de refrigeración, sistemas de aire comprimido, equipos de aire acondicionado, etc)

- **Equipo de cómputo y misceláneos** (equipos conectados a contactos regulados: televisores, cafeteras, radios, ventiladores, sumadoras, enfriadores, teléfonos, etc.)

ILUMINACIÓN

El propósito de esta metodología es analizar los sistemas de iluminación actuales con el objeto de identificar anomalías, malas aplicaciones o ineficiencia de estos equipos generando problemas con la calidad de la energía

Levantamiento de la información del sistema de iluminación en estudio.

Para realizar esta actividad se tiene que presentar un formato donde se vacía toda la información requerida del sistema de iluminación actual. El formato incluye la información que se describe a continuación:

- Denominación del inmueble o área: Nombre con el que se identifica el inmueble ya sea edificios, oficinas, pabellones, talleres, laboratorios (Ejemplo: Edificio A, Taller de Máquinas eléctricas). Indicar también el nivel o piso, se refiere a la ubicación del lugar , dentro del edificio de donde se hace el levantamiento (Planta baja, mezzanine, 1er. Piso, etc.).

- Fecha: Día en que se efectúa el levantamiento.

- Localización del luminario: Área donde se encuentra el luminario considerado (Taller 1, Nave de empaques, Biblioteca, Dirección General, Jefatura de personal, etc.).

- Dimensiones del área de ubicación de los luminarios: Dimensiones del lugar mencionado en el punto anterior.

- Costumbres de uso: Cuantas horas diarias y mensuales se utiliza la iluminación.

- Color del local: Color del local referido en los puntos anteriores. Si hay ventanas con cristal transparente se debe indicar. Ejemplos: Piso gris claro, Techo blanco mate, pared verde claro, dos paredes combinadas (0-1 metros. de altura pared verde claro y de 1-3 metros. cristal transparente).

- Tipo de luminaria; potencia de lámpara y balastro: Se refiere al tipo de luminarias por el tipo de lámparas que contenga (incandescente, fluorescente, de alta descarga, vapor de Hg o Sodio alta y baja presión, etc.) indicando cantidad de lámparas y potencia, ejemplo: Luminaria cuadrada con lámpara incandescente 100 Watts, Luminaria con lámpara fluorescente 2x39 Watts tipo Slim Line, Balastro normal 2 x 39 Watts, Luminaria tipo suburbana Vapor de Sodio alta presión 159 Watts. etc.

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

- Balastro: Se obtiene la marca, catálogo y se calcula el número 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.

- Cantidad de luminarios: Es el número de luminarias que se encuentran en el total referido en los puntos anteriores, indicando los que están fuera de servicio y los totales.

- Nivel de iluminación: Es el nivel de iluminación o iluminancia en luxes del área ya referida. Estas lecturas se realizan con un equipo llamado

luxómetro y para tomar la lectura actual se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. Se deben realizar sin luz natural (de preferencia de noche) con toda la iluminación disponble en operación.
2. Formar una malla imaginaria, con cuadros de un metro de lado y en cada nodo tomar una lectura, la célula fotosensible del luxómetro deberá colocarse a la altura del plano de trabajo, la lectura reportada es el promedio de todas. Se debe emplear luxómetro con carátula que cubra un rango de 0 -1000 luxes.

- Observaciones: En esta columna se anotarán las características especiales de las luminarias, local, tipo de montaje. Ejemplo: En talleres las luminarias pueden estar suspendidas, en ese caso se debe indicar la distancia del techo a la luminaria.

MOTORES ELECTRICOS

Esta metodología tiene como propósito analizar los sistemas de motores eléctricos actuales con el objeto de identificar anomalías, malas aplicaciones o ineficiencia de estos equipos generando problemas con la calidad de la energía.

El usuario debe proporcionar, a solicitud del consultor, la siguiente información:

- Inventario de todos los motores eléctricos instalados, integrando su identificación en planta, localización, marca, tamaño, antigüedad, aplicación y horas de operación al año.

- Motores nuevos instalados en los últimos dos años: como parte de un sistema e independiente.

- Relación detallada de los sistemas que utilizan variadores de velocidad, indicando sus características de operación y los tipos de variadores utilizados.

- Descripción de los procesos productivos por medio de diagramas de bloque.

- Planes de expansión o compra de nuevas máquinas o motores en los próximos 12 meses.

- Costo de reembobinado para diferentes tipos y tamaños de motores.

- Listado de acciones realizadas para el ahorro y uso eficiente de energía. Por otra parte para realizar un análisis efectivo se deberá contar con la siguiente información:

- Curvas características de funcionamiento de motores eléctricos y convertidores de frecuencia, así como el soporte y asesoría de los principales fabricantes y distribuidores de motores eléctricos y convertidores de frecuencia.

- Listado de precios de motores y convertidores de frecuencia de los principales fabricantes y distribuidores de estos equipos disponibles en México.

Recopilación y Verificación de la Información

Una etapa posterior dentro del estudio consiste en la verificación de la información preliminar. En cuanto a los motores eléctricos se obtendrá, los datos de placa y diseño:

- Marca del motor
- Potencia del motor (Hp)
- Tensión de placa
- Corriente de placa
- Velocidad de rotación a plena carga
- Velocidad de rotación de sincronismo
- Eficiencia nominal
- Tipo de motor; abierto, cerrado o a prueba de explosión
- Equipo acoplado: bomba, ventilador, compresor, banda transportadora, etc
- Verificación de los usos finales.
- Dispositivos usados para control y arranque.
- Programas de mantenimiento aplicados, indicando el tipo de monitoreo efectuado por la planta.
- Reporte de fallas mecánicas y/o eléctricas, describiendo las áreas de la planta en donde ocurren, las características de los motores, el número y tipo de fallas al año.
- Reporte de los motores que han sido reembobinados en los últimos dos años describiendo el taller donde normalmente se realizan las reparaciones.
- Métodos de alineación utilizados.
- Tipo de transmisión y acoplamiento de motor.

Para los equipos accionados por los motores se deben recopilar los siguientes datos:

- Características de diseño y operación.
- Curvas características de funcionamiento.
- Dispositivos de control instalados (flujo y presión en ductos y tuberías).

- Dispositivo de control (manual ó automático), especificando los parámetros de referencia.
- Horas de operación por nivel de carga.

Para los variadores de velocidad (mecánicos y electrónicos) se requiere obtener:

- Características de operación, aplicaciones, antigüedad, estadísticas de fallas y programas de mantenimiento.

EQUIPOS DE CÓMPUTO Y MISCELÁNEOS

Estos equipos son los más sensibles a las perturbaciones eléctricas y a las variaciones de tensión. Por misceláneos entendemos que son todos los equipos electrónicos de uso domestico o de oficina como: cafeteras, horno de microondas, radios, ventiladores, televisores, teléfonos, extractores, licuadoras DVD's, sumadoras, fax, fotocopiadoras, impresoras etc. o bien equipos electrónicos de instrumentación utilizados para algún proceso en la industria.

Los datos de importancia que podemos recabar de estos equipos son los siguientes:

- Tensión de alimentación
- Corriente
- Capacidad en watts del equipo
- Verificar si el equipo se encuentra en los contactos de emergencia.
- Verificar si tienen o requieren de algún tipo de protección.

FACTURACIÓN

Ejemplo de Aplicación. Una planta de la región centro en tarifa OM, tiene una potencia máxima de 536 kW, un consumo de energía de 311,952 kWh y un factor de potencia de 82%, estos valores se registraron en el mes de enero 1997. Cuál es el costo de facturación para este mes incluyendo el ajuste por combustibles y el recargo por bajo factor de potencia.

Resultados

El costo por demanda máx. = 536 kW x 39.95 $/kW = **21,413 $ mes**
Consumo energía = 311,952 kWh x 0.29866 $/kWh = **93,168 $ mes**
Ajuste por el precio de combustible = 311,952 kWh x 0.10733 = **33,4824 $ mes**

Ajuste por bajo factor:

$$\text{Factor de cargo} = 0.6 \times \left(\frac{90}{\text{F.P}} - 1 \right) \times 100$$

$$\text{Factor de cargo} = 0.6 \times \left(\frac{90}{82} - 1 \right) \times 100 = 5.85$$

Importe del cargo = Factor de cargo x Costos Energéticos (Demanda + Consumo)

Importe del cargo = 0.0585 x (21,413 $ + 93,168 $) = 6,703 $ mes

Continuando con el ejemplo, cual sería la capacidad de capacitores para mejorar el factor de potencia a 93%, la bonificación y el ahorro económico total por mejorar el factor de potencia hasta este valor.

