



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ANÁLISIS Y SOLUCIÓN A LOS DISTURBIOS
DE TENSIÓN QUE SE PRESENTAN EN
EL IIB DE LA UNAM”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA

GÓMEZ CASTELLANOS RAFAEL

DIRECTOR DE TESIS:
M. I. TANYA MORENO CORONADO



MÉXICO D. F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico esta tesis.

A mis padres, pues no tengo forma de agradecerles todo lo que han hecho por mi, gracias a ustedes es que he logrado llegar a este punto tan importante en mi vida, gracias por apoyarme en todos los momentos que he pasado, por enseñarme a conducirme de una forma adecuada por la vida, por amarme de forma incondicional y por ser como son. No acabaría de enumerar todo lo que han hecho por mi, y solo puedo decirles, gracias por todo, los amo con todo mi ser. Este logro es de los tres, sin ustedes y todas sus enseñanzas esto no sería posible.

Agradecimientos.

A mi princesa, gracias por compartir tu vida conmigo y ayudarme a llevar este barco a buen puerto, sin tu apoyo, regaños y consejos este trabajo no sería una realidad.

Al Ing. Juan Antonio Pacheco Reyes, muchas gracias por tu ayuda desinteresada para la elaboración de el presente trabajo, tienes vocación para enseñar, y la Facultad se está perdiendo de un muy valioso profesor, ojalá que algún día esto cambie.

A todos los profesores que decidieron tomar esta carrera tan difícil y desvalorizada, y con los que compartí momentos buenos y malos a través de tantos años de escuela, muchas gracias por compartir sus conocimientos y forjar en mi un profesionista responsable y dedicado.

Al Dr. Gonzalo Sandoval Rodriguez por la revisión realizada al presente trabajo y los valiosos aportes al mismo.

A la Universidad Nacional Autonoma de México que me dió la oportunidad de estudiar esta hermosa profesión que es la Ingeniería.

Rafael Gómez Castellanos.



ÍNDICE.

JUSTIFICACIÓN.	5
OBJETIVO GENERAL.	5
OBJETIVOS PARTICULARES.	5
METODOLOGÍA.	6
INTRODUCCIÓN.	8

CAPÍTULO 1: DISTURBIOS ELÉCTRICOS.

Introducción.	10
Disturbios eléctricos.	13
Afectaciones de los disturbios.	15
Origen de los disturbios.	16
Sistemas aereos.	17
Sistemas subterrneos.	17
Distribución de los disturbios.	18
Disturbios de corta duración.	20
Variaciones cortas de tensión.	20
Interrupciones cortas.	20
Depresiones de voltaje (sags).	21
Dilatación de voltaje (swell).	22
Muecas (notches).	23
Pico de voltaje.	24
Disturbios de larga duración.	25
Interrupciones de energía.	25
Variaciones de voltaje.	25
Bajo voltaje.	26
Sobrevoltaje.	26
Desbalanceos.	26
Ruido eléctrico.	27
Parpadeo (flicker).	28
Distorsión armónica.	29
Variaciones en la frecuencia.	31
Transitorios de tensión (impulsos de voltaje).	31



Impulso.	31
Transitorios de impulso por rayo.	32
Oscilatorios.	33
La protección contra fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica de las empresas suministradoras.	34
Técnicas de atenuación de los disturbios.	34
Puesta a tierra aislada.	34
Línea dedicada.	35
Transformadores de aislamiento.	35
Filtros.	36
Supresores de sobretensión transitoria (o de picos).	36
Transformador de tensión constante o ferromonante.	36
Acondicionador o Regulador de Línea.	37
Sistemas de Energía Ininterrumpible (UPS's).	37
Comparación entre métodos.	38
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMEDICAS (IIB).	
Alimentación eléctrica al IIB.	40
Transformador 1.	42
Tablero subgeneral "TSG-1".	42
CCM-2.	42
Transformador trifásico "TR-2A".	43
Centro de control de motores "CCM-1".	43
Transformador trifásico "TR-3A".	43
Tablero de fuerza "H1A".	44
Tablero de Fuerza "H2A".	44
Carga total instalada en el transformador "TR-1".	44
Transformador 2.	47
Tablero subgeneral "TSG-1".	48
CCM-2.	48
Transformador trifásico "TE-2".	48



Centro de control de motores "CCM-1B".	49
Transformador trifásico "TR-3A".	49
Tablero de fuerza "H1B".	49
Tablero de Fuerza "H2B".	49
Carga total instalada en el transformador "TR-2".	49
Transformador 3.	52
Tablero subgeneral "TSDGB".	52
Tablero subgeneral "TSDGDN".	52
Tablero subgeneral "TDAA".	53
Carga total instalada en el transformador "TR-3".	53
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS.	
Medición de los parámetros eléctricos.	57
TG-1.	58
Tensión.	58
Corriente.	59
Factor de potencia.	61
Frecuencia.	62
Distorsión armónica total en corriente.	63
TG-2.	64
Tensión.	64
Corriente.	66
Factor de potencia.	67
Frecuencia.	68
Distorsión armónica total en tensión.	69
TR-3.	71
Tensión.	71
Corriente.	72
Factor de potencia.	74
Análisis de disturbios de corta duración.	75
Transitorios.	76



Sag y oscilatorio.	79
Interrupción y oscilatorio.	82
Propuestas de solución.	85
Filtros.	85
Regulador de línea.	85
Banco de capacitores para la corrección del fp.	85
Propuestas.	86
CONCLUSIONES.	89
APÉNDICES.	
Apéndice A: Normas.	90
Apéndice B: Diagramas unifilares del Instituto de Investigaciones Biomédicas.	92
Apéndice C: Diagrama unifilar de la subestación general No. 4.	97
Apéndice D: Características de los equipos de medición.	98
Apéndice E: Glosario de parámetros eléctricos.	104
FUENTES DE INFORMACIÓN Y CONSULTA.	107



JUSTIFICACIÓN.

En el Instituto de Investigaciones Biomédicas (**IIB**) de la UNAM se presentaron tres interrupciones en el suministro de energía eléctrica, debidas a la operación de los interruptores principales tipo Masterpact, lo que resulta ser un problema grave, ya que en dicho instituto se realizan investigaciones que requieren se asegure la continuidad del servicio.

Actualmente se cuenta con UPS's y plantas de emergencia, pero estos equipos no son suficientes para mitigar las interrupciones, ya que los UPS's únicamente alimentan a los tableros regulados; y las plantas de emergencia aun cuando alimentan a toda la carga, los interruptores de transferencia se encuentran antes de los interruptores principales de los tableros generales, por lo que al operar estos se presentan las interrupciones hasta que el personal encargado los restablece manualmente¹.

Algunas de las cargas conectadas dentro del instituto son especialmente sensibles a los disturbios eléctricos, por lo que es necesario que éstos disminuyan lo más posible para que los equipos puedan operar en las condiciones para las que fueron diseñados. Además que el dotar al instituto de un suministro eléctrico adecuado, libre de disturbios, va a permitir disminuir costos de operación y mantenimiento en las mismas cargas conectadas a la instalación eléctrica.

En el presente trabajo se detallan las actividades necesarias para la identificación de los disturbios que se presentan en el IIB, así como las principales acciones para mitigarlos.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar los tipos de disturbios que se presentan en el IIB y las causas que dan origen a las interrupciones, con el fin de proponer las acciones que permitan eliminarlos o disminuirlos.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- Determinar cuáles son y en dónde se ubican las fuentes que generan los disturbios eléctricos que se presentan, y clasificarlos de acuerdo al estandar IEEE 1159-1995.
- Proponer las acciones necesarias para disminuir la ocurrencia de los disturbios, de acuerdo a su naturaleza o en su caso disminuir las afectaciones de estos.

¹ En el apéndice B se incluyen los diagramas unifilares del IIB.



- Determinar las condiciones que provocan la operación de los interruptores y proponer acciones para eliminarlas.

METODOLOGÍA.

El primer paso fue reunir toda la información concerniente a la problemática y necesidades del IIB. Para ello se realizó una entrevista con personal de la Dirección General de obras y del IIB. A partir de las charlas sostenidas con los representantes de ambas instituciones se determinó la metodología para realizar el análisis de los disturbios eléctricos, que es la siguiente:

Definir la terminología usada para el análisis de los disturbios eléctricos, así como los parámetros involucrados y los límites permisibles para cada uno. En esta etapa fue necesario consultar especificaciones tanto internacionales como nacionales (IEEE 519-1992, IEEE 1159-1995, IEEE 1100-1999 y CFE L0000-45 2005) con el propósito de establecer los límites para el análisis.

Análisis y conceptualización del diagrama unifilar de la instalación eléctrica. En este punto se realizó el estudio de la interconexión de los equipos suministradores de energía y los consumidores de la misma. A partir de este estudio se clasificaron las cargas conectadas a cada fuente de energía, obteniendo tres grupos principales que son: carga motriz, iluminación y receptáculos de propósito general, y cargas de cómputo y comunicación conectadas a UPS's. La importancia de la clasificación es diferenciar e identificar los disturbios que cada una de ellas puede aportar a la instalación eléctrica y los disturbios a que cada grupo es sensible.

Como siguiente paso se realizaron los diferentes monitoreos de parámetros eléctricos a las fuentes de energía, en este caso son tres transformadores de 500, 750 y 1000 kVA, además se realizó otro monitoreo en el tablero general 2 (TG-2) debido a que en este se presentaba la apertura del interruptor general del tablero. La finalidad fue determinar la frecuencia y tipo de disturbios presentes en la instalación eléctrica del instituto.

A partir de los monitoreos realizados se analizó la información y se agruparon los disturbios por tipo y se determinó la frecuencia de cada uno de ellos. El propósito de dicho análisis es:

- Determinar cuál es la fuente que origina cada uno de los disturbios.
- Establecer comparaciones entre los valores registrados en la medición y los establecidos en las especificaciones mencionadas.
- Definir la probabilidad de propagación en la red y su afectación a las otras cargas conectadas.



Como último paso se proporcionan las soluciones a los diferentes disturbios eléctricos encontrados en la red. Estas soluciones están encaminadas a la protección de las cargas conectadas al sistema eléctrico del instituto, al mismo tiempo se pretende que las acciones correctivas impacten en la red del suministrador disminuyendo la contaminación que el IIB aporta a esta red.

En la figura a se esquematiza la metodología empleada para realizar el análisis de disturbios en el Instituto de Investigaciones Biomédicas.

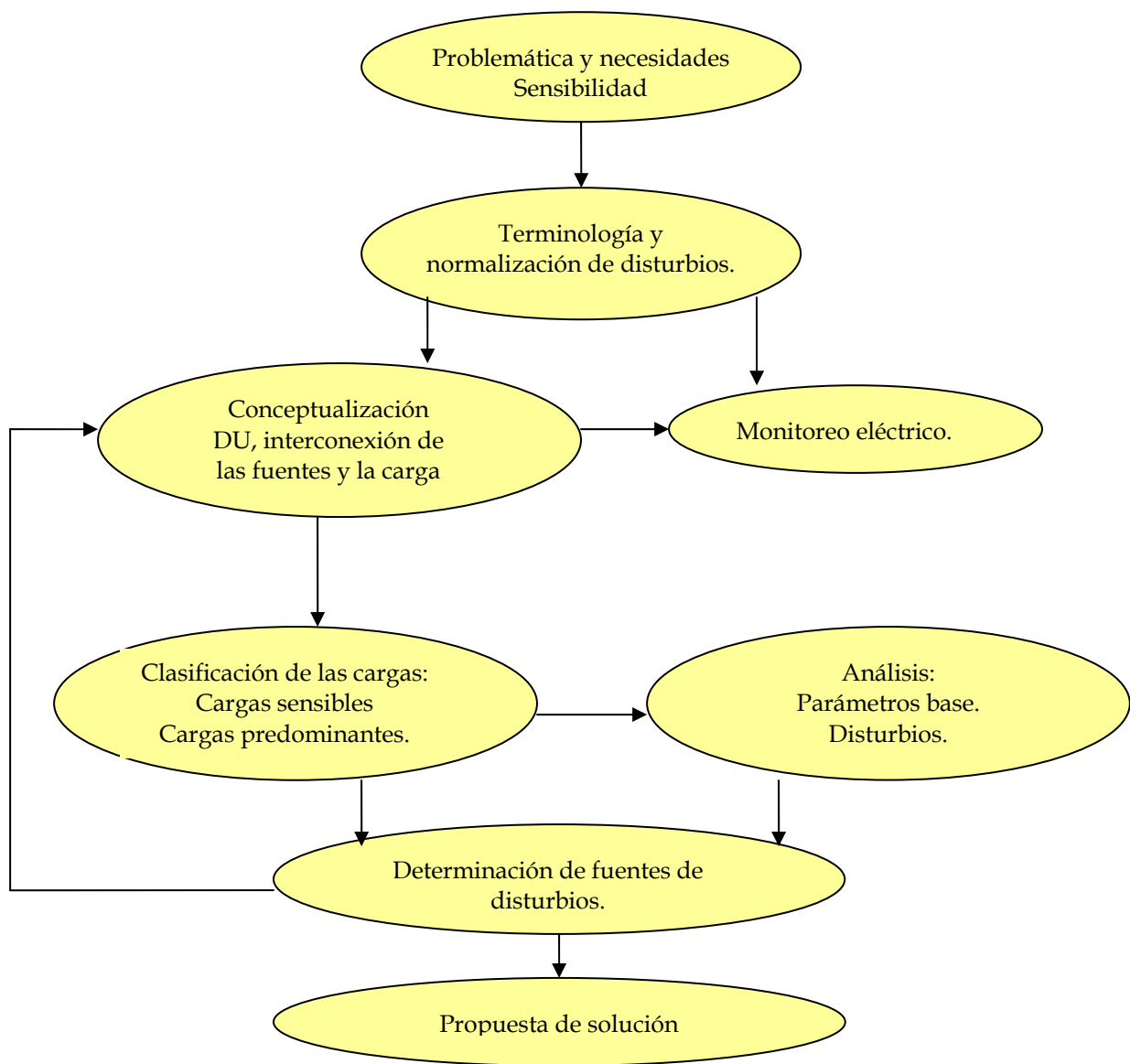


Fig. a Metodología empleada en la detección y solución de los disturbios.



INTRODUCCIÓN.

El desarrollo tecnológico dado a partir del uso de la electrónica en la conversión de la energía eléctrica, ha generado que los sistemas consumidores de energía degraden la señal de alimentación, es decir, la señal de corriente, y como resultado de la interacción de la corriente con la resistencia, inductancia y capacitancia distribuidas a lo largo de la red también se degrade la señal de tensión, un problema por demás complejo, ya que al mismo tiempo estos sistemas consumidores se ven afectados en su operación al ser alimentados por una señal deficiente.

Es por esto que en la década de los ochentas se comenzaron a desarrollar estudios entorno a las afectaciones que sufren los equipos al suministrarles, para su operación, una señal de tensión que presenta deformaciones en la forma de onda, ya que la mayoría de los equipos electrónicos son sensibles a dichas deformaciones y se ven alterados en su operación normal, así como estudios sobre como impactan las corrientes no senoidales al sistema eléctrico. Es en esta época que se crea toda la terminología para describir las alteraciones que pueden sufrir las señales eléctricas y se da comienzo a la creación de normas que establezcan límites para estas alteraciones, porque la respuesta en términos de vida útil de los equipos, confiabilidad de operación y procesamiento de información está en función de la pureza de la señal de suministro.

En la actualidad en el ámbito mundial se cuenta, con una gran variedad de normas referidas a la calidad de energía; en México se han adecuado muchas de ellas para satisfacer las necesidades con las que se cuentan, adaptándolas a las limitaciones tecnológicas del país. Cabe destacar que en el país no se cuenta con ninguna norma de carácter obligatorio relacionada con la calidad de la energía.

En la nueva sede del Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB) de la UNAM se presentaron diversos problemas relacionados a la calidad del suministro de energía eléctrica, destacando entre ellos interrupciones en el suministro, disminuciones en el valor de la tensión y transitorios que provocaron un funcionamiento errático en equipos electrónicos que se utilizan dentro del instituto, los cuales son muy sensibles a variaciones en la forma de onda de la tensión, por lo que la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC) de la UNAM solicitó al Programa de Ahorro de Energía² (PAE), realizara un monitoreo de los parámetros eléctricos dentro del instituto el cual fue realizado con la ayuda de tres analizadores de la calidad de la energía, propiedad del PAE.

² El cual forma parte de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y que es el encargado de realizar los monitoreos eléctricos y proyectos de ahorro de energía a todas las dependencias de la universidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Análisis y solución a los disturbios de tensión que se presentan en el IIB de la UNAM.

A través de los datos obtenidos en dicho monitoreo, se realizó un análisis de los disturbios eléctricos presentados, para poder emitir recomendaciones que contribuyan al buen funcionamiento de los equipos que conforman al IIB.

En el presente trabajo se desarrollan las actividades necesarias para determinar, a partir de las definiciones y normalización existente, los disturbios presentes en el suministro eléctrico del IIB, así como las acciones necesarias para corregir la problemática antes citada. Para tal efecto se ha desarrollado el trabajo en tres capítulos y cinco apéndices.

En el primer capítulo se presentan las definiciones de los disturbios eléctricos que se presentan con mayor frecuencia en las redes eléctricas, las principales causas de los mismos, así como las afectaciones que estos traen a la operación de los sistemas y finalmente los métodos de atenuación a los distintos tipos de disturbios.

En el segundo capítulo se realiza un análisis de la carga que se tiene conectada dentro del IIB, bajo este análisis se clasifica en tres grupos, se determina cual de ellas es la carga predominante y se define cuál o cuáles de ellas son las más sensibles a los disturbios.

El tercer y último capítulo presenta la información obtenida durante el monitoreo eléctrico, el análisis que se realiza del mismo para poder determinar las condiciones que provocan los disturbios y a partir de este, se presentan las propuestas de solución a los disturbios.

En los apéndices se encuentra la información técnica que ayuda a la mejor comprensión del documento, y a la cual se hace referencia en diferentes capítulos del presente trabajo.



DISTURBIOS ELÉCTRICOS

Introducción.

La generación y uso de la energía eléctrica de forma completamente continua y a voluntad se remonta a finales del siglo XVIII cuando el físico italiano Alessandro Volta inventa la pila³, precursora de la batería eléctrica, la cual mediante una reacción química logra transformar la energía química en eléctrica. Es a partir de este descubrimiento que se desarrolla la industria eléctrica, puesto que ya no se dependía de cargas estáticas para la obtención de electricidad, por lo que se podía utilizar en cualquier momento y de forma constante.

No fue hasta 1870 que el científico belga Zénobe-Théophile Gramme construyó la primera máquina de corriente continua denominada dínamo, y en 1882 el físico Nikola Tesla diseñó y construyó el primer motor de inducción de corriente alterna, lo que dió paso a la guerra de las corrientes entre Tomas Edison y George Westinghouse los cuales defendían la CD y la CA respectivamente. Para determinar qué sistema se convertiría en la tecnología dominante, Harold Brown (empleado de Edison) inventó una silla eléctrica de CA y electrocutó a perros, gatos y hasta un elefante para demostrar que la corriente alterna era peligrosa. Para neutralizar esta iniciativa, Tesla se expuso a una CA que atravesó su cuerpo sin causarle ningún daño. Ante esta prueba, Edison nada pudo hacer y su prestigio quedó momentáneamente erosionado.

Durante la Feria Mundial de Chicago de 1893, Tesla tuvo su gran oportunidad cuando Westinghouse presentó un presupuesto por la mitad de lo que pedía General Electric, la iluminación de la Feria le fue adjudicada y Tesla pudo exhibir sus generadores, dínamos y motores de CA. Más tarde, la Niagara Falls Power Company encargó a Westinghouse el desarrollo de su sistema de transmisión, lo cual fue el final de la “guerra de las corrientes” y la CA acabaría imponiéndose en todo el mundo⁴.

Con el desarrollo de los motores eléctricos nuestro mundo se ha transformado a una velocidad asombrosa, sin embargo, los avances técnicos conseguidos hasta antes de la aparición de la electrónica, no tienen comparación con los progresos alcanzados a partir del empleo de esta nueva técnica.

En la segunda mitad del siglo XIX ya se habían conseguido descubrimientos importantes que marcaban el surgimiento de la electrónica, todos ellos verían su aplicación hasta

³ http://www.geocities.com/alaro2001/espanyol/historia_cast.htm.

⁴ www.epec.com.ar/PaginaOficial2/docs/.../fichaguerra_ctes.pdf



inicios del siglo XX, en 1900 J. Fleming inventa el bulbo al vacío, este es el primer avance significativo para el desarrollo de la electrónica⁵.

A partir de 1950, comienza a desarrollarse una nueva área de la electrónica, en la que se emplean semiconductores. En julio de 1948 John Bardeen, W. H. Brattain y William Shockley construyen el primer dispositivo de estado sólido, en el cual las acciones de control se llevan a cabo a través de señales eléctricas digitalizadas, lo que implica que las señales de salida ya no conservan necesariamente los mismos parámetros de las señales de entrada⁶.

El elevado crecimiento de la economía en los últimos años se ha traducido en una extraordinaria expansión en el uso de energía eléctrica así como en el desarrollo tecnológico en el área de las telecomunicaciones y sistemas de control eléctricos y electrónicos basados en dispositivos de estado sólido.

Lo anterior implica una alta proliferación de dispositivos electrónicos y de control, electrodomésticos con dispositivos de estado sólido y cargas no lineales⁷, tales como variadores de velocidad y controles para motor, grandes hornos, soldadores de arco, máquinas eléctricas con controles de estado sólido, equipos de comunicación, etc., los cuales han producido una gran cantidad de alteraciones en las ondas de tensión y corriente del sistema eléctrico, creando un problema denominado perturbaciones eléctricas, entre las cuales, se pueden citar las siguientes: transitorios, depresiones de voltaje (sags), dilataciones de voltaje (swells), armónicas, interrupciones momentáneas de energía y otros disturbios.

El suministrador usualmente atribuye los problemas a anomalías en la instalación eléctrica del usuario, mientras que este último los asocia a deficiencias en las redes de suministro. En esta situación, la mayoría de las veces, ambos olvidan las limitaciones de los equipos electrónicos sensibles para operar en el ambiente de las redes eléctricas tradicionales. Por lo anterior, el conocimiento de las características de los sistemas eléctricos del suministrador y del usuario es esencial para que los involucrados puedan establecer acciones económicas, que permitan el control de los efectos no deseables.

Por lo general, el usuario desconoce que la mayor parte de los disturbios eléctricos y problemas de operación provienen de su propio sistema eléctrico, ya sea por el tipo de cargas, por características de su red o por malas prácticas de puesta a tierra.