La potencia activa actual es de 536 kW y el factor de potencia de 82% por tanto la potencia aparente es:

$$\text{Potencia aparente} = \frac{536\ \text{kW}}{0.82} = 653.66\ \text{kVA}$$

$$\text{Potencia reactiva} = \sqrt{653.66^2 - 536^2} = 374\ \text{kVAr}$$

La potencia activa actual es de 536 kW y el factor de potencia esperado de 93% por tanto la nueva potencia aparente es:

$$\text{Potencia aparente} = \frac{536\ \text{kW}}{0.93} = 576.34\ \text{kVA}$$

$$\text{Potencia reactiva} = \sqrt{576.34^2 - 536^2} = 211.83\ \text{kVAr}$$

La capacidad del banco de capacitores se determina mediante la diferencia entre la potencia reactiva actual y la deseada, por tanto:

Banco capacitores = Potencia reactiva actual - Potencia reactiva deseada

$$\text{Banco de Capacitores} = 374\ \text{kVAr} - 211.83\ \text{kVAR} = 162\ \text{kVAR}$$

El valor de la bonificación se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{Factor de Bonificación} = 0.25 \times \left(1 - \frac{90}{\text{F.P}}\right) \times 100$$

$$\text{Factor de Bonificación} = 0.25 \text{ x } (1 - 90/93) \text{ x } 100 = 0.806$$

Importe del Bono = Factor de Bonificación x Costos Energéticos (Demanda + Consumo)

$$\text{Factor de Bonificación} = 0.00806 \times (21{,}413\ \$ + 93{,}168\ \$) = 923\ \$\ \text{mes}$$

Ahorro total = Recargo + Bonificación

$$\text{Ahorro total} = 6{,}703\ \$ + 923\ \$ = 7{,}626\ \$\ \text{mes}$$

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS

Una vez realizado el levantamiento del sistema de iluminación se puede caracterizar de manera clara el sistema actual, es decir, las dimensiones y colores del local, las actividades que se realizan en el mismo, el tipo de lámparas instaladas, el tipo de luminarios y el estado de deterioro de ellos, el nivel de iluminación actual, el tiempo de uso del sistema de iluminación, el tipo de control, y las características de los componentes del sistema.

Toda esta información permitirá establecer si el sistema de iluminación es adecuado. Es importante además contar con información de los fabricantes para tener más elementos de análisis.

Entre los elementos que hay que analizar están:

- Los colores, los claros permiten una mayor reflectancia en techos, paredes y pisos.
- Que el tipo de lámparas sea adecuado para la altura de montaje.
- El estado de los luminarios, en cuanto es aprovechado el flujo luminoso de las lámparas.
- Si el nivel de iluminación actual cumple con los recomendados para cada actividad en particular.
- El control de encendido y apagado, individual y/o general verificando el seccionamiento de los circuitos.
- El tipo de luminaria, si su diseño es acorde con el área a iluminar y las tareas que se realizan.
- El tipo de lámparas y balastros, de que tipo de tecnología son debido a que existe una cantidad de equipos que son muy ineficientes a pesar de que cumplen con las normas de operación provocando problemas generalmente de armónicos, ruido, baja protección térmica

de los balastros, bajo factor de potencia que causa corrientes altas en las instalaciones, bajo nivel de iluminación problemas de confort, bajo índice de rendimiento del color de las lámparas, corta vida de los equipos, etc.

- El tipo de difusor, si esta amarillento, corroído, etc.

Una vez analizadas las condiciones de los equipos se prosigue a identificar opciones para un uso óptimo de la iluminación. Dentro de las diversas opciones tenemos las siguientes:

- Nuevos tipos de lámparas con tecnología actual.
- Balastros electromagnéticos de alta eficiencia y balastros electrónicos.
- Reflectores especulares para incrementar el nivel de iluminación.
- Reemplazo de luminarias mal aplicados.
- Empleo de controles (manuales o automáticos)
- Mejor aprovechamiento de la luz natural
- Mayor mantenimiento

Es necesario establecer todas las opciones posibles para identificar a través de un análisis aquellas que proporcionen un uso eficiente y buena calidad de la energía eléctrica. En algunos casos se deben realizar pruebas eléctricas y fotométricas en campo y en laboratorio para garantizar los resultados.

El mantenimiento regular y programado asegura limpieza y funcionalidad de los luminarios y las superficies del área iluminada. Pero aún a pesar de un mantenimiento adecuado a intervalos apropiados, el nivel de iluminación inicial puede sufrir una pérdida del 25 al 3% al final del periodo de mantenimiento. Un mantenimiento inadecuado o poco frecuente puede provocar una reducción en el nivel inicial de más del 50%. La mayoría de las pérdidas en el nivel de iluminación son causadas por la depreciación de los lúmenes inherentes al envejecimiento de las lámparas y a la acumulación de polvo en el interior y exterior de los luminarios así como en las superficies del local, estas últimas

son afectadas por las condiciones de suciedad en el medio ambiente en que se encuentren. Otros factores de pérdida de luz pueden ser: La temperatura, la tensión, la eficiencia del balastro y la depreciación permanente de las superficies interiores de los luminarios. Todos estos factores deben considerarse al calcular el nivel de iluminación inicial.

Un mantenimiento programado y sistemático es una ayuda efectiva para la conservación de la energía.

Un método para establecer un mantenimiento programado adecuado es comprobar periódicamente el nivel de iluminación con un luxómetro. Para una instalación nueva, las primeras lecturas deben ser tomadas después de 100 horas de uso y repetidas a intervalos apropiados. Para una instalación existente, los luminarios deben lavarse e instalar lámparas nuevas; de ahí en adelante se debe seguir el mismo procedimiento que para una instalación nueva. Cuando las lecturas hayan disminuido hasta el valor diseñado es tiempo de dar mantenimiento, o bien instalar mayor capacidad lumínica.

La utilización de nuevas tecnologías en los equipos de iluminación constituyen sistemas mas eficientes, sin embargo es importante analizar el lado negativo del uso masivo de éstos, la preocupación reside en la generación de armónicos que se producen debido a que este tipo de iluminación generalmente es no lineal en una instalación, trayendo como consecuencia la presencia de armónicos los cuales pueden ser reducidos instalando en los tableros principales un transformador de aislamiento logrando la disminución de la distorsión armónica total en corriente en un porcentaje muy considerable.

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS DE MOTORES ELÉCTRICOS

Una vez recopilada la información sobre el número y tipo de equipos que se encuentran operando en la instalación, al igual que en los sistemas de iluminación se podrá determinar las fallas, anomalías, la mala operación de los equipos para determinar acciones correctivas con la finalidad de mejorar la calidad de la energía eléctrica.

Para el análisis del estado de los motores se requiere analizar la siguiente información:

- Comparación de las condiciones actuales de operación del motor contra sus características nominales de diseño.
- Determinar si los equipos de arranque y control son los adecuados a las condiciones de operación y diseño (principalmente arrancadores a tensión plena).
- Verificar la efectividad de los programas de mantenimiento establecidos.
- Causas y efectos de las fallas eléctricas y mecánicas de motores.
- Historial de los motores para determinar el número de veces que han sido reembobinados, el costo de la reparación, el lugar donde se reparó, la causa por la que se quemó y la fecha de la última reparación.
- Determinar si las características de operación de los acoplamientos y transmisiones son adecuados a las condiciones de trabajo.
- En base a las horas de operación y potencias de los motores, hacer el cálculo de los KWH anuales consumidos para cada motor y demostrar que se aproxima al consumo anual facturado, menos el consumo por iluminación y otras cargas.

En caso de los equipos accionados por los motores analizar:

- Condiciones óptimas de funcionamiento en base a la información de los manuales de operación y curvas características.
- Periodicidad de los ajustes en la variación de flujo en ventiladores, sopladores, compresores y bombas.
- Identificación de los diferentes mecanismos de variación de velocidad en los motores eléctricos así como su correcta utilización.
- Variaciones en las condiciones de operación de los equipos susceptibles de aceptar convertidores de frecuencia, identificando las diferentes necesidades de flujos, presiones y número de horas por nivel de carga a lo largo de la jornada de trabajo o ciclos de operación.

MEDICIONES ELÉCTRICAS.

Se recomienda analizar por lo menos 10 curvas características de los siguientes puntos de medición.

- Curvas características del comportamiento de la carga y de los parámetros eléctricos de los motores, por 24 horas si la carga es variable.
- En cuanto a cada uno de los alimentadores principales de los centros de control de motores, se deben conectar 24 horas los analizadores de redes, midiendo los siguientes parámetros eléctricos para cada una de las fases: Corriente, Voltaje, Factor de potencia, kW, kWh y Corrientes armónicas.

1. Efectuar las mediciones puntuales necesarias, para determinar las condiciones de carga de las variables eléctricas, de todo motor mayor de 5 HP y con más de 1,000 horas de operación al año.

2. Para los motores de mayor consumo dentro de la planta, las mediciones deberán de estar enfocadas a identificar cuáles son las características del comportamiento de la carga y operación para poder recomendar aquellas medidas de uso eficiente que sean aplicables.
3. Para los motores de 15 HP o mayores operando abajo del 40% de carga y aquellos motores sobrecargados, las mediciones se realizarán por un tiempo suficiente para determinar sus características de operación.

ANÁLISIS DE MEDICIONES Y ACCIONES CORRECTIVAS.

El análisis de las mediciones en campo permite evaluar las condiciones reales de operación de los motores y proponer las medidas operativas, de reemplazo ó de reubicación de motores que permitan optimizar al máximo la operación eficiente de los motores obteniendo una calidad de la energía optima.

- Presentar las variaciones en las condiciones de operación de los equipos susceptibles de instalación de convertidores de frecuencia, identificando las diferentes necesidades de flujo, presiones y números de horas por nivel de carga a lo largo de la jornada de trabajo o ciclos de producción.
- Comparar datos nominales de operación contra las condiciones reales de funcionamiento.
- Analizar la posible sustitución o reubicación de los motores que estén trabajando sobrecargados o con un porcentaje de carga menor de 40%. Esto es importante analizarlo con detalle debido a que la eficiencia máxima de un motor eléctrico se presenta al 75% de carga y si se encuentra por arriba o por debajo de este porcentaje se presentan una eficiencia baja del motor y como consecuencia un bajo factor de potencia lo cual implica que los equipos consuman energía reactiva y por tanto se incremente la corriente total que circula tanto en las

instalaciones del consumidor como de la compañía suministradora. Los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por caídas de tensión y calentamiento, además de producir alteraciones en la regulación de la tensión, con lo cual empeora el rendimiento y funcionamiento de los equipos. Cuando se desea mejorar el comportamiento, es importante la relación de interdependencia entre la eficiencia (EF) y el factor de potencia (FP).

- Relacionar los niveles de producción y de carga de los motores, para establecer los patrones de referencia al momento de la aplicación de alguna de las medidas de optimización del sistema. En base al porcentaje de carga y diseño del motor se determina la eficiencia de operación de los motores, utilizando las curvas características de funcionamiento proporcionadas para ese fin. En esta etapa se analizan los factores que afectan la eficiencia de los motores y se presentan las acciones correctivas que se pueden tomar:

    1. Porcentaje de desbalanceo en el voltaje entre fases, indicando los valores por fase. Con los valores obtenidos en las mediciones eléctricas se procede a realizar el cálculo de regulación de tensión y desbalanceo en corriente y voltaje, con la finalidad de detectar condiciones que pudieran afectar el correcto funcionamiento de los motores. Se establece una tolerancia máxima del ±10% sobre el nivel de tensión normalizado de la tensión de operación de los equipos.
    2. En las mediciones se puede observar problemas de desbalanceo en corriente, lo que puede deberse a que con el paso del tiempo se agragan y disminuyendo cargas monofásicas desde el tablero principal de distribución, sin un análisis previo; y eso se puede ver reflejado en muchas instalaciones con la falta de identificación de algunos interruptores que existen en los tableros de distribución. Estas anomalías dificultan la operación de los equipos, comprometen la calidad y eficiencia y aumentan

el riesgo de accidentes de trabajo, por lo que se recomienda hacer un análisis minucioso de las cargas conectadas a los diferentes tableros. Realizando en caso de ser necesario un nuevo balanceo así como un mantenimiento preventivo y correctivo bien planificado efectuando aprietes y limpieza de zapatas para evitar calentamiento en los conductores o puntos calientes.

3. Identificación de motores sobredimensionados y sobrecargados, indicando el comportamiento de la carga durante un periodo típico de trabajo así como la eficiencia del motor en operación. En estos casos se sugiere utilizar los motores a un factor de carga del 75% siendo este el punto óptimo de operación de los motores.

- Del análisis de las mediciones eléctricas a los motores podemos encontrar problemas con bajo factor de potencia ya que los motores de inducción son una de las principales causas, en base a ellos se pueden tomar medidas para corregirlo, como son:

    1. Selección justa del tipo, potencia y velocidad de los motores que se instalan.
    2. Empleo de motores trifásicos en lugar de monofásicos.
    3. Aumento de la carga de los motores a su potencia nominal.
    4. Evitar el trabajo prolongado en vacío de todo motor.
    5. Reparación correcta y de alta calidad de los motores usados.
    6. Aplicación de motores de alta eficiencia intrínseca.
    7. Instalación de capacitores en los circuitos con mayor número de motores o en los motores de mayor capacidad.

La corrección del bajo factor de potencia en una instalación es un buen negocio no sólo porque se evitan las multas, sino porque permite que los equipos operen más eficientemente, reduciéndose así los costos por consumo de energía.

- Comparación de las condiciones de operación de los equipos accionados contra sus características de diseño.
- Determinación de los efectos de las corrientes armónicas en los sistemas electromotrices en donde se pueden instalar filtros o transformadores de aislamiento en los tableros.
- Comparación de funcionamiento de un convertidor de frecuencia, contra las condiciones de operación del reductor de velocidad mecánico instalado.

La reparación inadecuada de un motor puede ocasionar un incremento en las pérdidas y en los motores de corriente alterna reducir el factor de potencia. Todo esto conduce a una disminución de la eficiencia.

Por ejemplo un motor que sufrió un desperfecto en un devanado y que por ello hay que reembobinarlo, puede reducir su eficiencia considerablemente, si durante el proceso de reparación se presenta:

- Calentamiento desmedido del núcleo magnético al retirar el devanado.
- Daños en las ranuras al quitar el devanado dañado y montar el nuevo.
- Diferente calidad y calibre del alambre.
- Daños a los cojinetes y mal alineamiento.
- Mayor tiempo de secado final.

Por esto es importante que cuando un motor sea reparado, los trabajos los efectúe personal calificado para garantizar que la compostura sea realizada correctamente y que los materiales empleados sean de calidad igual o superior a los originales.

La misma atención se debe prestar a las partes eléctricas del motor que a los componentes mecánicos, tales como los cojinetes, el eje o el sistema de enfriamiento. Con frecuencia los daños que sufren los devanados tienen su origen en desperfectos mecánicos.

Un motor mal reparado al ser nuevamente instalado gastará más energía que nunca. Cuando los daños sean mayores resulta más económico sustituir un motor que componerlo. Se requiere hacer una evaluación técnica y económica, de donde puede resultar conveniente comprar un motor de alta eficiencia.
A continuación se enlista una serie de medidas que se pueden llevar a cabo para el correcto funcionamiento de los motores eléctricos consiguiendo con ello una calidad de la energía óptima.

- Elegir correctamente la potencia del motor: El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Además, los motores de inducción operan con factor de potencia muy bajo cuando trabajan con cargas reducidas o en vacío.
- Aumentar la eficiencia intrínseca de los motores: Con el empleo de motores ahorradores de energía -con alta eficiencia nominal- se logran ahorros que pueden alcanzar hasta 20% en los motores menores de 5 hp y hasta 40% en motores de 7.5 hp o mayores, si se les compara con motores antiguos de potencia equivalente, sin un incremento considerable en la inversión inicial.
- Seleccionar el motor de acuerdo con su ciclo de trabajo: Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranques y paros ocasiona una depreciación de las características de operación y eficiencia. Además, la elevación de temperatura producida puede causar daño irreversible a los aislamientos.
- Seleccionar el tipo de motor de acuerdo con el ambiente de trabajo: Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto, menos costosos, además de que operan con mayor factor de potencia que los cerrados. Sin embargo, en condiciones adversas del medio los segundos son los indicados.
- Seleccionar la velocidad: Si la carga lo permite son preferibles los motores de alta velocidad, porque son más eficientes -en especial los de

4 y 8 polos- además de que trabajan con mejor factor de potencia. Cuando se tienen operaciones o procesos industriales en que se tienen claramente detectados dos regímenes de funcionamiento -como en algunas bombas y ventiladores- es recomendable el uso de motores de 2 velocidades fijas, en lugar de un motor de velocidad variable, ya que éste último presenta menores eficiencias.

- Usar motores de inducción trifásicos en lugar de monofasicos: En motores de potencia equivalente, la eficiencia de los motores trifásicos es de 3% a 5% mayor que en los monofásicos. Tienen además otras ventajas como: requerir circuitos más simples, relación $/hp menor, corrientes de operación menores, menor vibración mecánica y factor de potencia notablemente mayor.
- Preferir motores de inducción jaula de ardilla: En aquellas aplicaciones en que es necesario tener control de la velocidad, actualmente es más conveniente el uso de variadores estáticos aplicados a motores con rotor jaula de ardilla, en lugar de la práctica común de usar motores de rotor devanado.
- Estudiar la posibilidad de usar motores sincronos: Cuando se requieren motores de gran potencia y velocidad constante debe considerarse la elección de un motor síncrono. Tienen eficiencias altas y pueden contribuir a mejorar el factor de potencia de toda la instalación.
- Reemplazar los motores antiguos: Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso se han degradado sus características nominales, casi siempre justifican su sustitución por motores nuevos normalizados y de alta eficiencia.
- Efectuar la instalación y montaje de acuerdo con las N.T.I.E..: Las normas técnicas de instalaciones eléctricas y los instructivos de los fabricantes de motores son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos y obtener así la máxima eficiencia nominal.
- Asegurar una buena conexión a tierra: Una tierra defectuosa o la ausencia de ésta puede poner en peligro la vida de los operarios si se

presenta una falla, además de ocasionar corrientes de fuga altamente productoras de pérdidas.