⁵ Historia de la electrónica de potencia.

⁶ <http://www.educadis.uson.mx/peon/Ingenieria-tecnologia/IT-documentos%20de%20Interes/Origen-Des-Tec-Electro-Rpe%F3n.htm>

⁷ Carga no lineal es aquella en donde la señal de salida, generalmente corriente, no conserva las características de la señal de entrada.



Las compañías suministradoras alrededor del mundo, han desarrollado campañas de medición y monitoreo de la calidad de la energía, ya que en los últimos 20 años se muestran incrementos año con año en el nivel de distorsión de tensión. La causa principal es el aumento en el uso de equipos electrónicos o cargas no lineales conectadas a la red, consecuentemente el margen entre la inmunidad del equipo que ya está en uso y el nivel de distorsión de tensión se reduce día con día.

En el sistema eléctrico es frecuente la presencia de disturbios y problemas causados por fenómenos naturales (descargas atmosféricas, clima, vientos intensos), accidentes o por la operación misma de la red.



Disturbios eléctricos.

Podemos definir a los disturbios eléctricos como perturbaciones que se presentan en cualquier sistema eléctrico, los cuales no necesariamente reflejan la ausencia de tensión, sino que se manifiestan como variaciones en la forma de onda de la tensión y que afectan el funcionamiento de los diversos tipos de equipos conectados al sistema, o en otras palabras, cualquier perturbación en los sistemas de energía eléctrica, que se manifiesta en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, lo cual puede resultar en una falla o una mala operación de equipos.

Estos disturbios pueden ser deformaciones en la onda, los cuales se llegan a presentar en magnitud o en frecuencia. En el primer caso se pueden encontrar ya sea como sobrevoltajes o como caídas de tensión, que a su vez se dividen en corta y larga duración. En el caso de la frecuencia se presentan con valores distintos al fundamental (60 Hz), ya sean mayores o menores. Los disturbios eléctricos más comunes que se tienen en los sistemas eléctricos son los siguientes:

- Interrupciones.
- Alta tensión de corta duración (swells).
- Alta tensión constante.
- Baja tensión de corta duración (sags).
- Baja tensión constante.
- Picos de alto voltaje.
- Ruido eléctrico.
- Variaciones en la frecuencia.
- Distorsión armónica.

Dichas perturbaciones eléctricas contaminan la energía en forma preocupante, alterando en forma directa los equipos y sistemas críticos (informáticos, de procesos, control estratégico, etc.).

Los equipos de hoy en día son más sensibles a las variaciones de la energía eléctrica que los utilizados en años anteriores. Muchas cargas 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 y aumentar la eficiencia en la conversión de ésta 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 tareas y procesos. Como resultado adverso al ahorro de energía eléctrica, se tienen incrementos significativos en los niveles de armónicas en las redes eléctricas⁸.

Dado que el problema no sólo afecta a usuarios sino también a las compañías suministradoras, éstas se preparan para medir los niveles de armónicas producidas por los usuarios. Así, de acuerdo a los cambios que inminentemente se harán a la reglamentación vigente, se penalizará a los usuarios que excedan los límites que se establezcan para la calidad de la energía eléctrica.

Actualmente los consumidores de energía eléctrica se informan más acerca de los problemas asociados con la calidad de la energía como: interrupciones, variaciones de tensión (sags y swells, es decir, depresión y dilatación de voltaje) y transitorios por "switchero" (conexión y desconexión de cargas). En consecuencia, los usuarios demandan a las compañías suministradoras el mejorar la calidad de la energía eléctrica que reciben.

Si las compañías suministradoras fueran incapaces de controlar los niveles crecientes de distorsión en sus redes, creadas principalmente por efectos acumulativos de la gran cantidad de pequeñas cargas con corriente nominal menor ó igual a 16 A por fase, sería inevitable el deterioro de la calidad de tensión provista a todos los usuarios (consumidores).

Es claro que sin acciones correctivas, las compañías suministradoras y usuarios experimentarán un número creciente de fallas en sus sistemas y equipos, con los problemas subsecuentes, como pérdida de producción y competitividad.

Las compañías suministradoras enfrentan grandes retos en el abastecimiento de energía eléctrica de manera eficiente y con alta calidad, pues deben buscar mantener el equilibrio entre las necesidades de los usuarios y mantener un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética que permita un funcionamiento apropiado de los equipos y sistemas.

La continuidad de la energía depende en muchos aspectos del diseño y operación del sistema. Algunos de los factores que afectan la continuidad de la energía son: protección contra sobretensión, interrupción, recierre por falla, diseño de la línea de transmisión, y diseño y operación del sistema. Si un sistema de transmisión o distribución es diseñado apropiadamente para resistir relámpagos y otras sobretensiones, la continuidad de la energía y la confiabilidad del sistema se incrementan. Del mismo modo, con una apropiada protección contra fallas y una rápida coordinación de relevadores, el sistema es más confiable.

⁸ Los capacitores, al ser dispositivos lineales no generan armónicas, pero si ocasionan un incremento en los niveles de distorsión al provocar resonancias en serie y en paralelo.



Algunos equipos con componentes no lineales, tales como: (convertidores con tiristores o transistores de potencia, dispositivos de arco eléctrico y otros) causan perturbaciones denominadas genéricamente EMI (Electromagnetic Interferentes – Interferencias Electromagnéticas). Dichas perturbaciones ocasionan una pérdida de rendimiento en la mayor parte de cargas convencionales y sobrecargan innecesariamente las líneas de transmisión. No obstante, el mayor problema no siempre es la pérdida de rendimiento, sino el deterioro que producen en la calidad de la onda de tensión, superponiendo perturbaciones, algunas de carácter periódico y otras de carácter transitorio; las cuales ponen en peligro el buen funcionamiento de una serie de equipos electrónicos, informáticos y de comunicaciones.

De igual forma es importante mencionar que el número de disturbios eléctricos presentes en la actualidad se ha incrementado considerablemente ya que la demanda ha crecido más rápido que la generación de energía eléctrica.

Afectaciones de los disturbios.

En la actualidad sabemos que los disturbios no sólo afectan el funcionamiento de los equipos que se conectan a la red de suministro y a los que forman parte de la misma red, sino que además disminuyen el tiempo de vida útil de los elementos que los componen. Algunas de las afectaciones son:

- Sobrecalentamiento de cables, conductores y transformadores.
- Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores.
- Errores en la medición.
- Operación incorrecta de sistemas de protección.
- Daño en elementos primarios de la red.
- Daño bancos de capacitores de corrección de FP.
- Incrementos en la ocurrencia de cortes en el suministro.
- Variaciones de tensión.
- Pérdidas económicas causadas por la detención de procesos completos.
- Daños en equipos sensibles.
- Pérdida de información en equipos de informática.
- Operación deficiente de sistemas de señalización.
- Acortamiento de la vida útil de los equipos, entre otros.

Los disturbios pueden afectar a los sistemas eléctricos dependiendo de su magnitud y duración, es así como se pueden manifestar en menor o mayor grado sobre los equipos, algunos de los efectos producidos por los disturbios son:



- Ruido e impulsos eléctricos: Estos pueden ocasionar un funcionamiento errático en cualquier tipo de computadora, se puede inhibir o desprogramar, errores de paridad, teclados bloqueados o información perdida, corrupción de datos, problemas de comunicación, etc. Si la magnitud del disturbio es muy elevada, el daño puede ser físico e irreversible.
- Sobre voltajes y bajo voltajes: Los bajos voltajes del orden del 90% del valor nominal y por un tiempo aproximado de tres ciclos o más serán detectados por los drives como una condición de falla, por lo que operarán interrumpiendo el suministro de energía. Los bajos voltajes al momento del arranque de grandes motores, pueden ocasionar que los contactores de los mismos se abran debido al incremento en la corriente que circula por ellos, o en el caso de que éstos no abran se puede dañar el aislamiento de las bobinas. De la misma forma esto es capaz de producir un sobrecalentamiento de los alimentadores, dañando el aislamiento de los mismos lo que podría provocar un incendio. Por otra parte los sobrevoltajes con duración muy larga, pueden dañar el aislamiento de la electrónica de los equipos.
- Distorsión armónica: Este tipo de disturbio puede ocasionar funcionamiento errático de algunos variadores, calentamiento de cables, transformadores y disparos anticipados de interruptores, así como pérdidas innecesarias en el equipo del consumidor, y en determinadas circunstancias, produce zumbidos e interferencia en líneas telefónicas vecinas.

La seguridad del suministro es un aspecto importante en la alimentación de sistemas sensibles y cargas críticas. Una interrupción en la alimentación puede causar la pérdida de muchas horas de trabajo y dinero en centros de gestión, cálculo, diseño, instalaciones industriales de procesos continuos e incluso poner en peligro la vida de personas (control de vuelos, unidades de vigilancia intensiva en hospitales, etc.).

Origen de los disturbios.

La producción de los disturbios tiene dos tipos de orígenes, los externos y los internos al sistema eléctrico:

- Los de origen externo son los producidos por las descargas atmosféricas (rayos) en las líneas eléctricas, falla de algún equipo en la red, contactos incidentales entre dos líneas o entre una línea y algún objeto aterrizado, principalmente.
- Los de origen interno son producidos por la operación de dispositivos de conexión y desconexión, conmutación electrónica (drive's, PLC's, computadoras, etc.),



arranque de motores, la distorsión de la señal de entrada producida por armónicos, entre otros.

Los caminos de ingreso a las instalaciones y por consiguiente a los equipamientos son muchos y muy variados, entre los cuales podemos encontrar a los cables eléctricos, líneas de teléfonos, cables coaxiales de radio frecuencia y transmisión, cableados de datos, de alarmas, etc. Generalizando podemos decir que todo conductor, ya sea de cobre o no, que ingresa a un recinto de equipos es un conductor potencial de disturbios.

El tipo de líneas de transmisión es un factor importante en la presencia de disturbios, ya que las líneas aéreas se encuentran mucho más expuestas a estos que las subterráneas.

Sistemas aéreos.

El único voltaje normalizado en LyFC en media tensión es 23 kV, aunque aún existen algunos circuitos de distribución operando a 6.6 y 13.8 kV, sin embargo están condenados a desaparecer.

El 80% de la red de distribución que operaba LyFC es aérea y por ende sujeta a daños por causas ajenas al organismo tales como vandalismo, choques de vehículos contra postes, ramas de árbol, vientos, granizo, lluvia, robos de conductores de cobre, etc. Aumentando considerablemente la presencia de disturbios, siendo los más comunes las interrupciones sostenidas y los impulsos por recierre cuando el sistema trata de “quemar” la falla al presentarse fallas de fase a fase o de fase a tierra.

Los fenómenos eléctricos a 2200 metros sobre el nivel del mar son más severos que al nivel del mar y si a ello le agregamos el alto nivel de contaminación de la Ciudad de México, las fallas eléctricas son más frecuentes.

Como se verá en el tercer capítulo, en el IIB se presentó una caída de tensión sostenida, debida a la operación de la protección de una de las fases en media tensión, que pudo haber sido provocada por una falla a tierra de dicha fase.

Sistemas subterráneos.

Solamente el 20% de la red eléctrica que operaba LyFC es subterránea, debido a que la diferencia en costos versus redes aéreas es de 5 a 1, a pesar de esto debe mencionarse que el costo de mantenimiento de las redes subterráneas así como su frecuencia de fallas son menores que el de las redes de distribución aéreas equivalentes.

Los primeros cables subterráneos instalados por LyFC fueron tipo tubo en voltajes de 85 y 230 kV y de papel impregnado en aceite con cubierta de plomo en 6.6 y 23 kV. En la



actualidad se usan solamente cables de aislamiento seco en media y alta tensión (XLPE o EPR).

En el centro de la Ciudad de México se instaló desde hace más de 50 años una red automática que basa su principio de operación en el hecho de que al estar totalmente mallada la red de baja tensión permite que las fallas en baja tensión se auto extingan.

Una vez ingresado el disturbio al recinto, puede afectar el funcionamiento de todo tipo de equipo de comunicaciones como por ejemplo:

- Equipamiento satelital.
- Computadoras.
- Controladores lógicos programables.
- Rectificadores de tecnología de fuente conmutada.
- UPS's.
- Sistemas de comando y control.
- Sistemas de alarmas.
- Sistemas de transferencia automática.
- Rectificadores.
- Dispositivos de alarmas y monitoreo.
- Telefonía fija.
- Equipos conectados a CATV (Community Antenna Television).

Distribución de los disturbios.

Para mostrar la ocurrencia de los distintos tipos de disturbios se han realizado encuestas en diferentes tipos de industrias referentes a la operación de los sistemas, arrojando los siguientes resultados⁹:

- a) Un poco más del 62% de los disturbios fueron depresiones de voltaje con duración menor a medio segundo (30 ciclos). Típicamente, estas depresiones son resultado de condiciones de falla: un corto circuito en el sistema de la empresa suministradora, descargas atmosféricas, ramas de árbol o pequeños animales. Las depresiones de voltaje también son resultado del arranque de un motor, aunque estas subtensiones comúnmente son mayores en duración de 30 ciclos y el voltaje asociado no es tan bajo. La magnitud y duración de la depresión de voltaje determina la magnitud del daño al equipo sensible.

⁹ Enríquez Harper Gilberto. La calidad de la energía en los sistemas eléctricos.



-
- b) Aproximadamente el 21% de los disturbios fueron impulsos de voltaje transitorios. La conexión y desconexión de cargas ocasiona estos impulsos. Normalmente no representan un problema hasta que sobrepasan el 200 o 300% del voltaje eficaz. El impulso es una elevación transitoria con duración menor a medio ciclo. Otras causas comunes de impulsos son: descargas atmosféricas cercanas, descargas estáticas y arqueo entre contactos.
- c) Las interrupciones constituyeron el 14% de los disturbios. Ningún sistema es invulnerable a las interrupciones, estas son ocasionadas por cortocircuitos, descargas atmosféricas, mal funcionamiento del equipo, accidentes automovilísticos, excavaciones en sistemas subterráneos, etc.
- d) Las sobretensiones de voltaje representaron el 2%.

Otro estudio citado con frecuencia en la literatura fue realizado por los laboratorios de la compañía Bell Telephone, con los siguientes resultados:

Se observó la siguiente distribución entre los disturbios:

- Sobretensiones 0.7%
- Interrupciones 4.7%
- Impulsos 7.4%
- Depresiones 87.2%

En el tercer capítulo se observará que los disturbios presentan esta misma distribución estadística, siendo los más frecuentes las muescas, las depresiones y los oscilatorios.



Disturbios de corta duración.

Variaciones cortas de tensión.

Son variaciones en el valor eficaz de la tensión nominal, por un tiempo mayor a medio ciclo de la frecuencia del sistema sin llegar a exceder un minuto, son generalmente causados por fallas, energización de cargas grandes con corrientes de arranque muy elevadas o conexiones intermitentes en los cableados de potencia. Dependiendo la localización de la falla y las condiciones del sistema se pueden causar temporalmente: caídas de tensión, (sags), elevaciones de tensión (swells), que no son tan comunes o una completa pérdida de tensión (interrupciones cortas). Las condiciones de alto o bajo voltaje pueden presentarse en circuitos durante la desconexión de cargas de gran tamaño o durante periodos de sobrecargas, respectivamente.

Interrupciones cortas.

Una interrupción ocurre cuando la fuente de tensión o la corriente de carga disminuyen a menos del 10% de los valores nominales por un periodo no mayor a un minuto. Son normalmente provocadas por una condición de falla del aislamiento después de una operación exitosa del equipo de restablecimiento. En la figura 1.1 se da un ejemplo gráfico de este fenómeno.

Debido a que los equipos de cómputo típicamente pueden tolerar una interrupción durante un tiempo no mayor a medio ciclo, deben tomarse las medidas necesarias para reducir al mínimo las salidas instantáneas, generalmente producidas durante tormentas eléctricas.

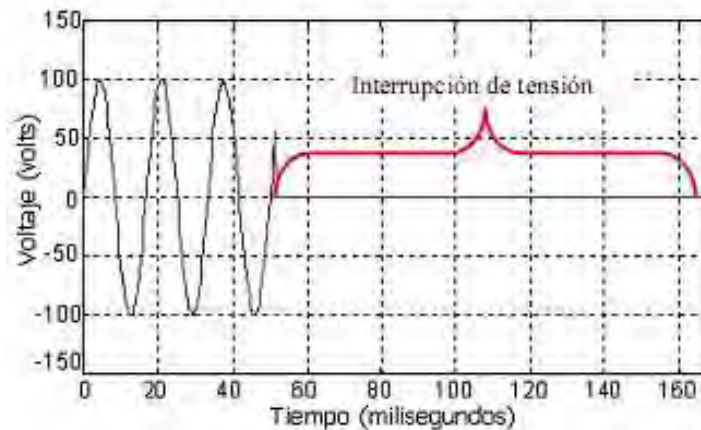


Fig. 1.1 Señal de voltaje con interrupción de energía.



Depresiones de voltaje (sags).

Es un decremento en el valor eficaz de la tensión a la frecuencia fundamental¹⁰, con magnitudes que se encuentran entre el 10% y el 90% del valor nominal y tiene una duración de medio ciclo hasta un minuto.

Éstas pueden ser causadas por operaciones de maniobra asociadas con la desconexión temporal de suministro, por el flujo de corrientes de falla y descargas atmosféricas, así como con la gran demanda de corriente asociada a la conexión de grandes cargas, como puede ser el arranque de motores grandes, ya que éstos tienen corrientes de arranque de seis a diez veces su corriente nominal, con lo que llegan a afectar la señal de voltaje. Sin embargo, estas disminuciones de voltaje usualmente tienen una duración superior a 30 ciclos y la disminución del voltaje es de menor magnitud. En el capítulo tres se observa este tipo de disturbios.

Las fallas que producen los abatimientos de voltaje pueden presentarse tanto en el interior de la instalación industrial como en el sistema de suministro. El abatimiento del voltaje permanece hasta que la falla se elimina mediante la operación de los dispositivos de protección. En la figura 1.2 se aprecia una señal de voltaje con sag.

Algunos elementos efectivos para minimizar los problemas generados por estas reducciones súbitas de tensión son los transformadores ferroresonantes y las fuentes de energía ininterrumpible (UPS's).

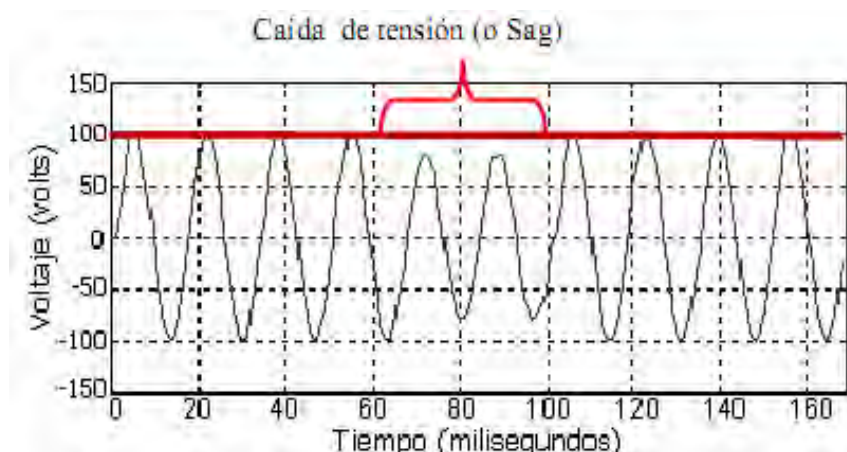


Fig. 1.2 Señal de voltaje con sag.

¹⁰ Al analizar una forma de onda a través de la serie de Fourier, la componente fundamental de esta onda es la señal senoidal de primer orden a la frecuencia nominal del sistema, esta frecuencia puede ser de 60 o 50 Hz para los sistemas eléctricos de potencia.

Las fallas sobre la red eléctrica pueden ocurrir en el sistema de distribución o transmisión. La figura 1. 3, ilustra la configuración típica de una red de distribución donde un número de alimentadores suministra la energía eléctrica a los usuarios desde un bus común. Una falla sobre el alimentador F1 producirá una interrupción que afectará a los usuarios que están conectados en el mismo.

Sin embargo, los usuarios de los otros tres alimentadores experimentarán un abatimiento de voltaje con una duración igual al tiempo que tarda en liberarse la falla. Con operaciones de recierre en la subestación para eliminar la falla del alimentador F1, los usuarios de los alimentadores paralelos podrán estar expuestos hasta cuatro abatimientos sucesivos de la magnitud del voltaje, con una duración que va desde aproximadamente seis ciclos hasta el orden de dos segundos.

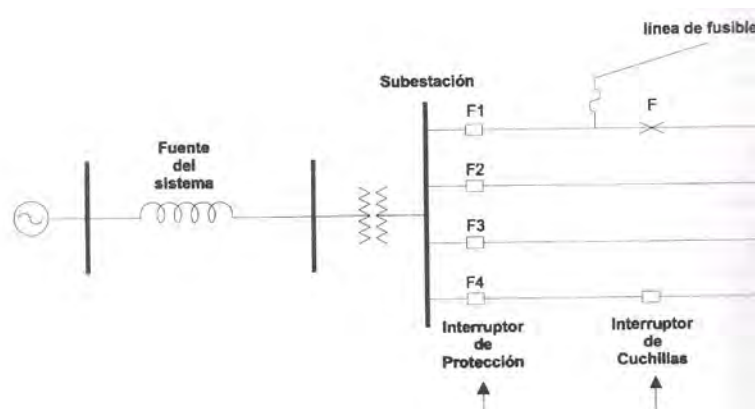


Fig. 1.3 Diagrama unifilar de un sistema de distribución ilustrando los tipos de dispositivos de protección.

Dilatación de voltaje (swell).

Es un incremento en el valor eficaz de la tensión a la frecuencia fundamental, con magnitudes que se encuentran por lo menos un 10% arriba del valor nominal y tiene una duración de medio ciclo hasta un minuto. Generalmente los swell acompañan a las caídas de tensión breves (sags).

Son ocasionados por la desconexión de cargas grandes y no llega a ser un sobrevoltaje. Aparecen en las fases no falladas de un circuito trifásico que ha presentado un corto circuito monofásico o cuando los sistemas rechazan carga. Los incrementos en la tensión pueden ocasionar trastornos en los dispositivos de control 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.