- Evitar concentraciones innecesarias: Se debe evitar concentrar motores en lugares reducidos o mal ventilados. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de la eficiencia.
- Vigilar la caída de tensión en los alimentadores: Una tensión reducida en las terminales del motor acarrea, entre otros problemas, incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de la eficiencia. Las normas permiten una caída máxima del 3% (ó del 5% en la combinación del alimentador y el circuito derivado) pero es recomendable que no rebase el 1%.
- Equilibrar la tensión en bornes de los motores: El desequilibrio entre fases no debe excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalanceo, mayor será la eficiencia de los motores.
- Corregir el factor de potencia: Compensar la energía reactiva demandada por los motores de c.a. más importantes o con mayor número de horas de funcionamiento, con lo que se reducen las pérdidas de energía y la caída de tensión en los conductores.
- Ajustar la excitación de los motores sincronos: A través del control de la excitación del rotor (en c.c.) se puede variar el factor de potencia de los motores síncronos y mejorar el factor de toda la instalación.
- Evitar la operación simultánea de motores grandes: Se debe evitar hasta donde sea posible la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir la demanda máxima.
- Usar arrancadores a tensión reducida: En motores que deban realizar un número elevado de arranques, el uso de arrancadores a tensión reducida evita calentamiento excesivo en los conductores y disminuye las pérdidas durante la aceleración.
- Estudiar la aplicación de otros tipos de arrancadores: Cuando la carga impulsada no requiere un alto par de arranque es recomendable el uso de arrancadores estrella-delta ó devanado partido. Son más económicos

y consumen menos energía que los de tensión reducida, aunque tienen el inconveniente de que el par de arranque se reduce notablemente.

- Usar reguladores de velocidad electrónicos para motores de inducción: En los motores de rotor devanado se llega a consumir hasta 20% de la energía total tomada de la red en los resistores para control de velocidad. Los modernos reguladores electrónicos son mucho más eficientes.
- Usar arrancadores electrónicos: El uso de arrancadores electrónicos en lugar de reóstatos convencionales para motores de corriente continua, permiten importantes ahorros de energía en el arranque.
- Usar controladores de velocidad para aplicaciones de velocidad variable: Los controladores estáticos de velocidad permiten eliminar engranes, poleas, bandas y otros tipos de transmisión que producen pérdidas importantes al variar la velocidad y en general son aplicables en aquellos sistemas donde la carga se pueda variar con la velocidad, como en sistemas de bombeo o compresión.
- Administrar los sistemas de ventilación: Conectar la ventilación solamente durante las bajas velocidades, en aquellos motores de velocidad ajustable y separada, provista por equipos auxiliares.
- Preferir el acoplamiento individual: En accionamientos con grupos de motores se consigue más fácilmente que cada motor trabaje a máxima eficiencia si el acoplamiento es individual.
- Preferir el acoplamiento directo: Siempre que el accionamiento lo permita, es preferible acoplar la carga directamente al motor, ya que se reducen las pérdidas en el mecanismo de transmisión.
- Usar acoplamientos flexibles: En motores sometidos a un número elevado de arranques súbitos es recomendable usar acoplamientos flexibles para atenuar los efectos de una alineación defectuosa, reducir los esfuerzos de torsión en la flecha y disminuir las pérdidas por fricción.
- Instalar controles de temperatura: En motores de gran capacidad es conveniente controlar la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes, a fin de minimizar las pérdidas por fricción.

- Mantener ajustado el equipo de protección: Los equipos de protección evitan los daños mayores a los motores producidos por sobrecalentamientos o sobrecargas, evitando que operen con baja eficiencia.
- Revisar periodicamente las conexiones: Las conexiones flojas o mal realizadas originan con frecuencia un mal funcionamiento del motor, además de ocasionar pérdidas por disipación de calor.
- Efectuar mantenimiento a motores que requieran escobillas y anillos rozantes: Los motores de corriente directa, síncronos y de rotor devanado requieren de un buen contacto entre las escobillas y los anillos rozantes. Un asentamiento incorrecto, suciedad o una deficiente presión de contacto provocan sobrecalentamiento y pérdidas de energía.
- Mantener ajustado el interruptor centrifugo en motores monofasicos: El mal funcionamiento del interruptor centrífugo en motores monofásicos de fase hendida y de arranque por capacitor provoca sobrecalentamiento en los conductores con la consiguiente pérdida de energía, y en caso extremo, la falla del motor.
- Verificar periódicamente la alineación: Una alineación defectuosa entre el motor y la carga impulsada incrementa las pérdidas por rozamiento y puede ocasionar daños al motor y a la carga.
- Reemplazar ejes dañados: Si los ejes del motor o de la transmisión se han doblado o dañado, las pérdidas por fricción se incrementan y pueden causar daños severos a los cojinetes.
- Dar mantenimiento al sistema de transmisión: Mantener en buen estado las poleas, engranes, bandas y cadenas o corregir la instalación puede evitar daños al sistema, reduciendo una carga inútil para el motor.
- Mantener en óptimas condiciones los cojinetes del motor: Si los cojinetes se encuentran en mal estado o si su lubricación es inadecuada, las pérdidas de energía pueden ser considerables. Repárelos o substitúyalos si tienen algún desperfecto y siga las instrucciones del fabricante para lograr una correcta lubricación.

- Monitorear periódicamente los parámetros mas importantes: Es recomendable verificar periódicamente las condiciones de operación y eficiencia a través de la medición de los parámetros más importantes, y tomar acciones correctivas cuando sean requeridas.
- Efectuar limpieza general rutinariamente: Con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, se debe efectuar una limpieza periódica a todos los componentes. La periodicidad depende de las horas de uso y de las condiciones de operación en general.
- Evitar el funcionamiento en vacío: Cuando un motor eléctrico trabaja en vacío opera prácticamente con el factor de potencia más bajo y con eficiencia cero, porque en esas condiciones toma energía de la red pero no produce ningún trabajo útil en la flecha. Es una situación que debe detectarse y evitarse oportunamente.
- Evitar el uso de motores de frecuencia nominal diferente a la frecuencia de la red: Operar motores de 50 hz en redes de 60 hz produce cambios en las reactancias de los devanados y aumento en la velocidad del campo rotatorio. Estas situaciones provocan que los motores trabajen con eficiencia muy inferior a la nominal.
- Establecer un programa de mantenimiento completo y vigilar su observancia: Es conveniente elaborar un programa de mantenimiento que considere acciones preventivas así como pruebas que permitan conocer las condiciones exactas en que se encuentra el equipo, con lo cual se pueden tomar las medidas correctivas pertinentes.
- Mantener actualizados los manuales de operación: Mantener actualizados los manuales de operación es una acción que permite establecer instrucciones concretas para los operarios, con lo que los motores trabajan con la mayor seguridad y eficiencia.

EQUIPOS DE CÓMPUTO

Los equipos modernos de cómputo están dotados de excelentes circuitos y filtros para distribuir la corriente eléctrica en su interior. Pero no obstante su propia protección, toda computadora debe protegerse de las variaciones de las tensiones externas.

Lo necesario es colocar entre la PC y la red de energía pública, elementos de barrera como reguladores de tensión y supresores de picos de tensión (surge protector). Pero necesitamos conocer varios detalles técnicos adicionales para comprender e implementar una adecuada instalación y protección para las PC.

El circuito eléctrico de alimentación de una computadora necesita normalmente tres líneas de alimentación: la fase, el neutro y la tierra. En la secuencia de instalación se conecta primero el regulador de tensión o acondicionador, quien se encarga de mantener una tensión promedio (110-115 volts). Un buen regulador /acondicionador abre el circuito de alimentación cuando las variaciones de tensión exceden los rangos + - 90 v. ó + - 135 v.

En ciertos casos es necesario instalar a continuación un sistema de energía ininterrumpida (UPS), esto es cuando trabajamos con datos muy valiosos o delicados en la PC. Después del regulador /acondicionador o UPS se conecta la computadora. Si el regulador no tiene las salidas o tomacorrientes necesarios para conectar todos los cables, tienes que adicionarle un multitoma con 4 o 6 posiciones adicionales y a este conectar el PC.

Por otra parte, debes tener en cuenta que si el uso de tu equipo es doméstico o casero, (nos referimos a que lo tienes en zona de poca variación de tensión) puedes utilizar el tomacorriente común de una casa u oficina. Pero si estas en zona industrial o tu equipo forma parte de un grupo de computadoras (centro de cómputo), el circuito de energía eléctrica debe ser independiente, es decir habrá que crear una red eléctrica exclusiva para las computadoras partiendo de la caja de breakers.

El polo a tierra. Las computadoras actuales se protegen muy bien gracias a los excelentes componentes de su fuente y los reguladores de voltaje modernos. Pero el circuito con polo a tierra se vuelve imprescindible cuando la instalación es de tipo comercial (como la de una empresa o institución de enseñanza). En tales casos en donde los altibajos del fluido eléctrico son constantes se requiere además crear una instalación eléctrica independiente, con su apropiada conexión a tierra.

Todos los componentes de protección y la PC reciban polaridad y referencia de tierra adecuadas. En la toma eléctrica en donde se van a enchufar los aparatos de protección para el PC, los cables deben conectarse de tal manera que la ranura pequeña debe recibir la fase y la ranura grande, el neutro. El agujero redondo es para conectar el cable de conexión a tierra.

Un error común es crear una instalación a tierra consistente en enterrar una varilla Copperweld para hacer un puente entre esta y el borne de tierra de la toma eléctrica para la PC.

Aunque parece práctico es un riesgo, pues por el mismo camino (inverso a la lógica que pensamos: que la corriente solo debe salir de la PC hacia la varilla) puede entrar una corriente (como la de un rayo o un cable vivo aterrizado accidentalmente en el área de la varilla) y luego de entrar por la tierra de la PC, emitir una descarga viva de corriente intolerable para los circuitos de la PC (se encuentran a través de los chips y componentes, y por el camino inadecuado,

una línea y el neutro o línea común permitiendo la presencia de tensiones superiores a 3 volts cuando la diferencia de potencial recomendada por los fabricantes de PC entre neutro y tierra debe estar por debajo de los 3 volts).

Técnicamente La conexión del borne de tierra del toma eléctrico debe conectarse al borne de tierra de la empresa suministradora de energía (en el tablero de distribución de la edificación).

Si no hay un borne de tierra disponible (y cuando se ha establecido que el polo es vital como en el caso de redes y grupos de la PC con instalación eléctrica independiente), es recomendable utilizar un circuito eléctrico que cree el polo, tal como el que utilizan por ejemplo los aviones. Eso se consigue con aparatos especiales de protección para PC conocidos como acondicionadores de tensión.

Otro error al crear una conexión a tierra sería hacer un puente entre el neutro de la toma eléctrica y el borne de tierra del mismo. solo tenemos que imaginar por ejemplo lo que pasaría si los cables fase y neutro se llegaren a invertir por accidente: el vivo quedaría en contacto directo con el chasis, afectando la seguridad del operador y dejando a la PC sin la referencia de tierra.

Filtros de ruido

Son unidades que se conectan a las redes de computadoras. Permiten el pasaje de la frecuencia de alimentación, pero presentan una elevada impedancia que bloquea o atenúa los ruidos o señales desconocidas, usualmente de alta frecuencia.

Algunos filtros pueden eliminar todas las tensiones en un rango de +/- 2V de la tensión instantánea en cualquier punto de la onda sinusoidal. los filtros suelen estar combinados con supresores de transitorios o con otros dispositivos de acondicionamiento de líneas

Supresores de transitorios

Los Supresores de Tansitorios, denominados también Dispositivos de Protección contra Perturbaciones (Surge Protective Device), son equipos de gran importancia teniendo en cuenta la protección que brindan.

Existen algunos conceptos que se debe conocer para una adecuada selección de estos equipos, estos son:

Corriente Máxima de descarga (Imax): es la corriente máxima que se requiere que el protector pueda descargar una vez en su vida útil, correspondiendo a condiciones excepcionales. Las corrientes transitorias son generalmente representadas como formas de onda 8 / 20. Donde el 8 representa el tiempo de crecimiento y el 20 el de caída hasta la mitad de su amplitud. Ambos tiempos expresados en microsegundos.

Nivel de protección (Up): es el nivel de protección de tensión compatible con la sensibilidad de los equipos a proteger, donde:

- Up = 2,5 kV para equipamiento electrotécnico, controles eléctricos, interruptores, etc.
- Up = 1,8 kV para equipamiento electrotécnico que contenga circuitos electrónicos sensibles, como TV, audio, lavarropas, etc.
- Up = 1,5 kV para equipamiento electrotécnico sensible, como ser computadoras, máquinas registradoras, etc.

Los Supresores de Transitorios son fundamental cuando es necesario proteger circuitos electrónicos sensibles, donde se debe utilizar un dispositivos que puedan suprimir efectivamente los transitorios antes que alcancen el pico de la onda senoidal.

SUBESTACIÓN

SERVICIO MENSUAL

- Limpieza exterior de la subestación (gabinetes, tarimas, hules, zonas de seguridad, etc).
- Revisión de estado físico y ubicación de elementos de seguridad (casco, lentes, guantes, pértiga, etc).
- Limpieza exterior y revisión visual de interruptores.
- Revisión visual de equipo de medición.
- Revisión visual de apartarayos.

SERVICIO ANUAL

Para la realización de dicho mantenimiento se requiere que la subestación esté desenergizada.

- Limpieza general (externa e interna).
- Revisión de tornillería general del equipo.
- Medición de la resistencia de aislamiento de los apartarayos.
- Mantenimiento a interruptores principales: limpieza general.
- Lubricación general.
- Mantenimiento a cuchillas: limpieza, lubricación, ajuste de presión, Revisión de contactos y pruebas de operación.
- Mantenimiento preventivo a buses de alta tensión: Limpieza general, reapriete de conexiones, pruebas de resistencia de aislamiento del bus.
- Revisión y limpieza general de tableros.
- Apriete de conexiones.
- Acomodo de cables (peinado).

TRANSFORMADORES

En vista de que los transformadores son los eslabones vitales para la operación de las grandes empresas industriales y comerciales, es necesario que para su funcionamiento continuo y se efectúe un programa regular de inspecciones, pruebas y mantenimiento de rutina. En nuestra operación de mantenimiento, debemos verificar lo siguiente:

SERVICIO MENSUAL

- Revisar termómetro.
- Verificar nivel del aceite.
- Verificar que no hay fugas.
- Verificar que sigue bien ventilando el cuarto en el, que se aloja el transformador.
- Verificar que no hay trazos de carbón, ni desprendimiento de gases o humos.

SERVICIO ANUAL

Para la realización de dicho mantenimiento se requiere que la subestación esté desenergizada.

- Limpieza exterior.
- Pruebas de resistencia de aislamiento A vs B+T, B vs A + T
- Pruebas de relación de transformación (TTR).
- Medición de la resistencia de los aisladores.
- Revisión, ajuste y apriete de barras de cobre, cables y conexiones en general.
- Pruebas de control de aceite
- Completar nivel si es necesario.
- Apriete general de tornillería y conexiones

PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Verificar que las relaciones de transformación para las diferentes posiciones del tap de un transformador están dentro de la tolerancia de medición.

La relación de transformación es el número de vueltas que lleva el devanado de alta tensión contra el número de vueltas del devanado de baja tensión. Para los transformadores que tienen cambiador de derivaciones (tap´s) para cambiar su relación de tensión la relación de transformación se basa en la comparación entre el tensión nominal de referencia del devanado respectivo contra el voltaje de operación o % de voltaje nominal al cual está referido. La relación de transformación de éstos transformadores se deberá determinar para todos los tap´s y para todo el devanado.

La tolerancia para la relación de transformación, medida cuando el transformador está sin carga debe ser de ± 0.5% en todas sus derivaciones.

PRUEBA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Verificar que los aislamientos del transformador bajo prueba cumplen con la resistencia mínima soportable bajo la operación a la que serán sometidos, así como de comprobar la no inadecuada conexión entre sus devanados y tierra para avalar un buen diseño del producto y que no exista defectos en el mismo.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS AL ACEITE

Los análisis Físico - Químicos proporcionan la información relativa a la calidad del aceite, indicando sus condiciones químicas, mecánicas y eléctricas,

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELÉCTRICA AL ACEITE

El objetivo de esta prueba es comprobar que el aceite usado como líquido aislante de un transformador cumpla con las especificaciones eléctricas

necesarias para ser usado. Y prevenir la contaminación con humedad del aceite e impurezas.

PRUEBA DE DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN

Esta prueba es útil para medir el grado de acidez del aceite como resultado de la oxidación. Los aceites grasosos orgánicos son perjudiciales para el sistema de aislamiento y pueden provocar incluso corrosión en el acero del núcleo cuando hay humedad presente.

Un incremento en el número de neutralización es un indicativo del grado de deterioro del aceite, los sedimentos o lodos son producto inevitable de una situación de acidez no corregida

Prueba de tensión interfacial

Esta prueba sirve para medir la tensión en la interfase entre dos líquidos indisolubles (agua y aceite).

Esta prueba es extremadamente sensible a la presencia de productos de degradación del aceite y contaminantes solubles polares provenientes de los aislamientos sólidos.

Prueba de color del aceite

Esta prueba es visual y por si mismo es un indicativo de cambios marcados que pueden ocurrir en el aceite por la oxidación de este. Las pruebas se realizan comparando el color de la muestra de aceite con una tabla de colores normalizada.