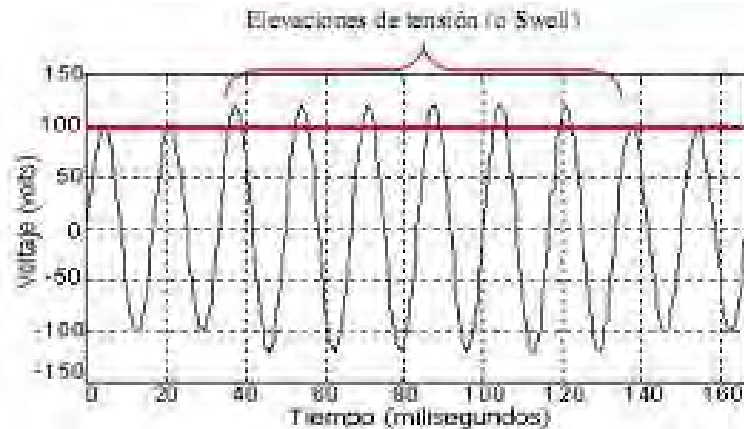


Fig. 1.4 Señal de voltaje con swell.

Muecas (notches).

Son disturbios de voltaje con una duración menor a medio ciclo, que inicialmente son de polaridad opuesta a la forma de onda, por lo cual, son sustractivos en términos de voltaje pico del disturbio. Esto incluye pérdida completa de voltaje menor a medio ciclo, la cual es provocada por la energización de capacitores en las plantas generadoras, en líneas de transmisión, o en las instalaciones del usuario en la figura 1.5 se muestra un caso típico.

Las muecas son un disturbio periodico y ocurren como resultado de la gran corriente necesaria para la carga de los capacitores. También pueden provocarse por la conexión de cargas tales como sistemas de cómputo, operación de variadores de frecuencia y controles de motores de corriente directa. 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.

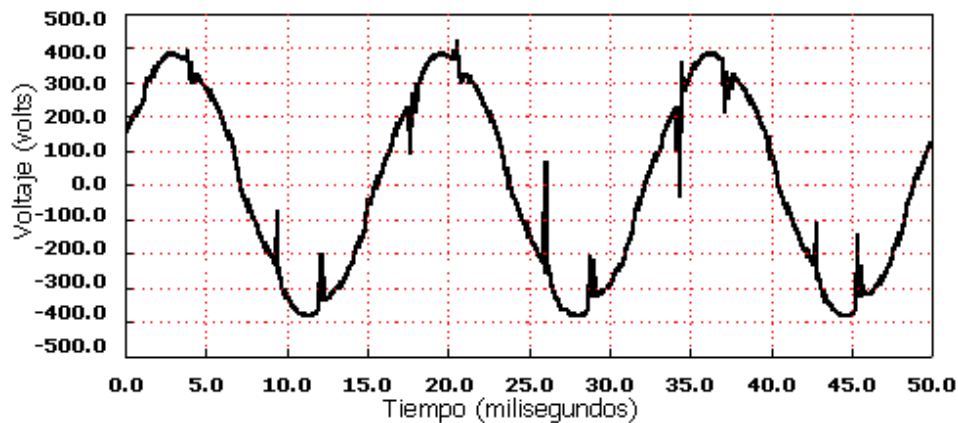


Fig. 1.5 Señal de voltaje con muecas.



Pico de voltaje.

Es un incremento en el nivel de voltaje que tiene una duración de microsegundos. Se presentan en forma de impulsos de voltaje de corta duración, superpuestos en la señal de alimentación y frecuentemente intermitentes. Es provocado principalmente por fallas en la red eléctrica, descargas atmosféricas, así como conexión y desconexión de grandes cargas o capacitores para la corrección del factor de potencia (switchero), la figura 1.6 representa un pico de voltaje típico en la señal de tensión.

A diferencia de las sobretensiones temporales y exceptuando el caso crítico de rayos muy cerca de las instalaciones que producen chispas en los contactos, estas no presentan una indicación clara de su existencia, que pueda detectarse visualmente en circuitos de alumbrado o en alguna otra forma. Sin embargo, dado que su nivel puede llegar a alcanzar valores de cinco veces o más el voltaje nominal, su efecto consiste en aplicar esfuerzos excesivos al aislamiento de diversos equipos o daños a componentes electrónicos sensibles.

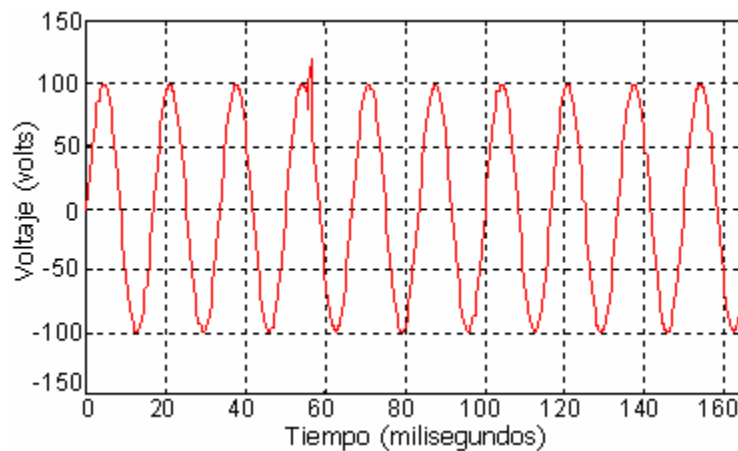


Fig.1.6 Señal de tensión con un pico de voltaje.

Esto último puede traer como consecuencia la interrupción de programas en procesos de computadoras, pérdida de información almacenada en memoria o daño al hardware. Otros factores transitorios, dentro de esta clasificación, son las operaciones de conexión y desconexión de motores eléctricos en elevadores, equipos de aire acondicionado, refrigeradores, etc.



Disturbios de larga duración.

Interrupciones de energía.

Es la pérdida total de potencial. Por lo general, se considera interrupción cuando el voltaje ha decrecido a un 10% del valor nominal o menos, regularmente son fallas de naturaleza permanente, en las cuales es necesaria la intervención manual para su restauración. Este disturbio es causado por aperturas de líneas, daño de transformadores, operación de fusibles o equipos de protección de la red, tormentas eléctricas o por sobrecargas en la red de baja tensión, entre otras posibilidades. En la figura 1.7 se proporciona un oscilograma típico de una interrupción.

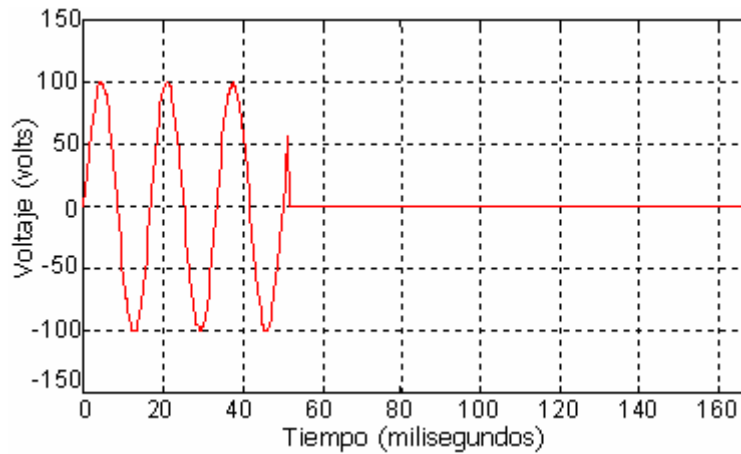


Fig. 1.7 Señal de voltaje con interrupción de energía.

Variaciones de voltaje.

Son variaciones sistemáticas en la amplitud de la onda del voltaje y por lo tanto en el valor eficaz de la señal¹¹ a la frecuencia del sistema. Comúnmente se expresan como un porcentaje del valor de la fundamental. Este efecto es provocado por cargas que presentan variaciones continuas y rápidas de corriente, especialmente en la componente reactiva. Los arcos de fundición, así como las soldadoras, son la causa más común de las variaciones de voltaje en el sistema de transmisión y distribución.

Éstas pueden ser sobrevoltajes o bajos voltajes, y son causados principalmente por conmutación en las cargas u operaciones de switcheo en el sistema.

¹¹ ANSI C84.11982 recomienda que no se excedan los rangos especificados de 0.9 a 1.1 pu.



Bajo voltaje.

Se llama así a los decrementos en el voltaje eficaz en la forma de onda de CA que ocurren a la frecuencia fundamental y donde el tiempo de duración es mayor a un minuto.

Normalmente se habla de un bajo voltaje cuando se tienen valores comprendidos entre el 10% y el 90% del valor nominal.

Sobrevoltaje.

Se llama así a los incrementos en el voltaje eficaz en la forma de onda de CA que ocurren a la frecuencia fundamental y donde el tiempo de duración es mayor a un minuto, por lo que a diferencia del swell dura mucho más tiempo. Normalmente se habla de un sobrevoltaje cuando se tienen valores de al menos 10% arriba del valor nominal, ver figura 1.8.

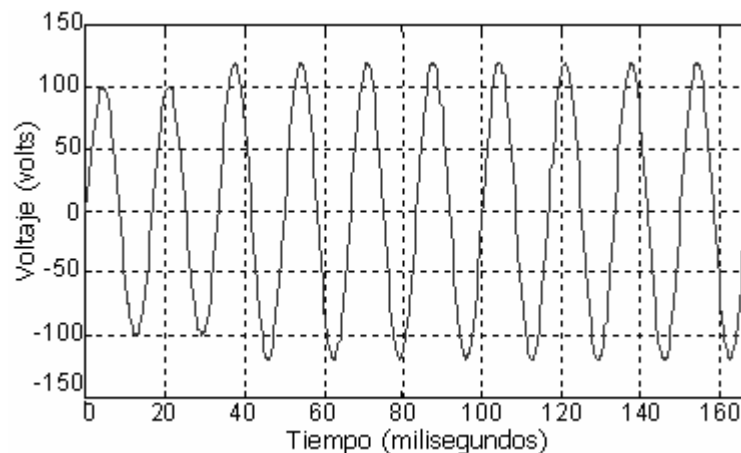


Fig. 1.8 Señal de tensión con sobrevoltaje.

Desbalances.

Como se sabe, los sistemas eléctricos son trifásicos y, debido a la operación misma, en baja tensión, regularmente su funcionamiento no es balanceado, lo que significa que las tensiones o corrientes de una fuente trifásica no son idénticas en magnitud, o el desplazamiento entre fases no es de 120 grados eléctricos o ambas, lo cual acarrea problemas por sobrecalentamiento de alguna de las fases. Esto afecta a los motores y otros dispositivos que dependen del adecuado balanceo de la fuente de suministro trifásica.



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 bifásicas 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 y la de menor carga.

Técnicamente, el desbalanceo se define de la siguiente manera:

$$U_2 = 100 * \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

donde:

$$\beta = \frac{U_{abfund}^4 + U_{bcfund}^4 + U_{cafund}^4}{(U_{abfund}^2 + U_{bcfund}^2 + U_{cafund}^2)^2}$$

Ruido eléctrico.

Son señales eléctricas en un ancho de banda menor a 200 kHz superpuestas a la señal fundamental de corriente o voltaje del sistema, en la figura 1.9 se muestra un gráfico típico de ruido eléctrico.

Se debe principalmente a switcheo, sistemas de transmisión de señales de radio, balastos de lámparas fluorescentes, variadores de frecuencia, dimmers (atenuadores de iluminación) y equipo industrial de arco eléctrico. El ruido provoca efectos indeseables tales como, la operación errónea de PLC's, problemas en la operación de sistemas de cómputo, problemas de audio y video, entre otros y regularmente es amplificado por aterrizamientos incorrectos.

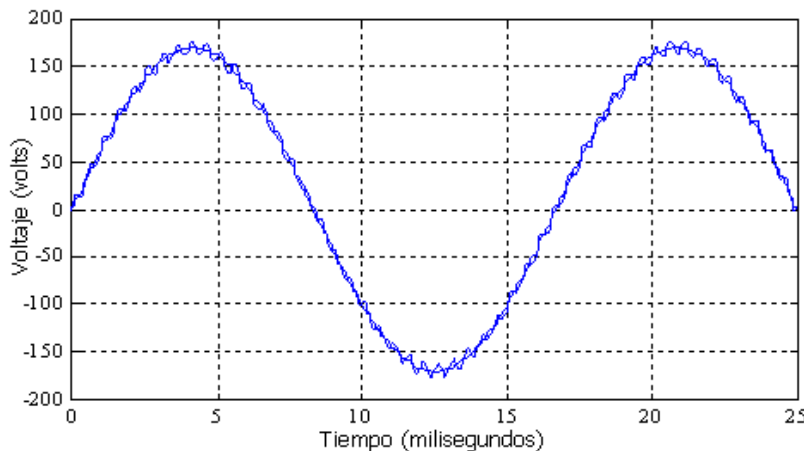


Fig. 1.9 Señal de voltaje con ruido eléctrico.



Parpadeo (flicker).

El flicker o parpadeo se define como “la impresión subjetiva de fluctuación de la iluminancia”, de acuerdo con la Comisión de Electrotecnia Internacional (CEI-555-1). Es un fenómeno de origen fisiológico, visual, que se presenta en los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a los circuitos de iluminación y que a su vez alimenta algún tipo de carga. En la figura 1.10 se proporciona una imagen de una señal de tensión con flicker.

El origen del flicker o parpadeo se encuentra en las fluctuaciones bruscas de la tensión de la red, de las cuales básicamente se consideran las que tienen una amplitud menor al 10%. Éstas son debidas a la conexión de cargas cíclicas como hornos eléctricos, oscilaciones subarmónicas¹², compresores y máquinas para soldar. Por lo general este efecto se observa fácilmente en el cambio de intensidad bajo y alto de lámparas o en el ruido acelerado y desacelerado de motores.

Desde el punto de vista normativo, las empresas distribuidoras de energía eléctrica deben cumplir con ciertos valores de referencia, como son:

- De $\pm 10\%$ para las tensiones nominales en baja tensión (menores de 1000 V).
- De $\pm 3\%$ para tensiones mayores de 1000 V.

En general se puede establecer que las variaciones rápidas de voltaje, como es el caso del flicker, no afectan al buen funcionamiento de los aparatos conectados a la red eléctrica, siempre que los valores de éstas sean inferiores a los establecidos como límites. En orden decreciente de sensibilidad, se puede mencionar el efecto sobre los siguientes tipos de lámparas:

- Lámparas de vapor de mercurio.
- Lámparas incandescentes.
- Lámparas fluorescentes.

Cuando se presenta el flicker, también se puede observar un efecto de parpadeo sobre los televisores y las pantallas de las computadoras.

¹² Subarmónicas se refiere a señales de frecuencia menor a la frecuencia fundamental.

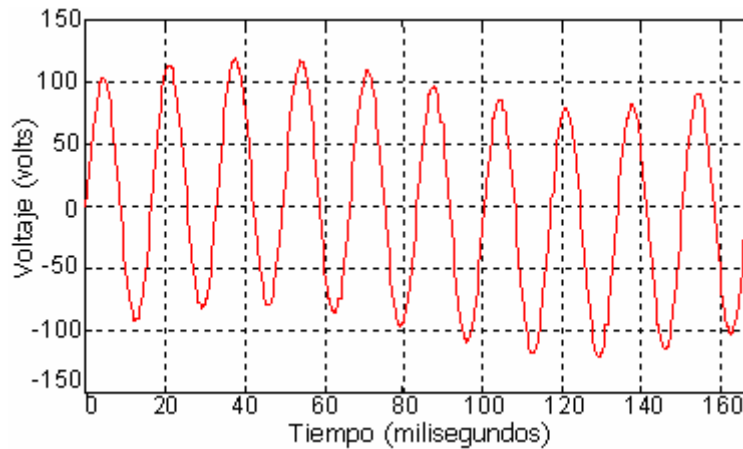


Fig. 1.10 Señal de voltaje con flicker.

Distorsión armónica.

La distorsión armónica significa simplemente que la forma de onda de la tensión (o corriente) no es una senoidal. Esto resulta de la adición de una o más ondas armónicas que se superponen a la onda fundamental o de 60 Hz y de acuerdo con el orden de la armónica es el grado de distorsión de la onda fundamental. Si se tiene una señal periódica no senoidal, entonces ésta puede descomponerse en una sumatoria de funciones senoidales y cosenoidales armónicamente relacionadas por la frecuencia. La distorsión armónica está compuesta por tensiones o corrientes que tienen frecuencias que son múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz) del sistema de suministro (ver figura 1.11). Cuando las frecuencias de estas tensiones y corrientes armónicas no son múltiplos enteros de la onda fundamental se denominan interarmónicas.

También existen las subarmónicas que son frecuencias que están por debajo de la frecuencia fundamental con una razón de $1/x$. Por ejemplo, si se tiene una frecuencia fundamental de 440 Hz, las subarmónicas corresponden a 220 Hz ($1/2$) y 110 Hz ($1/4$).

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:

- Los convertidores estáticos.
- Los transformadores sobre-excitados.
- El alumbrado fluorescente.
- Los dispositivos de estado sólido (computadoras, controladores de velocidad, etc.).

Las distorsiones por armónicas e interarmónicas, generalmente son causadas por equipos con características tensión/corriente no lineales como lo son rectificadores y hornos de

arco eléctrico en aplicaciones industriales. La existencia de armónicas de corriente en la red de distribución provoca aumento de pérdidas por efecto Joule en equipos, sobre esfuerzo en aislamientos provocados por incremento de temperatura por corrientes parásitas, en devanados de transformadores y en conductores con forro, y disturbios motivados por interferencia en circuitos de control, de protecciones y en sistemas de telecomunicaciones.

Para mantener los contenidos de armónicas de corriente dentro de los niveles recomendados, las principales soluciones son:

- El uso de equipos de rectificación con mayor número de pulsos.
- Filtros pasivos sintonizados a frecuencias individuales.
- Filtros activos y acondicionadores.

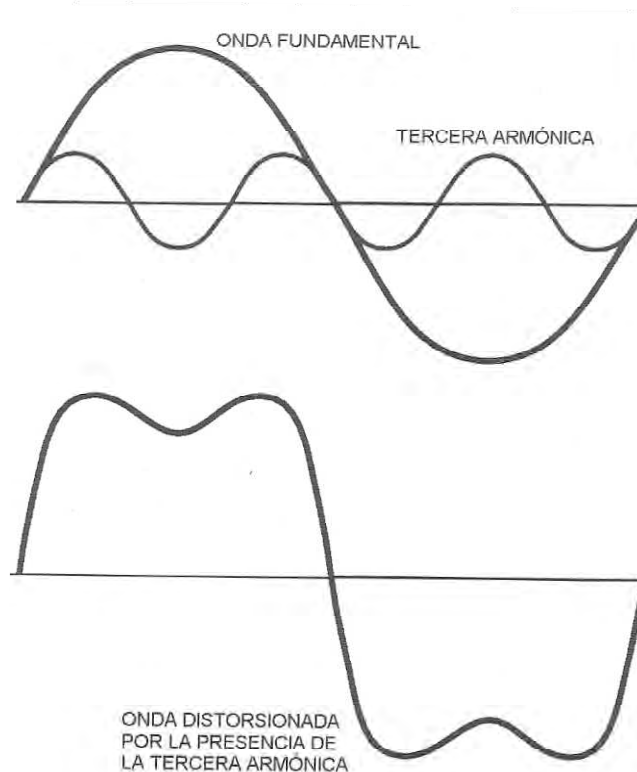


Fig. 1.11 La adición de una tercera armónica (180 Hz) a la onda fundamental (60 Hz) produce una distorsión en la forma de onda.



Variaciones en la frecuencia.

La frecuencia del sistema, en cualquier instante, está 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 la carga y de la respuesta del sistema de generación ante dichos cambios.

La frecuencia en el sistema eléctrico mexicano es de 60 ciclos por segundo, y ésta no debe variar más allá de más-menos 0.8%¹³ ya que una variación mayor en la frecuencia puede afectar a las maquinas generadoras.

Transitorios de tensión (impulsos de voltaje).

Son disturbios de voltaje mucho más pequeños que los sags y swells cuya duración es generalmente menor a un ciclo y se muestran como una discontinuidad, pronunciada y corta de la forma de onda. Puede ser de cualquier polaridad (positiva o negativa) y puede ser aditivo o sustractivo de la forma de onda nominal. Generalmente son causados por descargas atmosféricas, así como por maniobras de interruptores y por oscilaciones comúnmente debidas a la conexión de bancos de capacitores y cambios súbitos en el sistema de suministro.

Debido a que su nivel puede alcanzar valores de cinco veces el valor nominal o más su efecto puede provocar la aplicación de esfuerzos excesivos al aislamiento de diversos equipos o disturbios a componentes electrónicos sensibles. Esto último puede traer como consecuencia la interrupción de programas en procesos de computadoras, pérdida de información almacenada en memoria o daño a los propios elementos (hardware). Las posibles soluciones para limitar estos problemas son el uso de UPS's, protectores electrónicos de sags, transformadores de aislamiento y acondicionadores de la calidad de la energía eléctrica (Power Quality Conditioners).

Resumiendo, se puede decir que son desviaciones de la tensión o corriente normales, repentinas y significativas, típicamente tienen una duración de 20[μ s] hasta 0.5 [s], existen dos tipos:

Impulso.

Es un cambio repentino de potencia a una frecuencia distinta de la fundamental, es

¹³ Diario Oficial de la Federación. Mayo de 1993. Reglamento de la ley del servicio público de la energía eléctrica.



unidireccional en su polaridad (+ o -). Normalmente son caracterizados por sus tiempos de cresta y cola, la causa más común son las descargas atmosféricas. Los impulsos involucran altas frecuencias, por lo que son amortiguados rápidamente por la componente resistiva del circuito y no son conducidos a largas distancias desde su fuente. Pueden excitar la resonancia de los circuitos y producir transitorios oscilatorios.

Transitorios de impulso por rayo.

Como son debidos a descargas atmosféricas, que son ondas unidireccionales y de una sola polaridad, se caracterizan por ondas de sobretensión de frente rápido y de aumento relativamente lento en la escala de tiempo que se maneja (1.2 a 50 microsegundos), ver figura 1.12.

Después de la caída o impacto de un rayo en forma directa o indirecta en una línea aérea que alimenta una subestación eléctrica, los apartarrayos que se instalan en la entrada de la subestación, limitan la onda de tensión y conducen a tierra la corriente del rayo. De no existir estos, la tensión se transmite entre los devanados de baja tensión del transformador por las capacitancias parásitas entre los devanados de alta y baja tensión. La derivación a tierra de la corriente del rayo crea sobretensiones en el equipo de baja tensión que pueden afectar a las cargas.