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LOS AISLAMIENTOS

El Factor de Potencia de un aislamiento es una cantidad adimensional normalmente expresada en por ciento, que se obtiene de la resultante formada por la corriente de carga de pérdidas que toma el aislamiento al aplicarle una corriente de un voltaje determinado, es en si, una característica propia del aislamiento al ser sometido a campos eléctricos.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE OHMICA

Los puntos con alta resistencia en partes de continuidad, son fuente de problemas en los circuitos eléctricos, ya que originan caídas de tensión, fuentes de calor, pérdidas de potencia, etc.; ésta prueba nos detecta esos puntos.

En general, ésta se utiliza en todo circuito eléctrico en el que existen puntos de contacto a presión deslizables, tales circuitos se encuentran en interruptores, restauradores, dedos de contacto de reguladores, o de cambiadores de derivaciones y cuchillas seccionadoras.

Resistencia Ohmica de Devanados. Con su aplicación se detectan los falsos contactos y espiras en corto circuito al compararse con los datos anteriores en caso de no tenerlos considerarlos como iniciales.

ANÁLISIS DE CONTENIDO DE BIFELINOS POLICLORADOS (PCB’S)

La Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y El Instituto Nacional de Ecología (INE) establecen en las leyes vigentes, que todo material conteniendo Bifelinos Policlorados (PCB's) en concentración mayor a 50 PPM es un Residuo Peligroso y por lo tanto debe de ser descontaminado como medida de protección ambiental y conservación de nuestro ecosistema. A pesar de que el PCB no se reproduce, su presencia solamente es detectada mediante análisis de laboratorio "Cromatografía de

Gases", por lo que es fácil contaminar equipos con este compuesto cuando no se toman las precauciones conducentes.

CAMBIO DE ACEITE.

El aceite aíslate se deteriora por la acción de la humedad, del oxígeno, por la presencia de catalizadores (cobre) y por temperatura. La combinación de estos elementos, efectúan una acción química en el aceite, que da como resultado, entre otros, la generación de ácidos que atacan intensamente a los aislamientos y a las partes mecánicas del transformador. De esta acción química resultan los lodos que se precipitan en el transformador y que impiden la correcta disipación del calor, acelerando por lo tanto el envejecimiento de los aislamientos y su distribución.

Del análisis de fallas en transformadores, podemos determinar que salvo en el caso de sobre tensiones ocasionados por rayos, todas las demás fallas se pueden prever con un buen mantenimiento de nuestro transformador y si la falla está en proceso, un buen registro de mantenimiento y estudio del mismo podrá detectarla a tiempo.

Lo eficiente del servicio dependerá de la periodicidad del mismo. Si bien es reconocido que un mantenimiento preventivo realizado en plazo de cada año, es un buen servicio para el transformador en aceite y dependerá si se lleva o no un registro de operaciones y resultados.

Por supuesto que la labor de mantenimiento preventivo, basada en una periodicidad adecuada y del análisis de sus resultados, contribuirá a lograr que nuestro transformador obtenga su vida útil, y a prevenir fallas en éste. Esto último es muy importante, pues el tener un transformador fuera de servicio se traduce al menos en una paralización parcial de operaciones en la industria y por lo tanto en pérdidas de producción.

SISTEMA DE TIERRAS

El equipo utilizado para las mediciones es un medidor de tierra. El método utilizado es el de tres puntos. El mantenimiento con las mediciones al sistema es necesario e inclusive es requerido por las autoridades en el cumplimiento de las normas NOM-022-STPS-1999 y NOM-029-STPS-2005. Las pruebas consisten en la medición de los siguientes sistemas:

- Sistema de tierra del sistema eléctrico.
- Sistema de tierra de pararrayos.

PLANTA DE EMERGENCIA

Dentro de los mantenimientos de la planta de emergencia existen dos modalidades los preventivos y correctivo. Los datos que comúnmente son necesarios recaudar son:

PLANTA DE EMERGENCIA: Marca, Motor, Combustible y Serie

GENERADOR: Generador, Modelo, Capacidad y Voltaje

TABLERO DE TRANSFERENCIA: Operación, Capacidad y Marca del Equipo

MOTOR: Filtro de aceite, Filtro de combustible, Filtro de aire, Filtro de agua, Fecha cambio de batería y Fecha cambio de mangueras

Acciones al realizarse el Servicio de Mantenimiento Preventivo:

Generador: Revisión, limpieza y aspirado del generador e interruptor de protección de la planta de emergencia.

Reapriete general de conexiones mecánicas y eléctricas del generador e interruptor.

Revisión de baterías, drenado de tanque de combustible y cambio de filtros.

Cambio de Aceite y drenado de aceite.

Revisión, limpieza cepillado y aspirado del panel del radiador. Cambio de líquido refrigerante.

Revisión, limpieza y aspirado de cargador de baterías.

Tablero de Transferencia Automática: Revisión, limpieza y aspirado de tablero de transferencia, reapriete general de conexiones mecánicas y eléctricas, pruebas de operación en vacío y con carga.

En términos generales se verifica el correcto estado y operación de los componentes y accesorios.

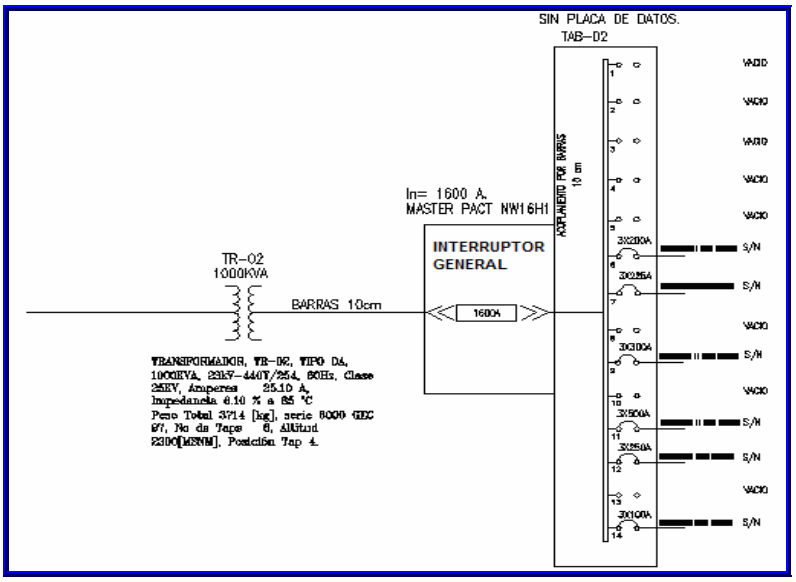
TABLERO PRINCIPAL

El interruptor del tablero principal tiene la finalidad de proteger al transformador de alguna falla que existe en los derivados, dentro de un levantamiento se obtienen los datos de placa como se muestra a continuación:

INTERRUPTOR ELECTROMAGNÉTICO GENERAL DEL TR-02 DE 1000 kVA	
MARCA	MERLÍN GERLIN MASTER PACT NW16H1
In	MAX 1600 A.
Ui	1000V
U imp	12 kV
Frecuencia	50/60 Hz
Ue	240/440V 480/690V
Ics (=Icu)	65 KA 65 KA
Icw/ 1 S	65 kA
Número ID	IEC 60947-2
	UTE VDE BS CEI UNE AS NEMA

De acuerdo a la carga es la capacidad que tendrá, así mismo es necesario que se calcule el conductor o bien las barras de tal manera que sea el adecuado.

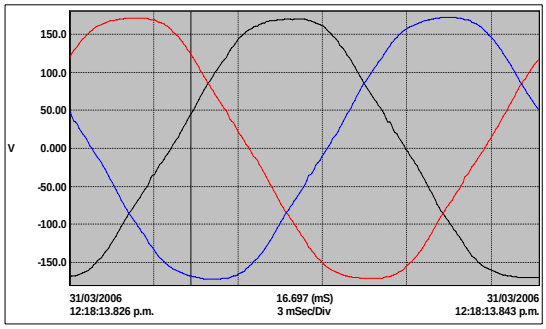
Debe verificarse la coordinación, requerida para la interrupción ordenada minimizando el riesgo para las personas y para el equipo, lo anterior de acuerdo a la norma NOM-001-SEDE-2005. El siguiente diagrama unifilar esquematiza la función del interruptor general:



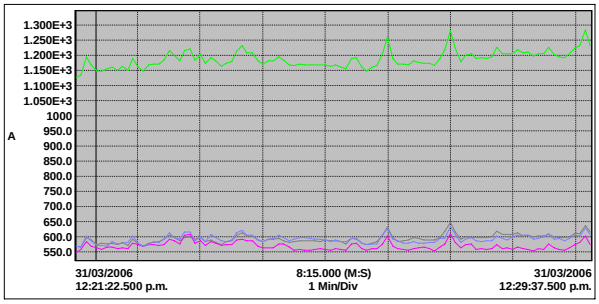
ANALIZADOR DE REDES

El analizador de redes es un instrumento que permite visualizar gráficamente el comportamiento eléctrico, de tal suerte que se puede realizar un análisis de las fallas en el sistema. A continuación se muestra un ejemplo real:

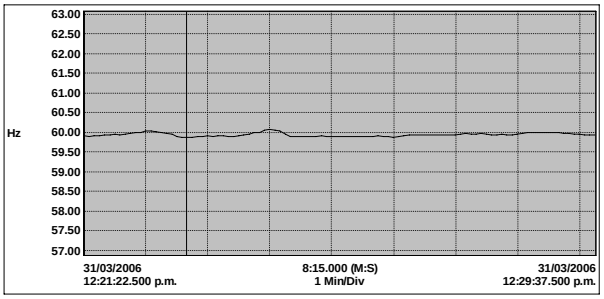
La forma de onda de un sistema trifásico, tanto de tensión como de corriente debe ser una senoide pura que se defasan 120º entre cada una de las fases. Como puede observarse la forma de onda de tensión presentada se encuentra aceptable.