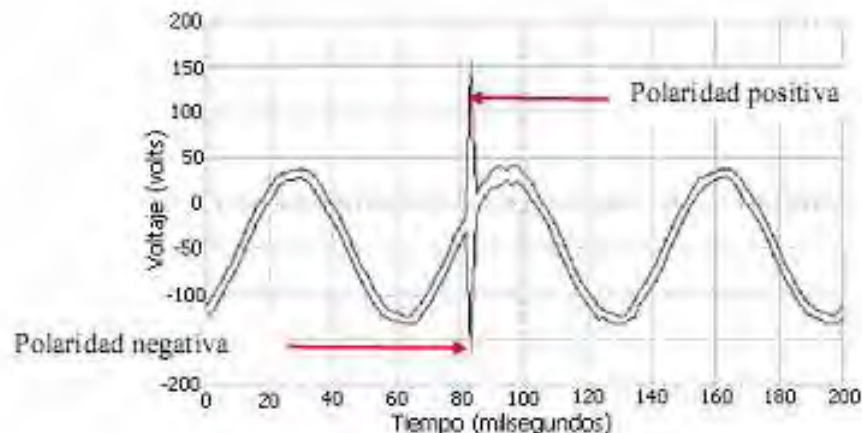


Fig. 1.12 Impulso transitorio en dos señales de tensión. Las dos señales de tensión tienen respectivamente polaridad positiva y negativa.

Oscilatorios.

Es un cambio repentino de baja potencia que afecta la frecuencia, cambiando la condición de estado estable de la tensión, corriente o ambas, que incluye los valores de polaridad. Consiste en el cambio instantáneo de valor, en la polaridad de la tensión o en la corriente. Es descrito por su contenido espectral, duración y magnitud, la figura 1.13 y 1.14 muestran este tipo de eventos.

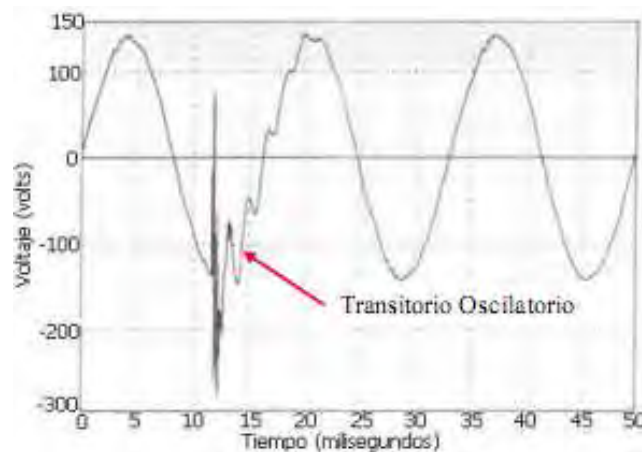


Fig.1.13 Transitorio oscilatorio en una señal de tensión.

Los transitorios oscilatorios siempre son ocasionados por maniobra de equipos, tales como desconexión de líneas, bancos de capacitores, etc. En ambos casos, debido a que involucran cantidades grandes de energía, ya sea corriente o voltaje, su efecto es destructivo.

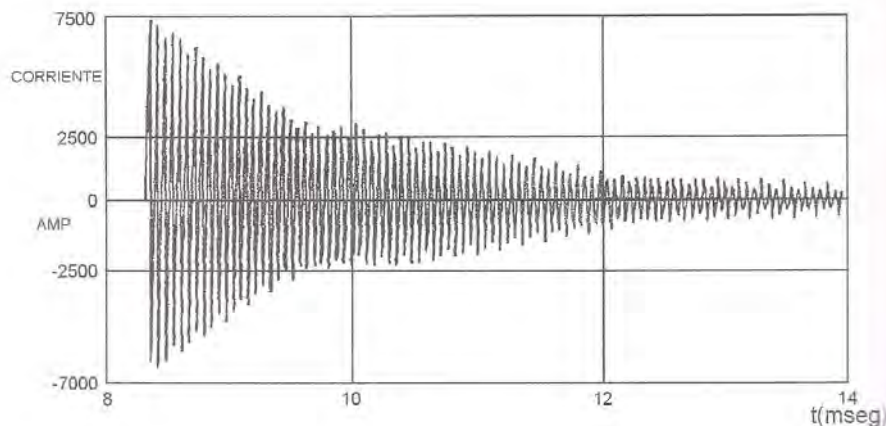


Fig.1.14 Transitorio oscilatorio causado por la energización de un banco de capacitores.



La protección contra fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica de las empresas suministradoras.

- El resultado de una falla se puede presentar como una tensión y/o una sobrecorriente en un sistema de distribución, debido principalmente a causas primarias como descargas atmosféricas, efectos de construcciones, accidentes, fuertes vientos, árboles, animales y vandalismo, que afectan los conductores. Estas fallas son normalmente detectadas por los relevadores de sobrecorriente que inicializan la operación de equipo para liberar la falla.
- Los sistemas de distribución incluyen una serie de dispositivos, como son los relevadores, interruptores, restauradores, fusibles y seccionadores, que liberan las fallas. Los restauradores e interruptores restablecen el servicio de forma inmediata después de una falla transitoria. No así los cortacircuitos que han operado y que se les debe reponer el fusible antes de ser restablecidos.
- Los dispositivos de protección pueden reducir el número de usuarios afectados por una falla, reducen el tiempo de interrupción por fallas temporales y ayudan a localizar las fallas, disminuyendo la duración de la interrupción.
- Los restauradores e interruptores abren el circuito con señal de sobrecorriente para prevenir el flujo de corriente y recierran después de un lapso de tiempo. Si la falla no desaparece después de la operación de un recierre, puede ocurrir un ciclo de apertura y cierre, o bien, quedar el circuito abierto.

Técnicas de atenuación de los disturbios.

Entre los principales métodos para mitigar los disturbios presentes en las instalaciones se encuentran los siguientes:

Puesta a tierra aislada.

Es la implementación de un cableado que conecte a los receptáculos que proveen de energía eléctrica a las cargas sensibles, el cual comprende el cableado normal para una instalación eléctrica, como es la fase, el neutro (o puesto a tierra) y la conexión del conductor desnudo de puesta a tierra que se conecta a la chalupa del contacto, y además lleva un cable de tierra aislada, el cual irá conectado directamente a la subestación, electrodo de tierra o una conexión a tierra física, y se conectará a la entrada de tierra en el receptáculo, el cual debe ser del tipo “tierra aislada”, en la figura 1.15 se ilustra la conexión correcta de un receptáculo con tierra aislada. Esto nos soluciona problemas de

ruido en la línea e impulsos en modo común provenientes de otros equipos en el sistema de puesta a tierra.

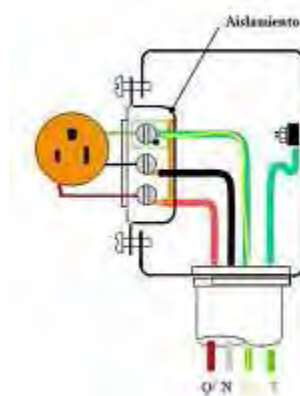


Fig.1.15 Receptáculo con conductor de tierra aislada.

Línea dedicada.

Es la implementación de un tablero separado y de uso exclusivo para las fuentes de tipo no lineal, para prevenir la contaminación del suministro a otros equipos. Esto soluciona los problemas de impulsos o cortes momentáneos de energía provenientes de equipos conectados al mismo circuito o tablero, aunque no logra dar solución a todos los problemas debidos a la interacción de cargas salvo las que llegan a presentarse dentro de un mismo circuito.

Transformadores de aislamiento.

Son dispositivos magnéticos que ofrecen una separación física entre la entrada y la salida del mismo. Puede solucionar la presencia de ruido, la contaminación de armónicas de otras fuentes y también caídas de tensión. Estos pueden ser de tipo normal o con un factor K, el cual además de brindar la protección mencionada, es capaz de soportar las corrientes de armónicas, e incluso se pueden encontrar con filtros para la mitigación de las mismas.

El factor K es una constante que nos indica la capacidad que posee el transformador para alimentar cargas no lineales (por ejemplo: hornos de inducción, Drive, sistemas de computo) sin exceder la temperatura de operación para la cual esta diseñado. A su vez, cumple la función de ser un indicador de la capacidad del transformador para soportar el contenido de corrientes armónicas, mientras se mantiene operando dentro de los límites de temperatura para la cual está diseñado

Filtros.

Los filtros son elementos eléctricos lineales que discriminan el paso de una determinada frecuencia o gama de frecuencias, dependiendo de las características del filtro y su capacidad. Solucionan problemas de corrientes armónicas, al drenar la corriente armónica de la frecuencia en la que se encuentre sintonizado. Pero la colocación de los filtros se debe realizar con cuidado, ya que estos están muy limitados por la cantidad de corriente que son capaces de filtrar, en la figura 1.16 se esquematiza la acción de un filtro.

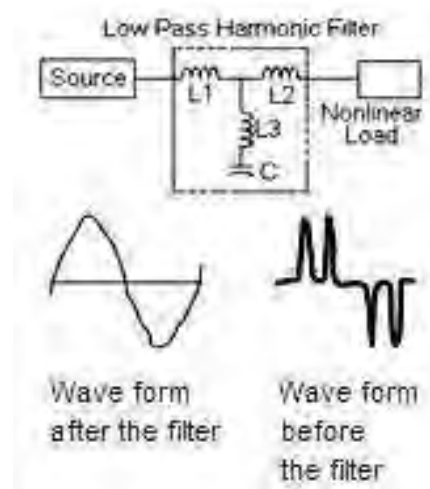


Fig.1.16 Filtro de armónicas.

Supresores de sobretensión transitoria (o de picos).

Es un dispositivo eléctrico que es capaz de bloquear tensiones que se producen en el suministro eléctrico o por descargas atmosféricas, que son llevadas de forma segura lejos de los equipos a proteger. Los supresores protegen a la instalación contra elevaciones repentinas y de corta duración en la tensión, aunque si estas se presentan con una duración mayor a la que establece el equipo, los fusibles se pueden quemar, al igual que si el valor de tensión eficaz que se tiene en la línea es mayor al que se especifica en el equipo.

Transformador de tensión constante o ferroresonante.

Son transformadores que cuentan con devanados secundarios que compensan y neutralizan cambios en la tensión, además de tener un condensador conectado al devanado compensador y al secundario, con lo que se proporciona una realimentación magnética. Éstos son capaces de aislar la carga y de regular la salida de tensión, por lo que protegen contra impulsos, ruidos, sobretensiones, sags y corrientes armónicas. Al elegir éstos

transformadores se debe tener precaución con su capacidad, ya que su regulación es mejor cuando se encuentran funcionando al 25% de esta, la figura 1.17 muestra la conexión interna de este tipo de transformadores.

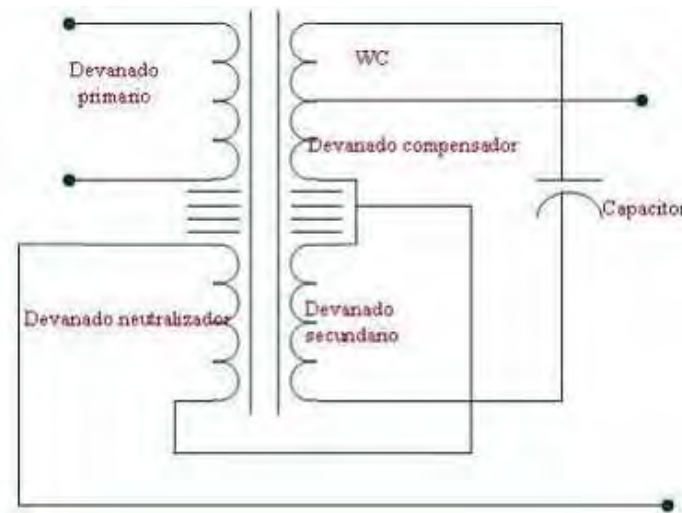


Fig.1.17 Diagrama esquemático de transformador ferroresonante.

Acondicionador o Regulador de Línea.

Son equipos eléctricos que controlan la salida de tensión mediante dispositivos electrónicos, brindando una salida con menor variación. Estos tienen la capacidad de solucionar los problemas de sags, swells, transitorios y de aislar las cargas de otras fuentes, esto último si el acondicionador tiene un dispositivo que proporcione aislamiento, como un transformador.

Sistemas de Energía Ininterrumpible (UPS's).

Una UPS es una fuente de suministro eléctrico que básicamente está compuesto por una batería, un transformador y componentes electrónicos, con el fin de proporcionar energía a un dispositivo en el caso de interrupción eléctrica. Existen dos tipos, los denominados off-line y los on-line. Los primeros se encargan de monitorear la entrada de energía, y en cuanto detectan alguna falla en esta, cambian su alimentación, tomándola de la batería, este pequeño cambio de origen de la energía puede tomar algunos milisegundos. Los on-line evitan esos milisegundos sin energía al producirse un corte eléctrico, pues proveen alimentación constante desde su batería y no de forma directa de la red. Cualquiera que sea el tipo estos sistemas proveen protección contra, transitorios, sags, swells, aíslan cargas, ruidos y algunos pueden filtrar armónicos. Es importante mencionar que una UPS



sin transformador no proporciona aislamiento, ya que la carga se conecta con el suministro a través del rectificador e inversor.

Comparación entre métodos.

Los diferentes métodos nos pueden ayudar a mitigar los diferentes tipos de disturbios y problemas de calidad de energía, dependiendo del tipo de instalación y el tipo de conexión, y se pueden comparar el tipo de solución, para el tipo de problema, la tabla 1.1 muestra una comparación entre los diferentes métodos.

Solución a disturbios eléctricos

	Impulso	Sobretensión	Sags	Swells	Armónicos	Ruidos	Corte del Suministro
Puesta a tierra Aislada	Medianamente Eficaz	No	No	No	No	Medianamente Eficaz	No
Línea dedicada	Medianamente Eficaz	No	No	No	No	Medianamente Eficaz	No
Transformadores de aislamiento	Medianamente Eficaz	No	No	No	No	No	No
Filtros	No	No	No	No	Eficaz	No	No
Supresores	Eficaz	No	No	No	No	No	No
Transformadores Ferroresonantes	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	No
Acondicionador de línea	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Opcional	Eficaz	No
UPS	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz

Tabla 1.1 Comparativa de métodos de protección y mitigación.

Como se puede observar en la tabla los métodos más eficaces para la mitigación de los disturbios son las UPS's¹⁴, los transformadores ferrosresonantes y los acondicionadores de línea, que debido a su naturaleza no permiten el paso de las armónicas u otros problemas derivados.

La consideración de una fuente externa de disturbio en la instalación o instalaciones, sólo se debe hacer después de que el comportamiento eléctrico interno ha sido completamente verificado, vía medición y/o estudios.

¹⁴ Las UPS's con rectificador controlado a base de SCRS genera más distorsión en corriente que las cargas que alimenta, mientras que una UPS con rectificadores PWN senoidal a base de IGBTs reduce drásticamnete las armónicas de corriente e incrementa el fp.



Una red protegida presenta numerosas ventajas, entre ellas:

- Salvaguardar la inversión y evitar el deterioro de los componentes.
- Eliminar errores de operación.
- Prevenir la pérdida de datos e información.
- Eliminar las paradas e interrupciones del servicio.
- Prevenir los colapsos en general.

Por lo cual resulta de suma importancia detectar los disturbios presentes en la red, para poder seleccionar el método de atenuación más adecuado, considerando al mismo tiempo el factor económico, para de esta manera disminuir lo más posible los disturbios de la forma más rentable, haciendo funcionar correctamente a todos los equipos conectados a la red.



CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMEDICAS (IIB)

Como se mencionó en el primer capítulo, al analizar los problemas relacionados con la alimentación eléctrica, primero es necesario estudiar los equipos o cargas conectados al sistema, para descartar la posibilidad de que los disturbios sean provocados por los mismos y no provengan de la red de suministro, ya que normalmente son las cargas conectadas las que provocan la mayoría de las distorsiones en la forma de onda de la tensión y/o de la corriente.

El IIB está compuesto por dos edificios, en los cuales se realizan diversas actividades de investigación, por lo que cuenta con un gran número de cargas no lineales, principalmente computadoras; además de tener una cantidad importante de motores, de los cuales la mayoría están destinados al aire acondicionado. El instituto cuenta con tres transformadores principales y tres plantas de emergencia, encargándose los primeros de alimentar toda la carga conectada.

Alimentación eléctrica al IIB.

El Instituto de Investigaciones Biomédicas ubicado en Ciudad Universitaria recibe su alimentación eléctrica de la subestación general 4, SG4¹⁵ de la UNAM, el cual a su vez obtiene la energía por parte de LyFC (en la actualidad CFE) a través de un alimentador preferente y uno emergente en 23 kV, por medio de una red aérea proveniente de la subestación Odón de Buen. La subestación alimenta al instituto con conductores Monterrey, 2000 XLT-1/0AWG, 25 kV que se encuentran en la red de distribución subterránea de CU. Dicho seccionador cuenta con cuatro ruptofusibles, estando compuesto el que corresponde al alimentador del IIB por:

- Cuchilla marca DRIWISA tipo LDTP 200691, Inom 630 A, Vnom 23 kV, I¹⁶ 25 kA, Vmax 25.8 kV, Imom 40 kA, NBI 125 kV, IP 65 kA.
- Fusible marca DRIWISA, modelo DRS20/040-A4, Vmax 25.8 kV, Inom 40 A, I¹⁷ 100 A, I¹ 40 kA.

Este alimentador suministra energía a los tres transformadores principales que conforman al IIB, en los cuales se realizó la medición de los parámetros eléctricos, que son:

¹⁵ El diagrama unifilar se encuentra en el apéndice C.

¹⁶ Máxima intensidad de corriente de corto circuito que el fusible es capaz de interrumpir con seguridad.

¹⁷ Corriente mínima de interrupción, corresponde al límite inferior de la gama de corrientes que el fusible puede interrumpir satisfactoriamente.



Transformador 1.

- Tensión eléctrica: 23,000-440/254 V
- Tipo de sistema: Delta-Estrella.
- Capacidad: 750 kVA

Transformador 2.

- Tensión eléctrica: 23,000-440/254 V
- Tipo de sistema: Delta-Estrella.
- Capacidad: 1000 kVA

Transformador 3.

- Tensión eléctrica: 23,000-220/127 V
- Tipo de sistema: Delta-Estrella (flotante).
- Capacidad: 500 kVA

Como se puede observar, el transformador tres se encuentra conectado con el neutro flotante, lo que es una probable fuente de disturbios, ya que esto puede ocasionar que el circuito eléctrico se cargue electrostáticamente o por inducción y elevar mucho su potencial respecto a tierra.

La finalidad de la puesta a tierra es referenciar o "normalizar" el neutro a tierra, porque de esta forma, ambos son el mismo punto de potencial. Además de la posible flotación de la tensión a causa de la electricidad electrostática o impulso por rayo, el neutro es el punto común respecto a las tres fases y al conectar a tierra para mantener su potencial a 0 V, independientemente de que la carga no se encuentre balanceada, ayuda a producir un cierto equilibrio entre las cargas de las tres fases.

Ya que si no esta conectado a tierra, y las cargas sobre las líneas trifásicas estuviesen muy desequilibradas, las tensiones entre neutro y fase serían muy variables. Por ejemplo, en una fase se puede tener 200, en otra 230 y en otra 280 V. Mientras que si tiene conexión a tierra, la tensión entre fase y neutro serán todas muy similares, independientemente del equilibrio de la carga¹⁸.

El conectar el neutro de un transformador a tierra de igual forma permite detectar las corrientes de falla de fase a tierra. Las conexiones con neutro aislado en los devanados de baja tensión de los transformadores trifásicos no es muy favorecida por las sobretensiones que se presentan al tener dos fallas en dos fases diferentes en el circuito de baja tensión.

¹⁸ Avelino Perez Pedro. Transformadores de distribución. México, Reverté, 1998 p.81



Transformador 1.

El transformador 1 “TR-1”¹⁹ es de tipo pedestal, servicio intemperie, clase 25 kV, 65°C, conexión en anillo, capacidad de 750 kVA, configuración DELTA-ESTRELLA con voltajes de operación de 23000-440/254 V y $z = 5.75\%$.

El transformador está conectado a un gabinete con un interruptor tipo Masterpact de 3X1200 A. De este alimenta al tablero general “TG-1”, que cuenta con interruptor de transferencia de 3X1200 A, con las siguientes características, 3F, 4H, 60 Hz, 440/254 V. El tablero se encuentra respaldado por una planta de emergencia de 440/254V, 3F, 4H, 60Hz, 700 kW continuos y 770 kW emergencia, por lo que el suministro a toda la carga conectada al transformador “TR-1” se encuentra respaldado. Este tablero alimenta a:

- Tablero subgeneral “TSG-1”.
- Centro de control de motores “CCM-1”.
- Transformador trifásico “TR-3A”.

Tablero subgeneral “TSG-1”.

Este tablero es tipo ILINE, marca SQUARE D, cuenta con un interruptor principal de 3X1000 A y de igual forma es de 3F, 4H, 60 Hz, 440 V; el cual alimenta a:

- Centro de control de motores “CCM-2”.
- Transformador trifásico “TR-2A”.

CCM-2.

Este CCM es marca SQUARE D, cuenta con un interruptor principal de 3X300 A, está ubicado en el cuarto de equipo no.1 en azotea y es de 3F, 3H, 440/254 V, 60 Hz. Alimenta eléctricamente a dos UMAs trifásicas de 40 HP, una UMA de 30 HP y a un transformador tipo seco con una capacidad de 75 kVA, 440-220/127 V, el cual suministra energía al centro de control de motores “AAV2” con interruptor principal de 3X150 A ubicado en el mismo cuarto, de 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz y que se utiliza para alimentar el tablero bifásico A5 (casa de máquinas), con una carga de 2167 VA, el tablero bifásico A4 (casa de máquinas), con una carga de 2667 VA, un motor monofásico de ½ HP, ocho motores trifásicos, de los cuales cuatro son de ¾ de HP y los cuatro restantes de 3.0 HP. Finalmente este centro de control de motores alimenta al centro de control de motores “AAV1”.

¹⁹ El diagrama unifilar se encuentran en el apéndice B.



El centro de control de motores “AAV1” tiene un interruptor principal de 3X125 A, 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz y está ubicado en el cuarto de equipo no. 2 en azotea. Este CCM alimenta a veinte motores, uno monofásico de ¼ HP, tres monofásicos de ½ HP once trifásicos de ¾ HP, cuatro trifásicos de 1.5 HP y uno más trifásico de 2HP, estando destinados todos a ventiladores.

Transformador trifásico “TR-2A”.

Este transformador tiene capacidad de 500 kVA, voltajes de operación de 440-220/127 V está conectado en DELTA-ESTRELLA y alimenta al tablero subgeneral “TSG-2” con interruptor principal Masterpact de 3X1600 A con tensiones de 220/127 V a 60 Hz. Este tablero proporciona alimentación a un secador de aspersion de 44.5 kVA, a los tableros A1, A2 y A3 de alumbrado en planta baja, primer nivel y segundo nivel respectivamente, así como a los tableros C1 a C6, los cuales son de receptáculos siendo C1 y C2 de planta baja, C3 y C4 de primer nivel y los últimos dos del segundo nivel. Finalmente el tablero TSG-2 alimenta a un UPS de 50 kVA, el cual hace lo propio con dos tableros regulados que son R2 ubicado en el primer nivel y R3 en el segundo nivel.

Centro de control de motores “CCM-1”.

Este centro de control de motores es marca SQUARE D, tiene un interruptor principal de 3X600A, trabaja a 3F, 4H, 60 Hz, 440 V y está ubicado en el cuarto de bombas de agua helada. El CCM alimenta a tres bombas de agua helada de 15 HP, así como al mismo número de UGAH's de 165411 VA cada una²⁰.

Transformador trifásico “TR-3A”.

Es de tipo seco, 115 °C de temperatura de elevación, marca SQUARE D, 112.5 kVA de capacidad, conexión DELTA-ESTRELLA, 60 Hz y voltajes nominales de 440-220/127 V, estando ubicado en el cuarto de compresores y bomba de vacío. Este transformador está ligado al tablero subgeneral de fuerza “TSG-3” tipo I LINE de 3F, 4H, 60 Hz, 220 V, 60 Hz y está ubicado en el mismo cuarto que el transformador TR3. Dicho tablero alimenta a los tableros de fuerza “H1A” y H2A”, ambos marca SQUARE D, 3F, 4H, 60 Hz, 220 V, así como al tablero de alumbrado y contactos “A6” de 3F, 4H, 60 Hz, 220/127 V, con una carga de 18811 VA, todos ubicados en el mismo cuarto del transformador.

²⁰ De las tres bombas y UGAH's solo funcionan dos de manera simultánea, la otra bomba y UGAH trabajan de manera alterna (en espera).



Tablero de fuerza “H1A”.

La carga de este tablero está constituida por dos equipos de vacío de 10 HP cada uno, dos equipos de aire comprimido²¹ de 7.5 HP y un compresor para el laboratorio de fermentaciones de 30 HP.

Tablero de Fuerza “H2A”.

La carga de este tablero es:

- Caldera 1 de 10 HP.
- Caldera 3 de 1.75 HP.
- Recirculador agua caliente tanque 1 de $\frac{3}{4}$ HP.
- Bomba refuerzo caldera 1 de $\frac{3}{4}$ HP.
- Equipo fluido hidráulico 1 de 10 HP.
- Equipo hidroneumático (3 motores de 7.5 HP) cada uno.
- Equipo contra incendio de 10 HP.
- Bomba torre de enfriamiento de 1 HP.
- Ventilador torre de enfriamiento de 1.5 HP.
- Unidad de refrigeración de 5 HP.
- Solenoide y luz piloto de tanque de condensados de 282 VA.
- Válvula de solenoide de vapor de 282 VA.
- Contacto doble polarizado para suavizador 1 de 238 VA.
- Contacto doble polarizado para dosificador 1 de 140 VA.

Carga total instalada en el transformador “TR-1”.

Para el cálculo de la potencia total instalada se consideró a la capacidad de los UPS's como carga, y no a lo que alimentan, ya que únicamente son tableros muy pequeños que no sobrepasan la capacidad del UPS. En el caso de los transformadores alimentados de TR-1 se consideró la carga final y no la capacidad de los transformadores secundarios, ya que éstos alimentan cerca del 40% de los motores instalados, y las capacidades de los cuales sí llegan a sobrepasar la capacidad del transformador.

La carga instalada la podemos distinguir en tres grupos principales, que son: motores, tableros de alumbrado y contactos de uso normal y finalmente los UPS's. Es conveniente hacer una diferenciación entre motores de aire acondicionado y motores que se destinan a actividades de investigación, ya que estos últimos no pueden detener los procesos a los que están asociados. Del mismo modo es conveniente diferenciar entre tableros de alumbrado y los de receptáculos. Bajo estas consideraciones a continuación se muestra la tabla que resume la magnitud de las diversas cargas instaladas.

²¹ Ambos equipos de vacío, así como los de aire comprimido están conectados al mismo alimentador y en carga crítica trabajan los dos equipos al mismo tiempo.



Carga total instalada 1681.8 kVA, compuesta por:

Concepto	Carga kVA
Motores de aire acondicionado	536.3
Motores de investigación	162.6
Tableros de alumbrado	77.4
Tableros de receptáculos	855.5
UPS	50
Carga total	1681.8

Como se puede apreciar, la carga instalada representa 2.24 veces la capacidad del transformador “TR-1”, ya que en el diseño de la instalación se toman en consideración factores de demanda y de coincidencia para los receptáculos y motores, lo que hace que la carga demandada disminuya y se pueda utilizar un transformador de menor capacidad. Las tablas 3.1 y 3.2 muestran el detalle de las cargas y salidas conectadas a TR-1.

Motores.

USO DEL MOTOR	CANT.	TENSIÓN	POT. POR MOTOR		POT. TOTAL VA	USO
			HP	VA		
Unidad manejadora de aire	2	3F-440 V	40	37300	74600	Aire
Unidad manejadora de aire	1	3F-440 V	30	27975	27975	Aire
Ventilador VE-2	1	1F-127 V	1/4	233	233	Aire
Ventilador VE-1,7,11,21	4	1F-127 V	1/2	466	1865	Aire
Ventilador VE-3,6,7,8,10,13,14,15,17,18,19,19,23,23,24	15	3F-220 V	3/4	699	10491	Aire
Ventilador VE-12,16,20,25	4	3F-220 V	1.5	1399	5595	Aire
Ventilador VE-5	1	3F-220 V	2	1865	1865	Aire
Unidad Condensadora UC-01,02,03,04	4	3F-220 V	3	2798	11190	Aire
Secador de aspersion	1	3F-220 V		44445	44445	Inv.
Bomba de agua helada BAH-1,2,3	2	3F-220 V	15	13988	27975	Aire
Unidad generadora de agua helada UGAH,1,2,3	2	3F-440 V		186088	372176	Aire
Equipo de vacío	2	3F-220 V	10	9325	18650	Inv.
Equipo de aire comprimido	2	3F-220 V	7.5	6994	13988	Inv.
Compresor Lab. Fermentaciones	1	3F-220 V	30	27975	27975	Inv.
Caldera 1	1	3F-220 V	10	9325	9325	Inv.
Caldera 3	1	3F-220 V	1.75	1632	1632	Inv.
Recirculador agua caliente tanque 1	1	3F-220 V	3/4	699	699	Inv.
Bomba refuerzo caldera 1	1	3F-220 V	3/4	699	699	Inv.
Equipo flujo hidráulico 1	1	3F-220 V	10	9325	9325	Inv.
Equipo hidroneumático	3	3F-220 V	7.5	6994	20981	Inv.
Equipo contra incendio	1	3F-220 V	10	9325	9325	Inv.
Bomba torre de enfriamiento	1	3F-220 V	1	933	933	Aire



USO DEL MOTOR	CANT.	TENSIÓN	POT. POR MOTOR		POT. TOTAL VA	USO
			HP	VA		
Ventilador torre enfriamiento	1	3F-220 V	1.5	1399	1399	Aire
Unidad de refrigeración	1	3F-220 V	5	4663	4663	Inv.
Suavizador 1	1	1F-127 V		238	238	Inv.
Dosificador 1	1	1F-127 V		140	140	Inv.
Solenoides y luz piloto	1	1F-127 V		282	282	Inv.
Válvula solenoide vapor	1	1F-127 V		282	282	Inv.
Potencia total en VA					698945	
Potencia investigación en VA					162649	
Potencia aire acondicionado en VA					536296	

Tabla 3.1 Motores alimentados del transformador TR-1 con datos obtenidos de el diagrama unifilar.

Tableros.

NOMBRE	USO	TENSIÓN	POTENCIA	
			W	VA
A1	Alumbrado planta baja	3F-220 V	18130	20144
A2	Alumbrado primer nivel	3F-220 V	15330	17033
A3	Alumbrado segundo nivel	3F-220 V	14930	16589
A4	Alumbrado cuarto de equipo no. 2	2F-220 V	2400	2667
A5	Alumbrado cuarto de equipo no. 1	2F-220 V	1950	2167
A6	Alumbrado cuarto de compresores y bomba de vacío	3F-220 V	16930	18811
C1	Receptáculos planta baja	3F-220 V	138900	154333
C2	Receptáculos planta baja	3F-220 V	145300	161444
C3	Receptáculos primer nivel	3F-220 V	136460	151622
C4	Receptáculos primer nivel	3F-220 V	103750	115278
C5	Receptáculos segundo nivel	3F-220 V	146110	162344
C6	Receptáculos segundo nivel	3F-220 V	99450	110500
Carga total tableros de distribución.			932933	
Carga tableros de receptáculos.			855522	
Carga tableros de alumbrado.			77411	

Tabla 3.2 Tableros alimentados del transformador TR-1 con datos obtenidos del diagrama unifilar.

Cabe mencionar que la elaboración de las tablas fue propia, con datos obtenidos de los diagramas unifilares y corroborados en campo.

Para tener una apreciación más clara de la distribución de la carga conectada, se muestra la siguiente gráfica:

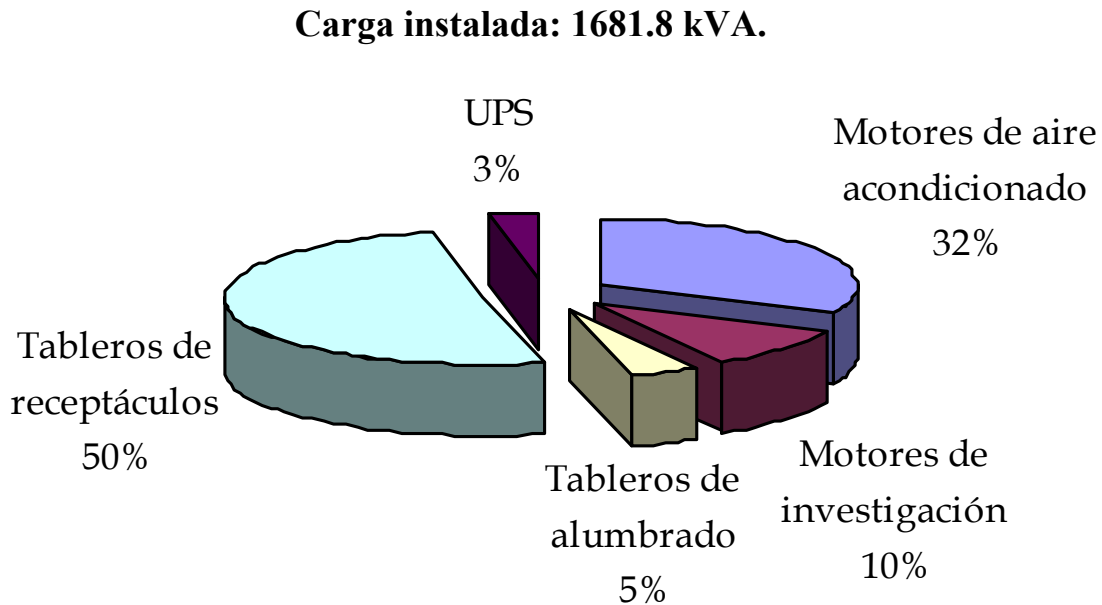


Fig. 3.1 Distribución de la carga instalada en TR-1.

Transformador 2.

El transformador 2 “TR-2”²² es de tipo pedestal, servicio intemperie, clase 25 kV, 65°C, conexión en anillo, capacidad de 1000 kVA, configuración DELTA-ESTRELLA con voltajes de operación de 23000-440/254 V y $z = 5.75\%$.

El transformador está conectado a un gabinete con un interruptor tipo Masterpact de 3X1600 A, del cual se alimenta al tablero general “TG-2”, que cuenta con interruptor de transferencia de 3X1600 A con las siguientes características, 3F, 4H, 440/254 V, 60 Hz. El tablero se encuentra respaldado por una planta de emergencia de 440/254 V, 3F, 4H, 60 Hz, 900 kW continuos y 990 kW emergencia, por lo que el suministro a toda la carga conectada al transformador “TR-2” se encuentra respaldado. Este tablero alimenta a:

- Tablero subgeneral “TSG-1”.
- Centro de control de motores “CCM-1B”.
- Transformador trifásico “TR-3A”.

²² El diagrama unifilar se encuentran en el apéndice B.



Tablero subgeneral “TSG-1”.

Este tablero es marca SQUARE D, cuenta con un interruptor principal de 3X1600 A y de igual forma es de 3F, 4H, 60 Hz, 440 V; el cual alimenta a:

- Centro de control de motores “CCM-2”.
- Transformador trifásico “TE-2”.

CCM-2.

Este CCM es marca SQUARE D, cuenta con un interruptor principal de 3X250 A, está ubicado en el cuarto de equipo no.1 en azotea y es de 3F, 3H, 440/254 V, 60 Hz. Alimenta eléctricamente a dos UMAs trifásicas de 30 HP, una UMA de 40 HP y a un transformador tipo seco con una capacidad de 75 kVA, 440-220/127 V, el cual suministra energía al centro de control de motores “CCM-3” con interruptor principal de 3X175 A ubicado en el mismo cuarto, de 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz y que se utiliza para alimentar el tablero bifásico A5 (casa de máquinas), con una carga de 2167 VA, un motor monofásico de 1/6 HP, seis motores trifásicos, de ¾ de HP, dos motores trifásicos de 1.5 HP y al centro de control de motores “CCM-4”.

El centro de control de motores “CCM-4” tiene un interruptor principal de 3X125 A, 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz y está ubicado en el cuarto de equipo no. 2 en azotea. Este CCM alimenta al tablero de distribución A4 (casa de máquinas) que tienen una carga de 2667 VA y dieciocho motores trifásicos, de los cuales doce tienen una potencia de ¾ HP, tres de 1 HP y tres más de 3 HP, estando destinados todos a ventiladores.

Transformador trifásico “TE-2”.

Este transformador está ubicado en el cuarto de transformador en planta baja, tiene capacidad de 750 kVA, voltajes de operación de 440-220/127 V, está conectado en DELTA-ESTRELLA y alimenta al tablero subgeneral “TSG-2” con interruptor principal Masterpact de 3X2000 A con tensiones de 220/127 V a 60 Hz. Este tablero proporciona alimentación a los tableros A1, A2 y A3 de alumbrado en planta baja, primer nivel y segundo nivel respectivamente, así como a los tableros C1 a C6, los cuales son de receptáculos siendo C1 y C2 de planta baja, C3 y C4 de primer nivel y los últimos dos del segundo nivel. Finalmente el tablero TSG-2 alimenta a un UPS de 75 kVA, el cual hace lo propio con dos tableros regulados que son R2 ubicado en el primer nivel y R3 en el segundo nivel.



Centro de control de motores “CCM-1B”.

Este centro de control de motores es marca SQUARE D, tiene un interruptor principal de 3X600A, trabaja a 3F, 4H, 60 Hz, 440 V y está ubicado en el cuarto de bombas de agua helada. El CCM alimenta a tres bombas de agua helada de 15 HP, así como al mismo número de UGAH's de 165411 VA cada una²³.

Transformador trifásico “TR-3A”.

Es de tipo seco, 115 °C de temperatura de elevación, marca SQUARE D, 75 kVA de capacidad, conexión DELTA-ESTRELLA, 60 Hz y voltajes nominales de 440-220/127 V, estando ubicado en el cuarto de compresores y bomba de vacío. Este transformador está ligado al tablero subgeneral de fuerza “TSG-3” tipo I LINE de 3F, 4H, 60 Hz, 220 V, 60 Hz que está ubicado en el mismo cuarto que el transformador TR-3A. Dicho tablero alimenta a los tableros de fuerza “H1B” y H2B”, ambos marca SQUARE D, 3F, 4H, 60 Hz, 220 V, ubicados en el mismo cuarto del transformador.

Tablero de fuerza “H1B”.

La carga de este tablero está constituida por dos equipos de vacío de 10 HP cada uno y dos equipos de aire comprimido²⁴ de 7.5 HP.

Tablero de Fuerza “H2B”.

La carga de este tablero es:

- Caldera 2 de 10 HP.
- Recirculador agua caliente tanque 2 de $\frac{3}{4}$ HP.
- Bomba refuerzo caldera 2 de $\frac{3}{4}$ HP.
- Contacto doble polarizado para suavizador 1 de 238 VA.
- Contacto doble polarizado para dosificador 1 de 140 VA.

Carga total instalada en el transformador “TR-2”.

Para el cálculo de la potencia total instalada se consideró de igual forma la capacidad de los UPS's como carga, y no a lo que alimentan, ya que únicamente son tableros muy pequeños que no sobrepasan la capacidad del UPS. En el caso de los transformadores alimentados de TR-2 se consideró la carga final y no la capacidad de los mismos.

²³ De las tres bombas y UGAH's solo funcionan dos de manera simultánea, la otra bomba y UGAH trabajan de manera alterna (en espera).

²⁴ Ambos equipos de vacío, así como los de aire comprimido están conectados al mismo alimentador y en carga crítica trabajan los dos equipos al mismo tiempo.



Carga total instalada 1691.3 kVA, compuesta por:

Concepto	Carga kVA
Motores de aire acondicionado	520.1
Motores de investigación	43.7
Tableros de alumbrado	58.5
Tableros de receptáculos	994
UPS	75
Carga total	1691.3

En este transformador la carga instalada representa 1.69 veces la capacidad del mismo, lo que puede provocar la presencia de disturbios en el sistema, si no están bien calculados los factores de demanda y de coincidencia al tener una demanda mayor a la capacidad. En las siguientes tablas se detallan las cargas de fuerza, alumbrado y receptáculos conectadas al transformador.

Motores.

USO DEL MOTOR	CANT.	TENSIÓN	POT. POR MOTOR		POT. TOTAL VA	USO
			HP	VA		
Unidad manejadora de aire	2	3F-440 V	30	27975	55950	Aire
Unidad manejadora de aire	1	3F-440 V	40	37300	37300	Aire
Ventilador VE-7	1	1F-127 V	1/6	155	155	Aire
Ventilador VE-9,10,11,12,13,14,16,17, 18,19,20,21,22,23,24,25,26,27	18	3F-220 V	3/4	699	12589	Aire
Ventilador VE-2,4,6	3	3F-220 V	1	933	2798	Aire
Ventilador VE-8,15	2	3F-220 V	1.5	1399	2798	Aire
Ventilador VE-1,3,5	3	3F-220 V	3	2798	8393	Aire
Bomba de agua helada BAH-1,2,3	2	3F-220 V	15	13988	27975	Aire
Unidad generadora de agua helada UGAH,1,2,3	2	3F-440 V		186088	372176	Aire
Equipo de vacío	2	3F-220 V	10	9325	18650	Inv.
Equipo de aire comprimido	2	3F-220 V	7.5	6994	13988	Inv.
Caldera 2	1	3F-220 V	10	9325	9325	Inv.
Recirculador agua caliente tanque 2	1	3F-220 V	3/4	699	699	Inv.
Bomba refuerzo caldera 2	1	3F-220 V	3/4	699	699	Inv.
Suavizador 1	1	1F-127 V		238	238	Inv.
Dosificador 1	1	1F-127 V		140	140	Inv.
Potencia total en VA				563872		
Potencia investigación en VA				43739		
Potencia aire acondicionado en VA				520133		

Tabla 3.3 Motores alimentados del transformador TR-2 con datos obtenidos del diagrama unifilar.



Tableros.

NOMBRE	USO	TENSIÓN	POTENCIA	
			W	VA
A1	Alumbrado planta baja	3F-220 V	19215	21350
A2	Alumbrado primer nivel	3F-220 V	14870	16522
A3	Alumbrado segundo nivel	3F-220 V	14258	15842
A4	Alumbrado cuarto de equipo no. 2	2F-220 V	2400	2667
A5	Alumbrado cuarto de equipo no. 1	2F-220 V	1950	2167
C1	Receptáculos planta baja	3F-220 V	155217	172463
C2	Receptáculos planta baja	3F-220 V	143372	159302
C3	Receptáculos primer nivel	3F-220 V	156434	173816
C4	Receptáculos primer nivel	3F-220 V	155133	172370
C5	Receptáculos segundo nivel	3F-220 V	139023	154470
C6	Receptáculos segundo nivel	3F-220 V	145475	161639
Carga total tableros de distribución.		1052608		
Carga tableros de receptáculos.		994060		
Carga tableros de alumbrado.		58548		

Tabla 3.4 Tableros alimentados del transformador TR-2 con datos obtenidos del diagrama unifilar.

Para tener una apreciación más clara de la distribución de la carga conectada, se muestra la siguiente gráfica:

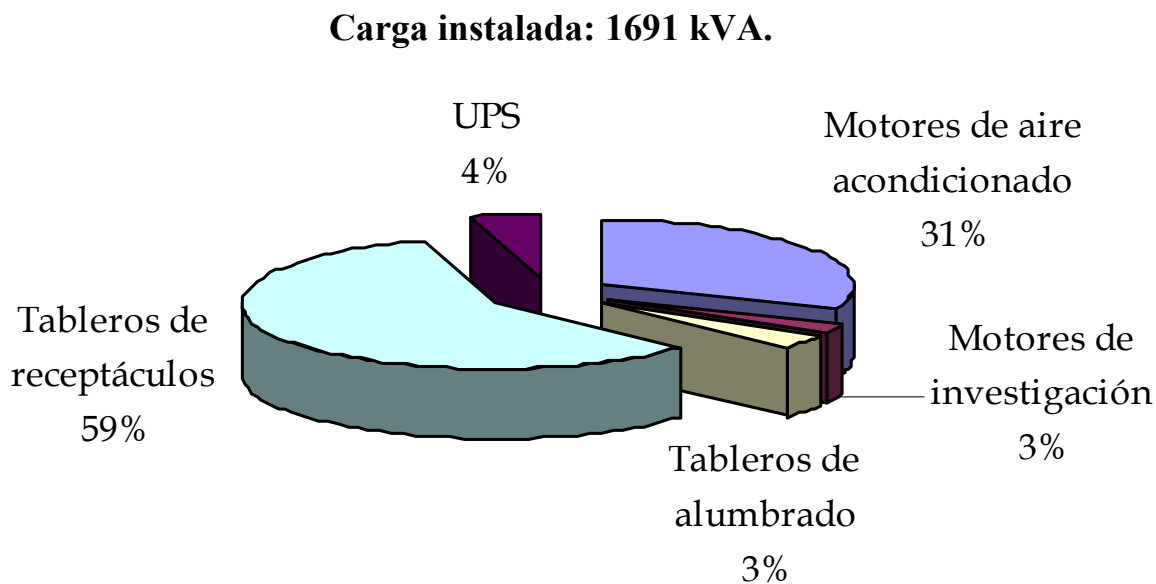


Fig. 3.2 Distribución de la carga instalada en TR-2.