Los valores rms de tensión y de corriente, éstos últimos son utilizados para checar el desbalanceo de la carga (también puede ser utilizado la potencia), de acuerdo a la norma NOM-001-SEDE-2005 solo se permite el 5%.

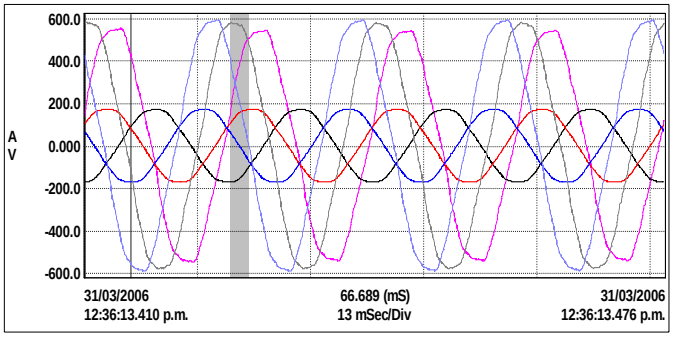


En cuanto a la frecuencia, la norma permite el rango de 59.8 a 60.2 Hz parámetro que puede ser analizado con la siguiente gráfica.

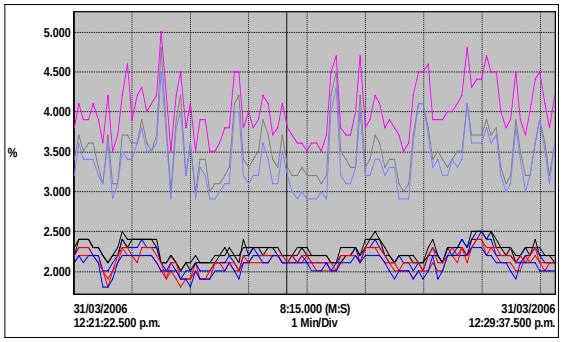


La confiabilidad como tal está asociada al tipo y número de disturbios que se presentan en la red eléctrica, uno de ellos son los transitorios los cuales se presentan a través de cambios repentinos en las condiciones de la red y se pueden clasificar en impulsos, oscilatorios, interrupciones sostenidas y

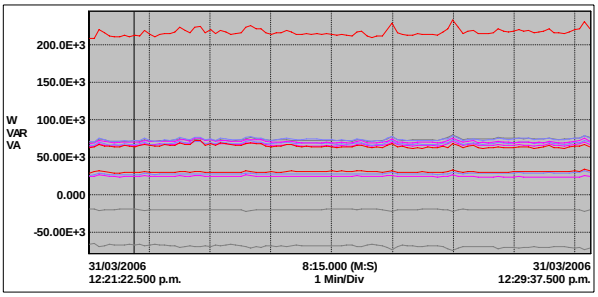
desbalance de tensión. A continuación se muestra la gráfica de transitorio tanto de tensión como de corriente.



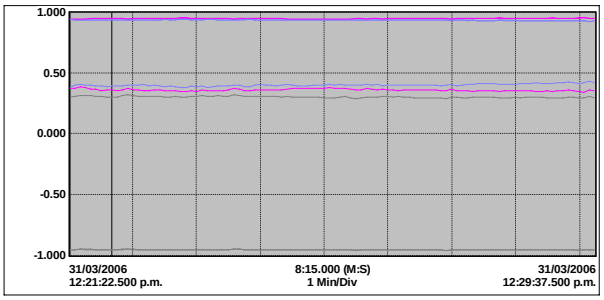
De acuerdo a la norma IEEE-519 se tiene lo siguiente: Los usuarios deberán responsabilizarse para limitar la cantidad de las corrientes armónicas sobre el sistema de potencia en general. Las compañías suministradoras deberán responsabilizarse de las condiciones de resonancia en el sistema de potencia, que pueden crear niveles de distorsión de tensión inaceptables. Básicamente la compañía debe suministrar una tensión de calidad. A continuación se muestra la gráfica de armónicos tanto de corriente como de tensión.



En cuanto a potencia se tiene la potencia activa, reactiva y aparente. Dicho parámetro es utilizado para comprobar que la carga es correcta para el interruptor que se tiene, saber los picos, checar el desbalanceo de cargas, etc.



El factor de potencia debe ser de 0.9 como mínimo, lo cual es establecido por la norma NOM-001-SEDE-2005. De lo contrario estos valores son analizados y de acuerdo al comportamiento es posible que si es menor se requiera de un banco de capacitores.

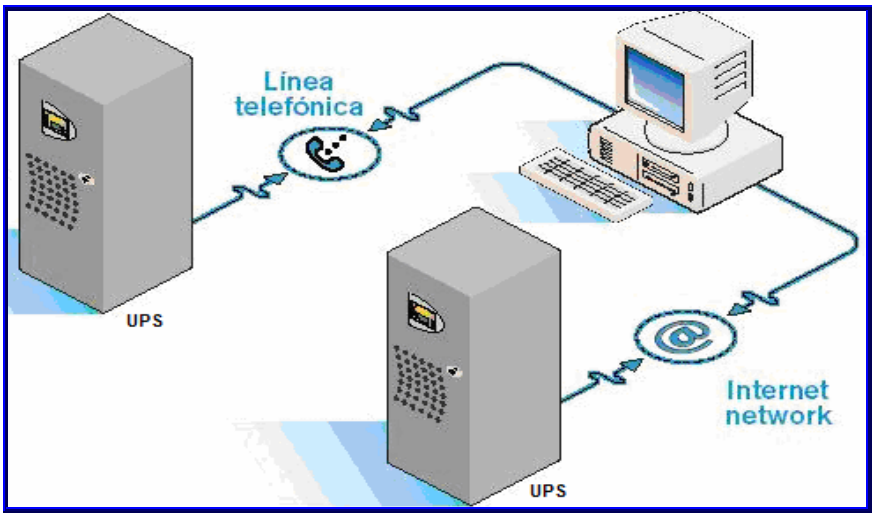


El analizador de redes tiene como finalidad monitorear los parámetros eléctricos, permitiendo la corrección de los mismos ya que los aspectos económicos de la potencia juegan un rol crítico en la industria como nunca antes. Con el alto costo de la generación de electricidad, transmisión y distribución, es importante controlar efectivamente el uso de la energía.

SISTEMAS DE ENERGÍA ININTERRUMPIBLE (UPS)

La carga que se le conecta a un ups deberá ser de acuerdo a su capacidad, la carga nominal indica lo que se le puede conectar en el peor de los casos y nunca debe superarse. Por ejemplo una PC, su potencia real (en Watts) equivale a 130 W reales, es decir equivale a una lámpara común de 130 W.

Debido a la importancia que es tener energía en las industrias, al menos para la carga más críticas, es necesario tener equipos UPS los cuales deben tener un mantenimiento el cual puede ser preventivo o correctivo. Dicho equipo tiene la ventaja de monitorear a distancia los parámetros, establecer un diagnóstico seguro que facilita una reacción rápida y eficiente. A su vez, este servicio es provisto de un software que permite habilitar diversos números celulares con permiso a acceso remoto para interrogar, ordenar y recibir alarmas emitidas o bien a través de la Internet.



Durante el mantenimiento se realiza lo siguiente: Se comienza con una limpieza general del UPS y sus baterías por medio de una sopladora potente, se continúa con el desmanchado de sus páneles con un líquido especial que no daña las superficies. Después se revisan internamente el equipo en todos sus componentes, empezando con una supervisión visual, buscando cables

sueltos, sobrecalentamientos o componentes que por el mismo uso requieran reemplazo; por otra lado se revisan conectores sueltos en las tarjetas que por la vibración del mismo equipo se van soltando. Finalmente se revisan los ajustes de las tarjetas para proceder a encender el equipo nuevamente y verificar que los niveles de energía de potencia AC y DC sean los correctos, se realiza un simulacro de corte de energía y si existe planta de emergencia se espera que sincronice adecuadamente. Se llena un reporte con parámetros de tensión, corriente, temperatura, frecuencia tanto en la entrada como en la salida, así mismo se checa el control de estado de alarmas, control de estado de baterías, control de estado de fusibles, control de estado de señalización, control de estado de ventilaciones internas, control de estado de tensiones y corrientes, verificación de puesta a tierra, etc.