Transformador 3.

El transformador “TR-3”²⁵ es de tipo pedestal, marca PROLEC, conexión en anillo, capacidad de 500 kVA, configuración DELTA-ESTRELLA (flotante) con voltajes de operación de 23000-220/127 V, $z = 3.5\%$ y está ubicado en el local de la subestación eléctrica.

El transformador alimenta al tablero general de distribución “TGDN”, que cuenta con interruptor principal de 3X900 A y tiene las siguientes características, 3F, 4H, 60 Hz, 220/127 V y está ubicado en el mismo local que TR-3. Este tablero alimenta a:

- Tablero subgeneral “TSDGB”.
- Tablero subgeneral “TSGDN”.
- Tablero subgeneral “TDAA”.
- UPS “GR” de 67 kVA.
- UPS “SV” de 20 kVA.
- Cinco motores destinados a UC-1, UMA-1, elevador de edificio A y dos para bombas de sistema de riego.

Tablero subgeneral “TSDGB”.

Este tablero cuenta con un interruptor principal de 3X200 A, es de 3F, 4H, 60 Hz, 220/127 V, está ubicado en el cuarto eléctrico del edificio B, y alimenta a:

- UPS “B” de 6 kVA.
- Dos motores de 5 HP destinados a equipo de bombeo para red hidráulica.
- Un motor de 5 HP para circulador red hidráulica.
- Tres tableros de distribución que son “AEX”, “BA” y “BB”.

Tablero subgeneral “TSDGDN”.

Es de tipo ILINE, con interruptor principal de 3 X 400 A, ubicado en la planta baja del edificio A y de igual forma 3F, 4H, 60 Hz y 220/127 V. Alimenta a once tableros de distribución, de los cuales seis son de alumbrado y cinco de contactos.

²⁵ El diagrama unifilar se encuentran en el apéndice B.



Tablero subgeneral “TDAA”.

Está ubicado en el edificio A, es tipo ILINE, de 3F, 4H, 60 Hz, 220/127 V, con interruptor principal de 3 X 150 A, y alimenta a cuatro unidades de aire acondicionado tipo paquete, cuatro ventiladores de aire acondicionado y a una unidad condensadora acompañada de su mini split.

Carga total instalada en el transformador “TR-3”.

En este caso no se encuentran motores destinados a actividades de investigación, así que la diferenciación será entre motores destinados al aire acondicionado y los destinados a servicios del instituto, como son de elevador, de sistemas de riego y bombeo, etc. De nueva cuenta, para el cálculo de la potencia total instalada se consideró a la capacidad de los UPS's como carga, y no a lo que alimentan, por la misma razón que en los casos anteriores. En este no existen transformadores alimentados de TR-3.

Carga total instalada 376.2 kVA, compuesta por:

Concepto	Carga kVA
Motores de aire acondicionado	60.3
Motores de servicios	22.5
Tableros de alumbrado	86.4
Tableros de receptáculos	114
UPS	93
Carga total	376.2

En este caso la carga instalada se encuentra por debajo de la capacidad del transformador, lo que refleja que dicho transformador está sobredimensionado, motivo por el cual la calidad del suministro a los equipos conectados al mismo debe ser mejor. Las tablas 3.5 y 3.6 detallan la distribución de las cargas conectadas al transformador.

Motores.

USO DEL MOTOR	CANT.	TENSIÓN	POT. POR MOTOR		POT. TOTAL VA	USO
			HP	VA		
Unidad condensadora 1	1	3F-220 V		24500	24500	Aire
Unidad manejadora de aire 1	1	3F-220 V	5	4663	4663	Aire
Elevador edificio A	1	3F-220 V		7125	7125	Servicios
Bombas sistema de riego	2	3F-220 V	3	2798	5595	Servicios
Equipo de bombeo para red hidráulica	2	3F-220 V	5	4663	9325	Servicios
Circulador red hidráulica	1	1F-127 V	1/2	466	466	Servicios



USO DEL MOTOR	CANT.	TENSIÓN	POT. POR MOTOR		POT. TOTAL VA	USO
			HP	VA		
Unidad de aire acondicionado tipo paquete UP-2,3	2	3F-220 V		6650	13300	Aire
Unidad de aire acondicionado tipo paquete UP-4	1	1F-220 V		4162	4162	Aire
Unidad de aire acondicionado tipo paquete UP-5	1	3F-220 V		8125	8125	Aire
Unidad condensadora y mini split	1	1F-220 V		1785	1785	Aire
Ventilador VE-1,1	2	3F-220 V	3/4	699	1399	Aire
Ventilador VE-2	1	3F-220 V	1.5	1399	1399	Aire
Ventilador VE-2	1	3F-220 V	1	933	933	Aire
Potencia total en VA	82776					
Potencia servicios en VA	22511					
Potencia aire acondicionado en VA	60265					

Tabla 3.5 Motores alimentados del transformador TR-3 con datos obtenidos del diagram unifilar.

Tableros.

NOMBRE	USO	TENSIÓN	POTENCIA	
			W	VA
SE	Alumbrado en subestación	1F-127 V	2400	2667
AEX	Alumbrado exterior	3F-220 V	24770	27522
BA	Alumbrado y contactos Auditorio y puente	3F-220 V	12645	14050
BB	Alumbrado y contactos área de mantenimiento	3F-220 V	4975	5528
AA	Alumbrado	3F-220 V	9445	10494
CA	Contactos	3F-220 V	23250	25833
AF	Alumbrado	3F-220 V	7350	8167
CB	Contactos	3F-220 V	13200	14667
AB	Alumbrado	3F-220 V	10015	11128
AC	Alumbrado	3F-220 V	8100	9000
CC	Contactos	3F-220 V	16250	18056
AD	Alumbrado	3F-220 V	8790	9767
CD	Contactos	3F-220 V	17500	19444
AE	Alumbrado	3F-220 V	6905	7672
CE	Contactos	3F-220 V	14750	16389
Carga total tableros de distribución.		200383		
Carga tableros de receptáculos.		113967		
Carga tableros de alumbrado.		86417		

Tabla 3.6 Tableros alimentados del transformador TR-3 con datos obtenidos del diagrama unifilar.



UPS.

NOMBRE	CAP kVA	TENSIÓN	ALIMENTA		
			TABLERO	W	VA
UPS-B	6	2F, 3H, 208/120 V	Tablero BR	3150	3500
			Tablero RA	21350	23722
			Tablero RB	10500	11667
			Tablero RC	11550	12833
			Contacto SGR1	1400	1556
UPS-GR	67	3F, 4H, 208/120 V Ligado a TSGDR que alimenta a:	Contacto SGR3	1050	1167
			Contacto SGR5	700	778
			Tablero RD	4200	4667
			Tablero RE	6300	7000
			UPS-SV	20	TSGDR que alimenta a:
Carga total UPS					93

Para tener una apreciación más clara de la distribución de la carga conectada, se muestra la siguiente gráfica:

Carga instalada: 376.2 kVA.

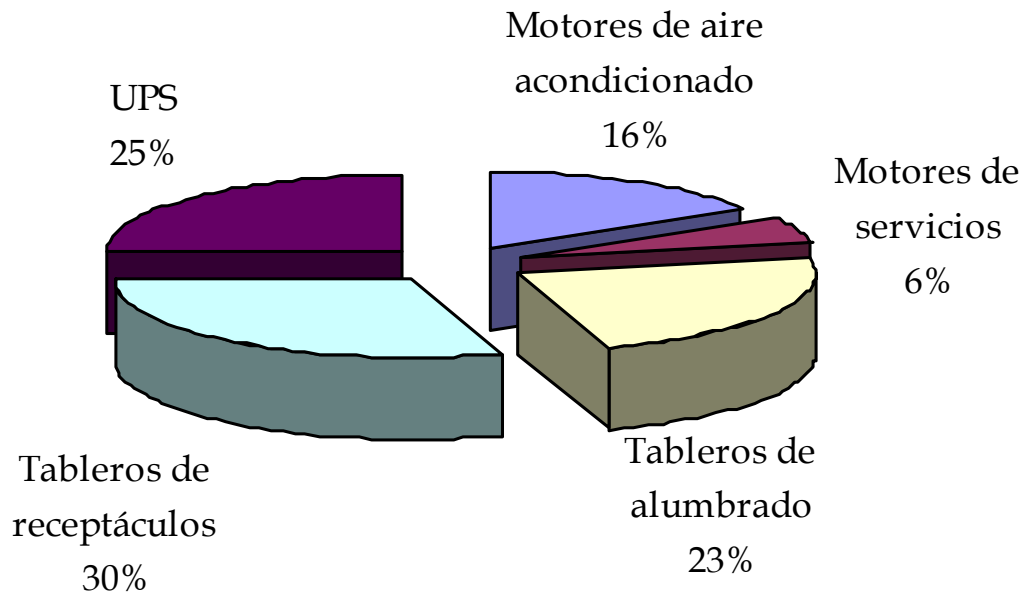


Fig. 3.3 Distribución de la carga instalada en TR-3.



En las figuras 3.1 y 3.2 es posible apreciar que la carga predominante para TR-1 y TR-2 son los tableros de receptáculos, ya que representan un poco más del 50% de la carga instalada, y en segundo lugar encontramos a los motores destinados al aire acondicionado que demandan alrededor del 30% de la carga total. Finalmente los tableros de alumbrado, los motores destinados a actividades de investigación y los UPS representan valores muy pequeños, por debajo del 10%.

Debido a que los receptáculos, después de los primeros 10 kVA tienen un factor de demanda del 50%²⁶, se puede afirmar que la carga predominante serán los motores, pues son ellos quien presenten la mayor demanda, y por consiguiente pueden ser una fuente importante de disturbios, además de que como se mencionó, para TR-1 y TR-2, al estar rebasada la capacidad del transformador por la carga instalada, si no fueron bien considerados los respectivos factores de demanda y de coincidencia se puede presentar el caso de una demanda superior a la capacidad del transformador, lo que repercutiría en la operación de protecciones y por lo tanto una interrupción en el suministro..

Para el caso del transformador tres se observa una distribución más equitativa de la carga, donde los tableros de receptáculos representan el 30%, los UPS el 25%, los tableros de alumbrado el 23% y los motores el 22%, aunado a que la carga instalada es menor a la capacidad del transformador, en estos equipos deben presentarse menos disturbios.

Es importante mencionar que al estar conectados en anillo los tres transformadores del instituto, y ser alimentados del mismo punto, cualquier disturbio que se presente, ya sea antes o después de cualquiera de los tres transformadores, será transmitido por la red y los tres transformadores “sentirán” las afectaciones del mismo.

²⁶ Según la tabla 220-13 de la NOM-001-SEDE-2005.



ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LOS DISTURBIOS ELÉCTRICOS

Medición de los parámetros eléctricos.

Con el fin de determinar qué disturbios ocurren en el instituto, y con base a esta información poder determinar sus posibles causas y soluciones, se realizó un monitoreo de parámetros eléctricos, efectuado del primero al quince de agosto de 2007, realizando mediciones en los tres transformadores principales que conforman la instalación del instituto, por lo que se utilizaron tres equipos de medición, los cuales fueron:

- Analizador de redes eléctricas y calidad de la energía marca AEMC, modelo 3945²⁷, conectado en el tablero general TG-1, que se alimenta del transformador 1 (750 kVA).
- Analizador de redes eléctricas y calidad de la energía marca CIRCUITOR²⁷, modelo AR5, conectado en el tablero general TG-2, que se alimenta del transformador 2 (1000 kVA).
- Analizador de redes eléctricas marca AMPROBE, modelo DM-PROII²⁷, conectado en el transformador 3 (500 kVA).

Entre otros parámetros el monitoreo proporciona información sobre la manera en que se utiliza la energía eléctrica en las instalaciones. Durante las dos semanas que duró el monitoreo únicamente se presentaron disturbios los días 1 y 2, en los días subsecuentes se observa un comportamiento que no presenta variaciones sobresalientes. Dentro de los parámetros monitoreados se encuentran, voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia y distorsión armónica total en tensión y en corriente.

²⁷ Las especificaciones de los equipos se encuentran en el apéndice D.



TG-1.

Para el monitoreo realizado en TG-1, el equipo de medición fue conectado después del interruptor Masterpact, tanto las donas para medir la corriente, como los caimanes para medir la tensión.

Tensión.

En el IIB se tienen dos sistemas, uno es de 440 V entre fases y 254 V de fase a neutro en los transformadores TR-1 y TR-2 y de 220/127 V para TR-3.

IIB Tablero TG1, interruptor 3x1200 A, 1-2/08/2007
Variación de Voltaje

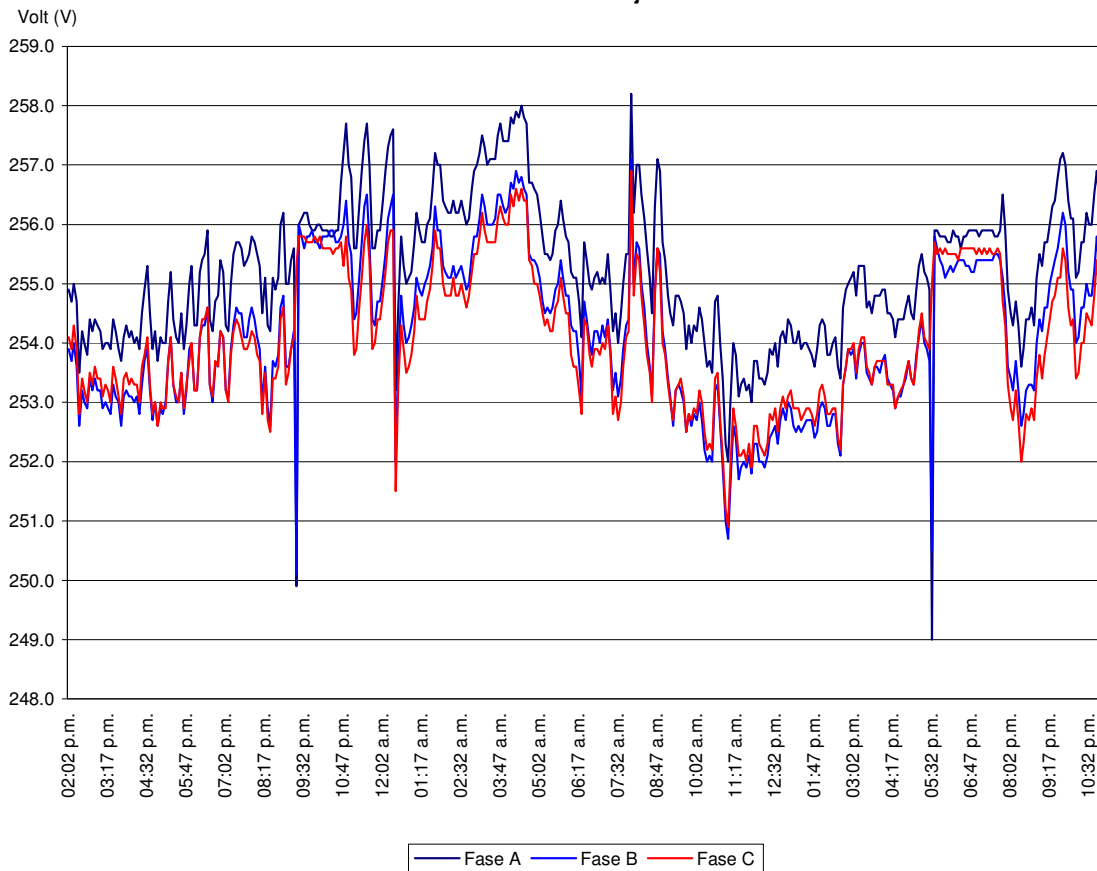


Fig. 4.1 Variación en la tensión presentada en TG-1 del 1 al 2 de agosto.

En la figura 4.1 se observa que la tensión se encuentra dentro de los límites aceptables, presentando valores máximo y mínimo de 258.2 y 249.0 V respectivamente, ambos en la fase A. Como comportamiento anormal, únicamente se encuentran dos variaciones de tensión, presentándose a las 9:17 p.m. del día 1 y alas 5:32 p.m. del día 2, con valores de 250.1 y 249 V respectivamente, y ambas en la fase B. Aunque estas no pueden ser



considerados disturbios, porque no excedieron el 10% de variación, si son capaces de alterar el buen funcionamiento de los equipos, sobretodo los electrónicos. Al comparar esta gráfica con las correspondientes para TR-2 y TR-3, figuras 4.6 y 4.11 respectivamente, se observa que estas variaciones provienen de la red de suministro y no de la operación del sistema, porque se presentan en los tres transformadores, y no fueron acompañados de un incremento en la corriente.

El desbalance en tensión, promedio, es de 0.21%, lo que hace notar que no existe gran diferencia entre las fases, lo cual se debe a que el neutro del transformador se encuentra solidamente aterrizado, y aún cuando exista un desbalance en la carga, éste no afecta a la tensión. En la tabla 4.1 se presentan los valores de tensión más representativos para este periodo.

TENSIÓN (V).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	258.20	257.10	256.90
MÍNIMO	249.00	250.10	250.90
PROMEDIO	255.22	254.13	254.05

Tabla 4.01 Valores máximos, mínimos y promedios de la tensión en TG-1.

Corriente.

En la corriente se puede apreciar un comportamiento estable, sin demandas súbitas, notando que la demanda comienza a incrementarse alrededor de las 10:30 a.m., se mantiene constante en el transcurso del día, y desciende alrededor de las 8:00 p.m. a los valores mínimos, lo cual se puede apreciar en la figura 4.2, presentándose esta condición de forma cíclica, es decir, de lunes a viernes se presenta la misma demanda, en horarios muy similares, y manteniendo valores mínimos los fines de semana. La tabla 4.2 nos proporciona los valores: máximo, mínimo y promedio.

CORRIENTE (A).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	306.30	289.30	306.00
MÍNIMO	119.10	106.20	119.90
PROMEDIO	178.77	164.86	177.51

Tabla 4.2 Valores máximos, mínimos y promedios de la corriente en TG-1.

También se puede observar que al incrementar la demanda de corriente, la tensión disminuye, lo cual es un comportamiento normal ya que al aumentar la corriente se incrementa la caída de tensión en los alimentadores. Es importante resaltar que esta no solo se da en los alimentadores de los transformadores, sino que también es consecuencia



de la caída de tensión en el anillo que suministra energía a los mismos. De igual forma es notorio que la demanda es muy baja, considerando que se cuenta con un interruptor de 1200 A y que la demanda máxima fue de 306.3 A en la fase A. Como se mencionó anteriormente, la gráfica de corriente no muestra correlación entre los eventos de tensión y la corriente, lo cual indica que los abatimientos de tensión no fueron provocados por la propia carga del circuito, sino que provienen del lado suministrador. Como se mencionó en el primer capítulo los abatimientos de tensión son de los disturbios que se presentan con mayor frecuencia.

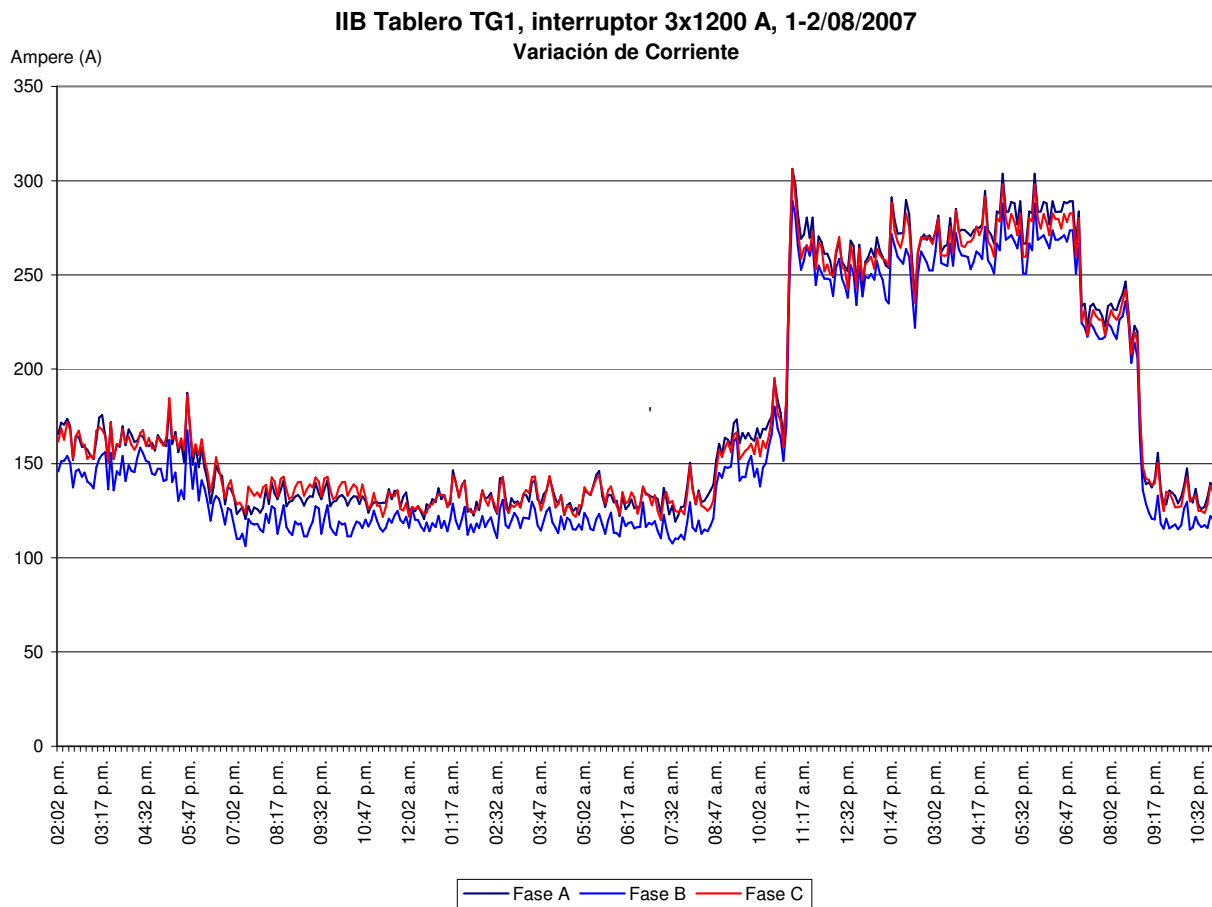


Fig. 4.2 Variación en la corriente presentada en TG-1 del 1 al 2 de agosto.



Factor de potencia.

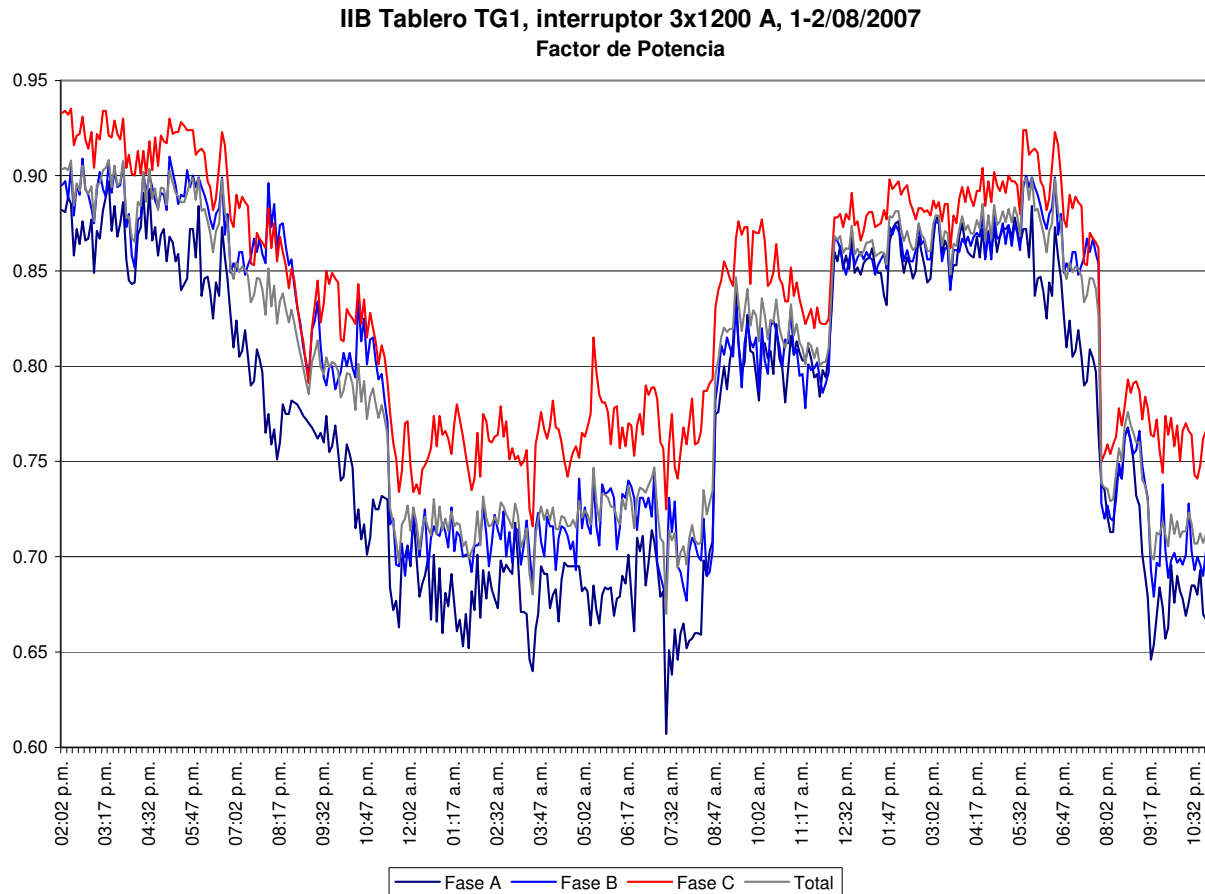


Fig. 4.3 Variación en el factor de potencia presentado en TG-1 del 1 al 2 de agosto.

Con respecto al factor de potencia, un inconveniente que se presenta es que es muy bajo, de 0.8 en promedio, y que incluso llega a ser de 0.65, lo cual ocurre en los periodos de menor demanda, haciendo notar que la carga conectada de manera permanente provoca una disminución importante en el fp, la cual consiste principalmente de equipos de iluminación y cómputo, que tienen una mayor concentración en las fases A y B. Es importante que se tomen medidas para la corrección de este factor, ya que con los valores registrado (0.8 en promedio) durante el monitoreo, se debe estar pagando cargo por bajo factor de potencia. En la figura 4.3 se puede observar este comportamiento, y al compararla con la figura 4.2 se observa que en los periodos de menor demanda es cuando se presenta el factor de potencia menor.



Frecuencia.

La frecuencia se encuentra dentro de márgenes bastante aceptables, presentando un valor máximo de 60.14 Hz y un mínimo de 59.79 Hz, y según el reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica se debe mantener entre 60.48 y 59.52 Hz; es importante hacer notar que en los mismos momentos en que se registraron las disminuciones de tensión, se registran disminuciones de frecuencia, lo cual puede ser asociado a que como estas variaciones provienen de la red de suministro, la tensión disminuyó, por lo que la demanda aumentó, lo que al mismo tiempo provocó una disminución en la frecuencia.

IIB Tablero TG1, interruptor 3x1200 A, 1-2/08/2007

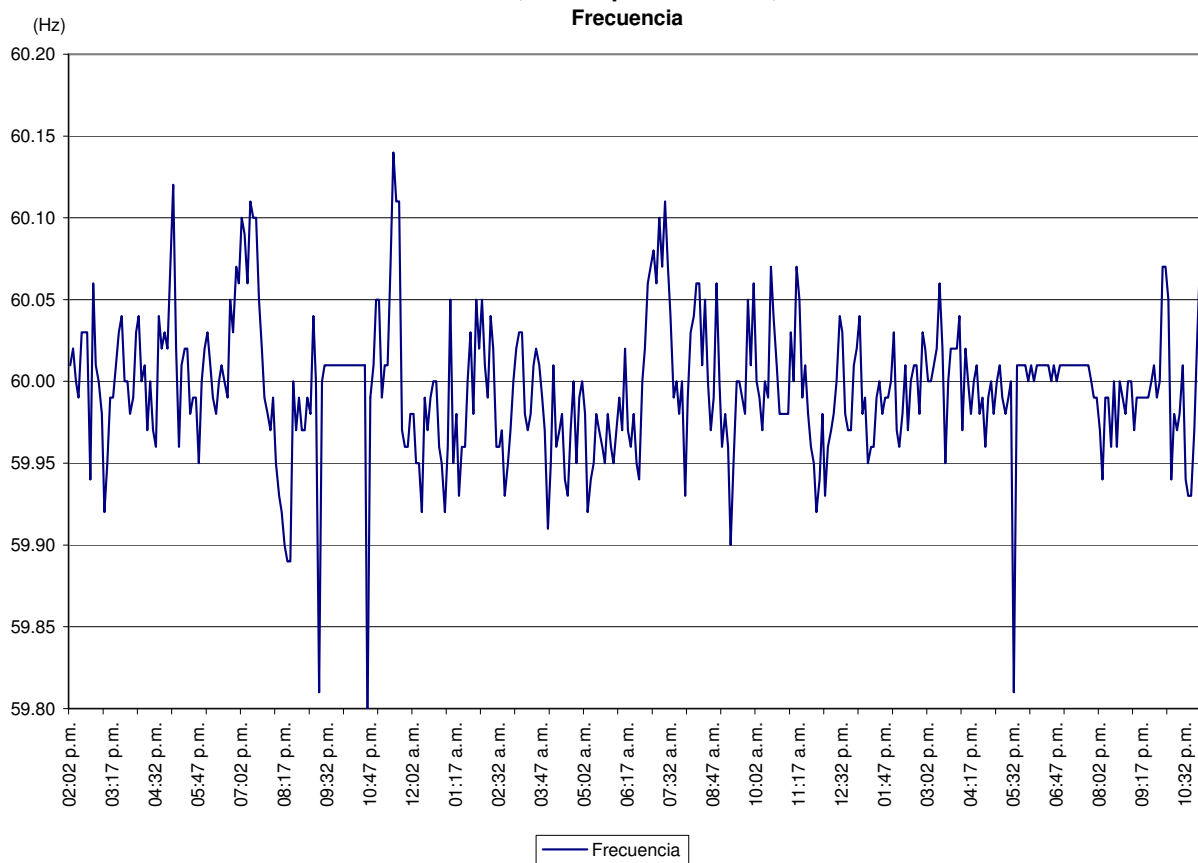


Fig. 4.4 Variación en la frecuencia presentada en TG-1 del 1 al 2 de agosto.



Distorsión armónica total en corriente.

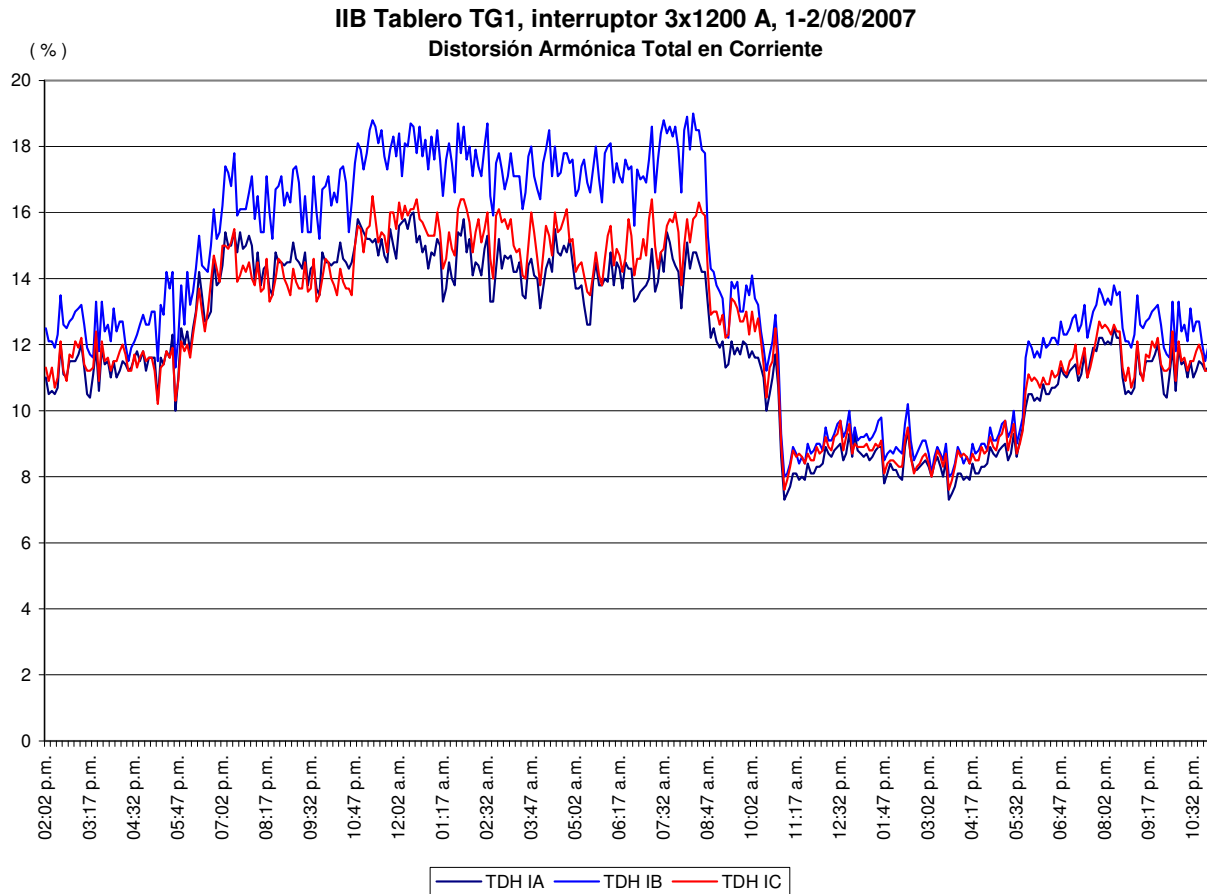


Fig. 4.5 Distorsión armónica total en corriente.

Para determinar en que rango se encuentra la DATC se calculó la corriente de corto de circuito por el método de bus infinito, obteniendo los siguientes valores:

$$I_{cc} = I_{sec} \left(\frac{100}{z\%} \right)$$

$$I_{sec} = \frac{KVA}{\sqrt{3}KV}$$

Sustituyendo valores :

$$I_{sec} = \frac{750}{\sqrt{3}(0.44)} = 984.12A$$

$$I_{cc} = 984.12A \left(\frac{100}{5.75} \right) = 17,115.13$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{17115.13}{300.53} = 56.95$$



A diferencia de la tensión, corriente y frecuencia, la distorsión armónica total en corriente presenta valores bastante elevados, alcanzando valores hasta de 18%, valor que se encuentra por arriba del límite establecido por CFE L0000-45²⁸, que como se puede apreciar en el apéndice E, para $50 \leq I_{cc}/I_L \leq 100$ es de 12%. Se trata de un valor muy alto y que presenta un comportamiento inverso al de la demanda de corriente, esto es, se eleva en los momentos en que la corriente disminuye, porque al disminuir la componente fundamental y mantenerse conectadas cargas no lineales como computadoras, servidores, y en general elementos de electrónica y rectificación, se incrementa el valor de las componentes armónicas. La fase con mayor contenido armónico es la B, con valores superiores en casi 2% a los presentados en las fases A y C.

TG-2.

Para el monitoreo realizado en TG-2, el equipo de medición fue conectado después del interruptor Masterpact, tanto las donas para medir la corriente, como los caimanes para medir la tensión.

Tensión.

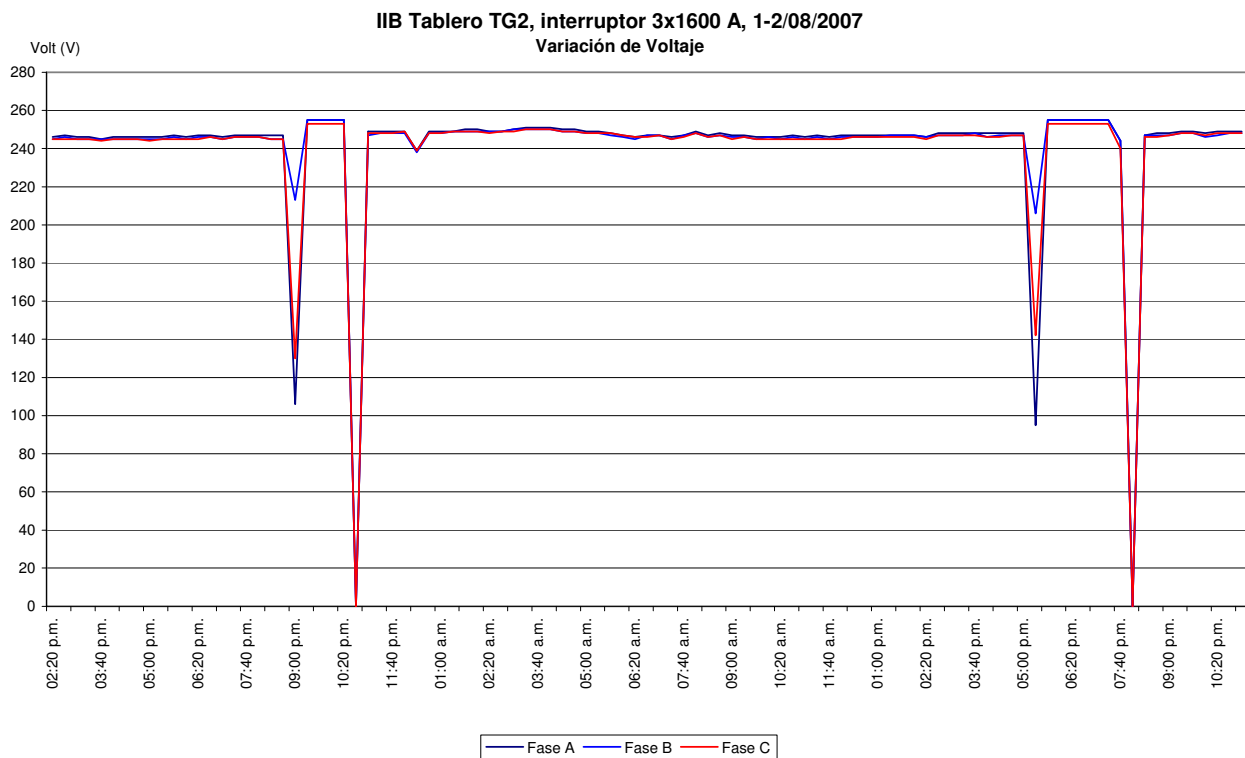


Fig. 4.6 Variación en la tensión presentada en TG-2 del 1 al 2 de agosto.

²⁸ CFE L0000-45 Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica.



Para este monitoreo se presentaron cuatro disturbios de consideración, dos bajos voltajes y dos interrupciones. Sucediendo los bajos voltajes a las 9:00 p.m. y a las 5:20 p.m. de los días 1 y 2, representando un 41.7 y 37.4% del valor de tensión nominal respectivamente, mientras que las interrupciones sucedieron a las 10:40 p.m. y a las 8:00 p.m. en los mismos días que los bajos voltajes, con una duración promedio de 40 minutos. Comparando esta gráfica con la respectiva en corriente se puede aseverar que dos de los disturbios fueron provocados por la operación de la carga dentro de la instalación, ya que fueron acompañados por incrementos significativos en la demanda de corriente provocando que la tensión disminuyera. Mientras que los otros dos como se mencionó anteriormente provienen del suministro. Para el caso de las interrupciones, la demanda fue tan fuerte que provocó la operación del interruptor. Exceptuando estas condiciones, la tensión presenta un comportamiento estable, lo que se puede apreciar en el desbalance máximo de tensión que se presenta que es de 1.2% en la fase B, y un promedio de 0.2%.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores: máximo, mínimo y promedio de tensión que se presentaron durante el periodo de monitoreo.

	TENSIÓN (V).		
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	255.00	255.00	253.00
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	240.29	241.74	239.87

Tabla 4.3 Valores máximos, mínimos y promedios de la tensión en TG-2.



Corriente.

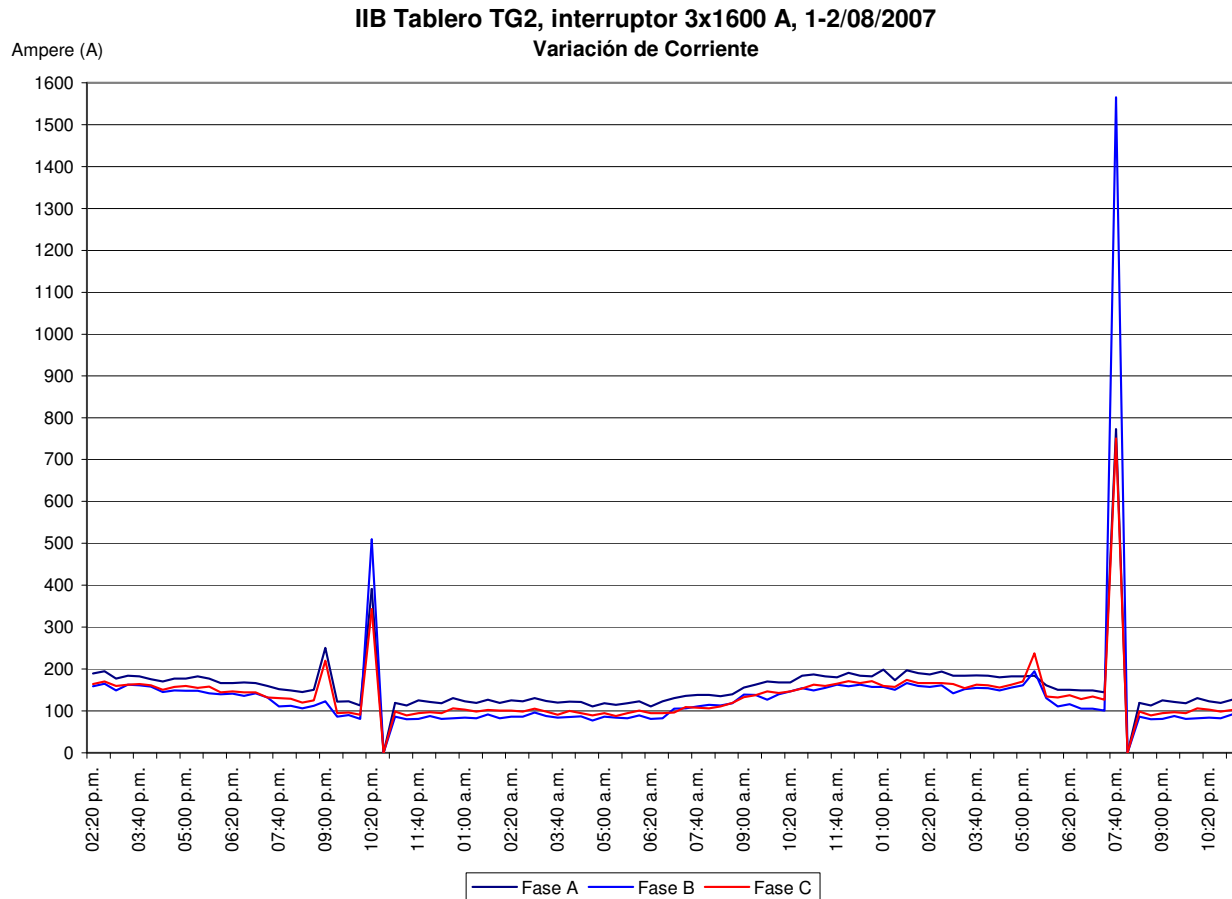


Fig. 4.7 Variación en la corriente presentada en TG-2 del 1 al 2 de agosto.

Se puede apreciar un incremento normal de la demanda en los horarios laborales, a partir de las 10:00 a.m. y que disminuye a partir de las 7:00 p.m. Las dos demandas súbitas que provocaron los bajos voltajes y las interrupciones aparecen en el mismo momento que estos. Las interrupciones fueron causadas porque las demandas presentaron valores muy elevados y por un periodo de tiempo prolongado que provocaron el disparo del interruptor principal, en el cual se debe revisar el ajuste de disparo, ya que aunque el interruptor es de 1600 A y operó a 1565, este valor debe disminuir, porque la corriente nominal del transformador del lado del secundario es de 1312 A. Esto provocó que se interrumpiera el suministro hasta que el mismo fue restablecido manualmente. Lo anterior fue provocado por la operación en conjunto de diversos motores, ya que son estas cargas las que demandan de cinco a siete veces su corriente nominal durante el arranque. En corriente se encuentra un desbalance mayor, siendo de 12%. Es de suma importancia solucionar el



problema de la operación del interruptor, ya que este se presenta en condiciones normales de operación y provoca que la instalación quede sin tensión.