Adicionalmente al servicio anterior de los UPS´s, también se revisan las baterías en su estado físico, es decir, que no estén infladas, sulfatadas o los conectores flojos; se procede a tomar lecturas de tres formas diferentes: en flotación con el cargador encendido, a circuito abierto con el cargador apagado y una prueba de descarga de cada batería mediante un resistor de potencia para el caso.

Con estos parámetros y los años que tienen instaladas las baterías, podemos determinar las condiciones actuales de las baterías y prever el cambio oportuno de las mismas antes de que causen problemas por no soportar los cortes de energía adecuadamente.

CONCLUSIONES

En pocas palabras las extensas aplicaciones que se presentan en la sociedad han propiciado que la energía eléctrica sea indispensable para la humanidad, por lo cual es necesario la producción en grandes cantidades para su distribución.

La Electricidad ha propiciado el desarrollo tecnológico por el cual es indispensable que la empresa suministradora entregue a los usuarios continuidad del servicio, así mismo una buena calidad de la energía, por otro lado los consumidores deben darle una buena utilización.

Con el surgimiento de los equipos electrónicos de potencia y microprocesadores, se requirió que el suministro de energía eléctrica sea de una alta calidad, debido a la sensibilidad de estos ante las variaciones de tensión, corriente y frecuencia, parámetro que deben operar en ciertos límites de amplitud y pureza apegándose a la normatividad vigente para una instalación en particular.

Una mala calidad de la energía es responsable de cualquier falla captada por cualquier equipo sensible como las computadoras, controladores de proceso e impulsores de velocidad variable.

A finales del porfiriato la energía eléctrica era muy importante para los procesos industriales. En México la electrificación se divide básicamente en dos etapas, la primera abarca desde su introducción en el país y la segunda a partir de 1905, año en el cual las grandes compañías extranjeras se interesan por invertir en el sector eléctrico.

Debido a la inversión constante en maquinaria poderosa para la distribución de la energía eléctrica a los poblados lejanos, este negocio ya no fue tan redituable como se pensaba.

Y fue hasta en 1937 cuando el general Lázaro Cárdenas, presidente en esa época, quien promulga la Ley para la creación de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente el gobierno tiene a discusión la privatización de la industria eléctrica.

En México se tiene una generación aproximada de 45,500 MW, de los cuales el 58. 83% la utilizan en la industria, el 25. 73% en uso doméstico y el resto es utilizado en el sector comercial, agrícola y servicios.

Para la obtención de la calidad de la energía eléctrica es necesario prever y corregir los disturbios generados en los sistemas eléctricos, los cuales alteran las condiciones adecuadas de tensión, corriente y frecuencia. Por otro lado también se tiene el costo, el cual se eleva al utilizar equipos de alta eficiencia, como son variadores de velocidad en motores, bancos de capacitores, en general equipo de cómputo para optimizar procesos, etc., que a su vez generan niveles de armónicos que afectan tanto a las compañías suministradoras como a los usuarios.

El recorrido que la energía realiza para llegar a su destino final y poder utilizarla desde su generación, pasando por la transmisión y terminando en la distribución se le llama Sistema Eléctrico de potencia (SEP).

En la generación se tiene como finalidad producir la energía eléctrica, en México se utilizan básicamente centrales Termoeléctricas que producen aproximadamente el 48% y la hidroeléctrica con el 22%, entre otras que generan el resto como la geotermoeléctrica, la carboeléctrica, la eoloeléctrica y la nucleoeléctrica. Los módulos solares es la tecnología que en el futuro tendrá mucha aplicación, sobre todo en poblados lejanos.

Actualmente con las líneas de transmisión es posible llevar la electricidad a los poblados más alejados, en el 2005 se contaba con aproximadamente 45, 000 km de longitud de líneas de transmisión.

Al llegar la energía eléctrica a los usuarios es necesario transformarla a través de subestaciones para su distribución, a niveles de tensiones comerciales (127 V, 220V). Esto se realiza por medio de los transformadores.

Como ya se mencionó es importante la electricidad para los procesos industriales que permitan la continuidad y calidad del servicio entregado por las compañías suministradoras. El TIU es el tiempo de interrupción por usuario, el cual indica la calidad en el suministro de la energía eléctrica, en México se tiene un TIU de 200 por lo cual es necesario perfilarnos hacia lo que actualmente tienen los países industrializados como E.U y Canada, sin caer en la exageración como es el caso de Japón en donde se tiene un TIU de aproximadamente 10 minutos ocasionando que el costo de la energía se eleve demasiado.

Por tal motivo la industria en México requiere de un equilibrio entre costo-beneficio, de tal suerte que si bien la energía debe tener una buena calidad no tenga un costo muy alto. Las tarifas tienen como base para formularlas la demanda máxima, la energía consumida y el factor de potencia.

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se encuentra dividido en nueve áreas interconectadas entre sí, de tal forma que se puede aprovechar el uso de las tarifas en la diferenciación horaria.

Las tarifas se clasifican en específicas y generales, a su vez las primeras se clasifican en domésticas, de alto consumo, servicio público, agrícola y temporal. Las generales se clasifican en baja tensión y en media tensión.

El objetivo de la calidad es corregir los disturbios, evitando fallas que se presentan en el sistema eléctrico ocasionados por un consumidor, que a su vez afecten a otros consumidores vecinos.

Los disturbios más comunes son las bajas y altas tensiones, los desbalanceos, la regulación de tensión, etc. Así mismo están los armónicos los cuales ocasionan calentamiento en los cables, producen fugas en el neutro, distorsionan la forma de onda, entre otras cosas más, afectando tanto al usuario como a la compañía suministradora, una forma de corregirlos es a través de filtros.

La calidad de la energía está muy relacionada con los problemas de conexión a tierra que engloba a casi el 80% de estos.

Casi el 70% de la energía consumida en la industria se debe a los motores por lo que para disminuir el monto de la facturación se requiere de supervisar que realicen un trabajo eficiente, así mismo de una buena instalación eléctrica y mecánica, el uso de sistemas de control para la optimización de la carga.

Debido a que los cortes de energía son inevitables, causados por una mala calidad de la energía, es requerido de equipos como Baterías, Plantas de emergencia y UPS, que respaldan a cierta cantidad de la carga o bien en su totalidad según sea el caso.

Para la detección de la existencia de una mala calidad de la energía son necesarios equipos de medición que permitan prevenir, identificar y solucionar dichos problemas, apoyándonos en la tecnología y software que actualmente respaldan el monitoreo. Estos equipos son el multímetro, osciloscopio, analizador de perturbaciones, analizador de espectros, analizador de armónicos y analizador de redes (el cual es la combinación de los anteriores tiene la ventaja de ser más completo).

En sí para lograr un despegue de la industria en México y que pueda ser competitiva en este mundo globalizado entre otros factores, es necesario mejorar la calidad del suministro de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005. Instalaciones Eléctricas.

2. Institute of Enginering Electrical and Electronics IEEE.

3. Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-1999. Electricidad Estática en los Centros de Trabajo – Condiciones de Seguridad e Higiene.

4. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999. Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo.

5. Norma Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2005. Mantenimiento de las Instalaciones Eléctricas en los Centros de Trabajo – Condiciones de Seguridad.

6. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo, Ing. Rodolfo Romero Carrera, Editorial Limusa, México 1978.

7. Plantas Eléctricas, Carlos Luca Marín, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México 1969.

8. Sistemas de Iluminación Industriales, John P. Prior, Mary E. Gazley Frier, Editorial Limusa, México 1986.

9. Ingeniería Eléctrica, Norman Balabanian, Wilbur R. Le Page, Traducido por: Ing. Constantino Carrera G., México 1971.

10. Sistemas de Distribución, Ing. Roberto Espinosa y Lara, Editorial Limusa, México 1990.

11. Centrales Eléctricas, Frederick T. Morse, Editorial Continental, S.A. de C.V., México 1983.

12. Transformadores de Distribución, Ing. Pedro Avelino Pérez, Reyerte Ediciones, S.A. de C.V., 1ra edición 1998 México.

13. Calidad de la Energía Eléctrica, Enríquez Harper, Editorial Limusa, México 2004.

14. Diseño de Subestaciones Eléctricas, Facultad de Ingeniería, Ing. José Raúl Martín, Editorial Mc Graw-Hill de México 2da edición.

15. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión, Blanca Jiménez Vicente, Editorial Servicio de publicaciones.

16. http://saladeprensa.cfe.gob.mx/ (Página de CFE)