CORRIENTE (A).			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	773.00	1565.00	750.00
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	157.85	135.37	135.73

Tabla 4.3 Valores máximos, mínimos y promedios de la corriente en TG-2.

Factor de potencia.

En este tablero no existe el problema de tener un fp bajo, ya que como se puede observar, el fp total es de .93, que se encuentra por arriba de 0.9, y aunque el de la fase C no lo esté el que es considerado por las compañías suministradoras para el cobro de cargos es el total. Como es de esperarse en los momentos de las interrupciones el fp, cae súbitamente hasta cero lo cual se aprecia en la figura 4.8.

IIB Tablero TG2, interruptor 3x1600 A, 1-2/08/2007
Factor de Potencia

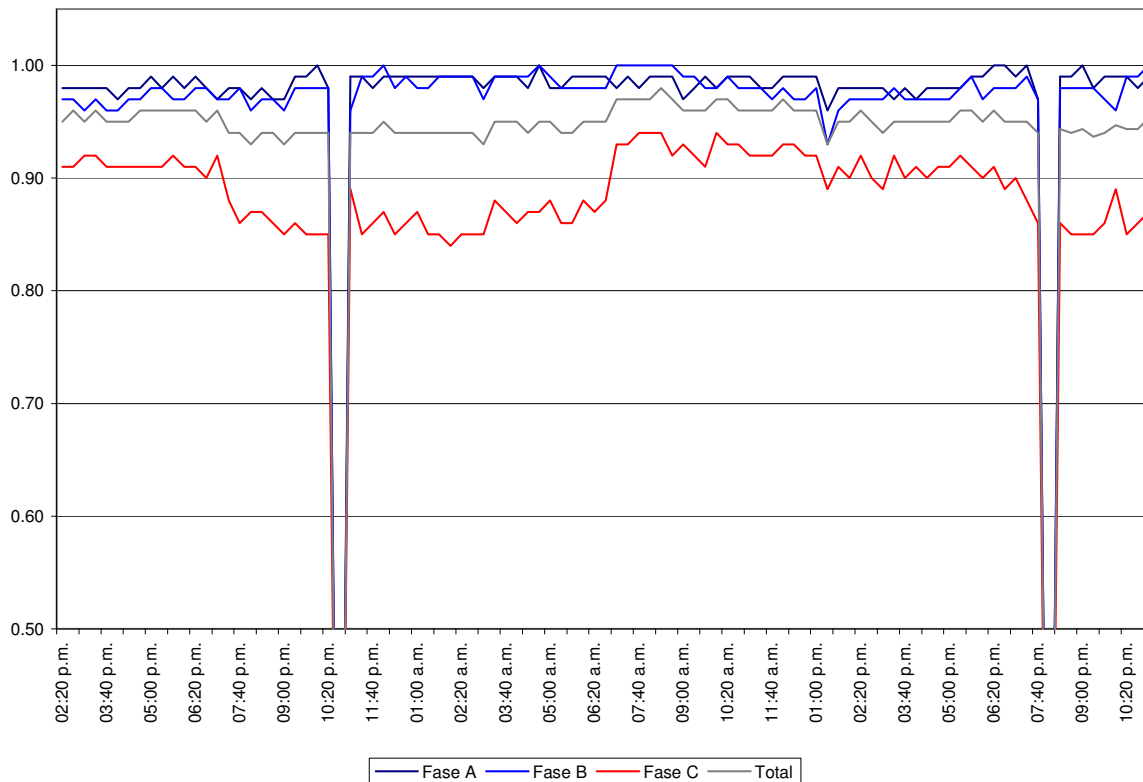


Fig. 4.8 Variación en el factor de potencia presentado en TG-2 del 1 al 2 de agosto.



Frecuencia.

Para TG-2 la frecuencia sobrepasa los límites establecidos por el reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica, solo en los momentos en que se presentan las dos interrupciones, y del mismo modo ésta se va a cero hasta que se restablece el interruptor. Presentando valores máximos y mínimos de 60.1 y 59.9 respectivamente, en los momentos en que no se presentan las interrupciones. (ver figura 4.9).

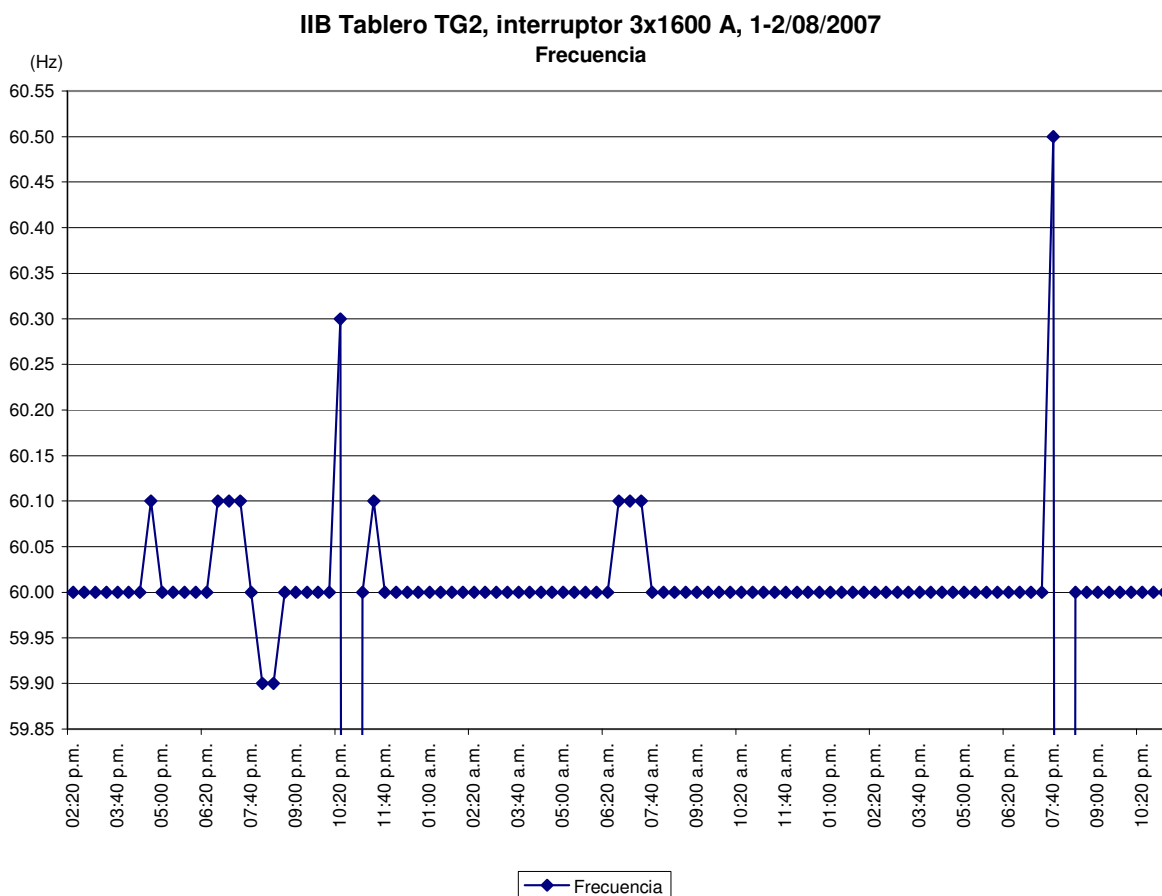


Fig. 4.9 Variación en la frecuencia presentada en TG-2 del 1 al 2 de agosto.

Los puntos más altos de la frecuencia (60.3 y 60.5 Hz) se presentan en los momentos de operación de la planta de emergencia.



Distorsión armónica total en tensión (DATT).

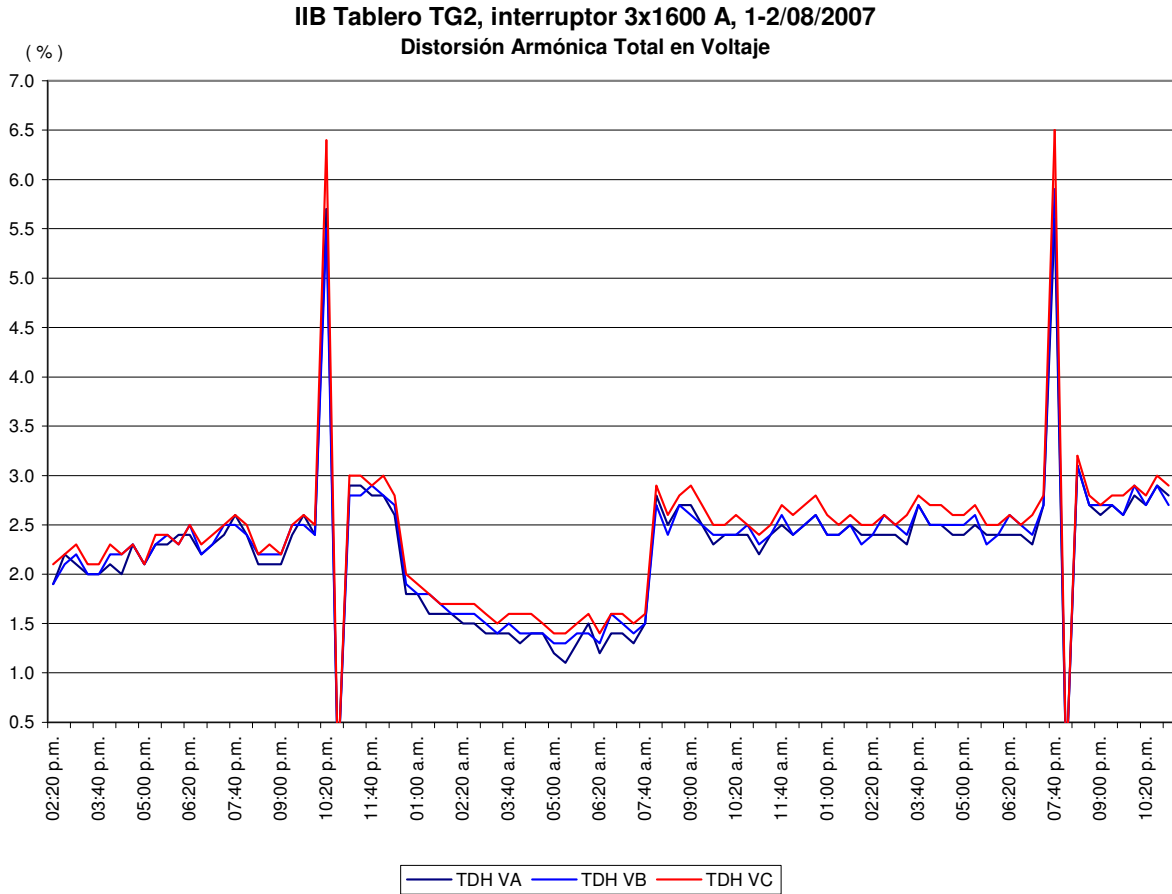


Fig. 4.10 Distorsión armónica total en tensión en TG-2.

En este caso la distorsión armónica en corriente presentó valores inferiores a los límites sugeridos, mientras que la DATT presenta valores por encima del límite establecido por las recomendaciones el STDD IEEE 519-1992, que es de 5% para sistemas con tensiones menores a 69 kV, aunque solo se presentan en los momentos de las dos interrupciones. Se aprecia que la distorsión presenta un comportamiento similar al de la demanda, esto es, en los momentos en que aumenta la demanda de corriente, que es en horarios laborales, la distorsión también aumenta, lo que debe ser provocado por la operación de equipamiento electrónico en el instituto.



Para determinar en que rango se encuentra la DATC se calculó la corriente de corto de circuito por el método de bus infinito, obteniendo los siguientes valores:

$$I_{cc} = I_{sec} \left(\frac{100}{z\%} \right)$$

$$I_{sec} = \frac{KVA}{\sqrt{3}KV}$$

Sustituyendo valores :

$$I_{sec} = \frac{1000}{\sqrt{3}(0.44)} = 1312.16A$$

$$I_{cc} = 1312.16 \left(\frac{100}{5.75} \right) = 22,820.17$$

$$I_{cc}/I_L = 22820.17 / 1029.3 = 22.16$$

Por lo que se cae en el mismo rango de TR-1, donde el límite máximo permitido para la DATC es de 8.0% , y se presentaron valores máximos de 6.0%



TR-3.

Para el monitoreo realizado en TR-3, el equipo de medición fue conectado en el bus de baja tensión del transformador, tanto las donas para medir la corriente, como los caimanes para medir la tensión.

Tensión.

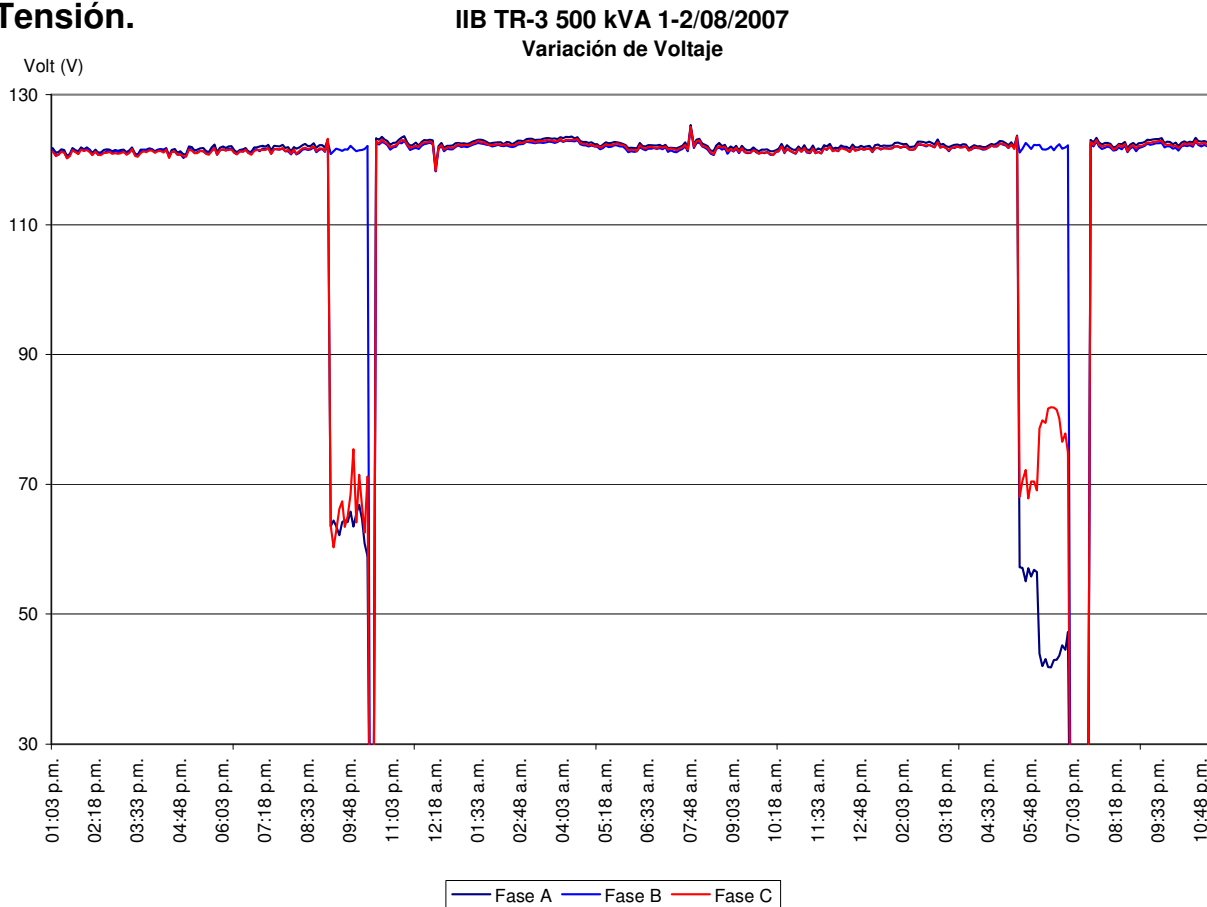


Fig. 4.11 Variación en la tensión presentada en TR-3 del 1 al 2 de agosto.

En TR-3 se observan dos bajos voltajes en las fases A y C, y que terminan por convertirse en interrupciones. El primer bajo voltaje se presentó el día 1 a partir de las 9:18 p.m. y hasta las 10:13 p.m. presentando una tensión promedio de 60 V, y el segundo se presentó el día 2 de las 5:43 a las 6:58. p.m. con tensiones alrededor de 77 V. Como se mencionó, después de los bajos voltajes se presentaron interrupciones, teniendo una duración de veinte minutos la del día 1, y de una hora la del día 2. Se puede concluir que esta falla provino del sistema de suministro, ya que no se vio acompañada de incrementos en la demanda de corriente, y se presentó en los tres transformadores.



Es importante hacer notar que al estar conectados en anillo los tres transformadores del instituto, las interrupciones debieron haber sido presentadas en todos, pero no fue así debido a que en TG-1 y TG-2 la planta de emergencia se encuentra antes de los tableros, por lo que al detectar la condición de falla, operaron los interruptores de transferencia y las plantas tomaron la carga, mientras que en TR-3 la planta se encuentra respaldando solamente al UPS-SV, por lo que sí fue registrada la falla y los equipos sintieron las consecuencias de la misma. Se presenta un desbalance de tensión promedio de 3.3%, el cual, a pesar de ser alto, no excede los límites máximos permitidos, aunque en los momentos de los bajos voltajes se presenta un desbalance de hasta el 50%.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores: máximo, mínimo y promedio de tensión que se presentaron durante el periodo de monitoreo.

	TENSIÓN (V).		
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	125.34	124.88	125.02
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	113.90	118.74	114.86

Tabla 4.4 Valores máximos, mínimos y promedios de la tensión en TR-3.

Corriente.

La corriente, de igual forma que en TG-1 y TG-2 presenta un comportamiento característico de los centros de trabajo, aumentando durante el día y disminuyendo a partir de las 7:00 p.m., permaneciendo en los valores mínimos los fines de semana. Como se mencionó, no se presentan demandas repentinas que pudiesen haber provocado las bajas tensiones y las interrupciones, por el contrario presenta un comportamiento muy similar a la tensión, es bajo esta consideración que se determina que los disturbios se presentaron en el lado de la fuente. Se presentó un desbalance promedio de 13.1%, y los datos: máximo, mínimo y promedio se presentan en la siguiente tabla.

	CORRIENTE (A).		
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	125.34	124.88	125.02
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00
PROMEDIO	113.53	118.42	114.51

Tabla 4.5 Valores máximos, mínimos y promedios de la corriente en TR-3.

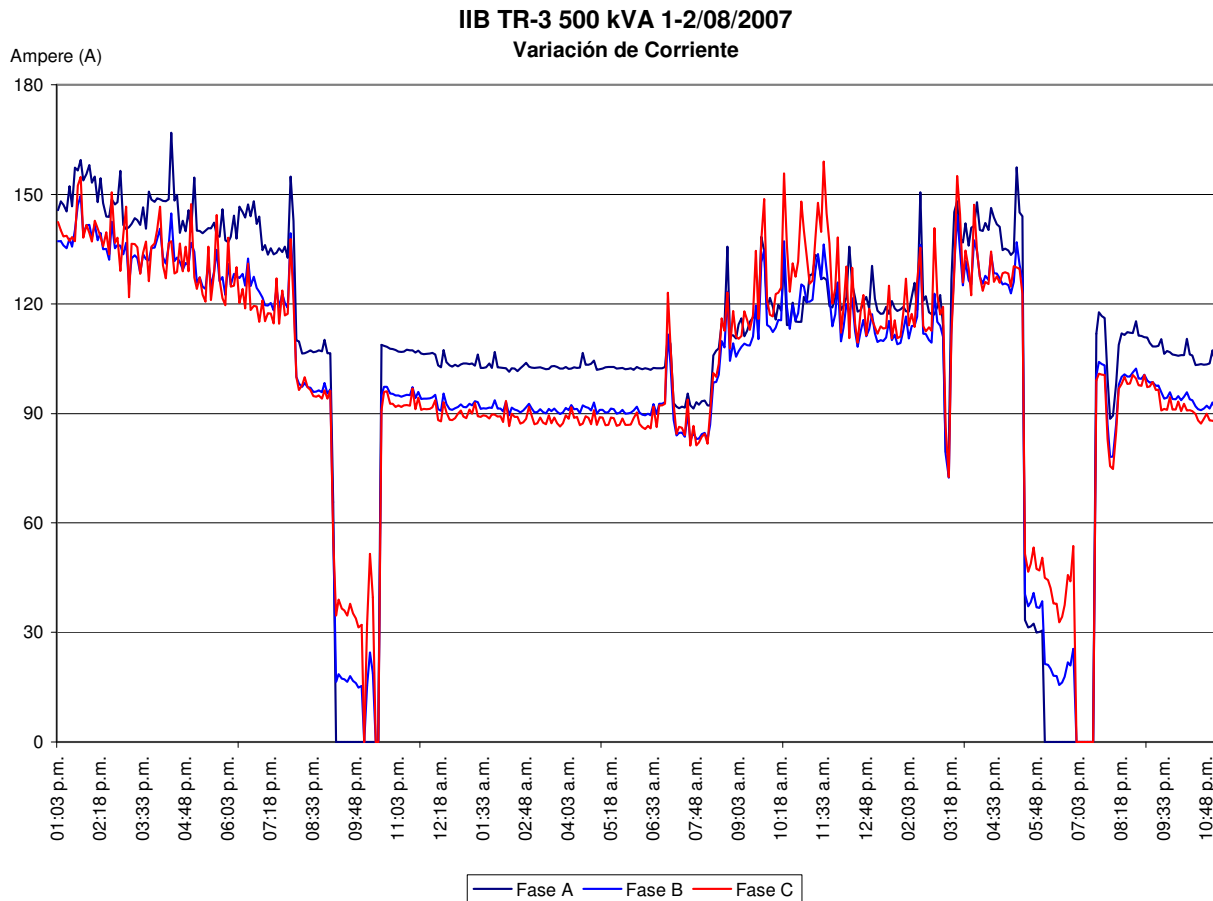


Fig. 4.12 Variación en la corriente presentada en TR-3 del 1 al 2 de agosto.

En la gráfica se puede observar que las corrientes disminuyen de igual forma que las tensiones, por lo que se concluye que la falla provino del suministro y no de ña operación de la carga conectada.



Factor de potencia (fp).

El factor de potencia es bastante bajo, presenta un valor promedio de 0.8, lo cual tiene consecuencias en el cargo por bajo fp. De igual forma que en los casos anteriores, el fp sigue a la demanda de corriente, cuando esta aumenta el factor también lo hace, por lo que los valores mínimos se presentan en los periodos de inactividad en el instituto.

El comportamiento del factor de potencia se puede apreciar en la figura 4.13.

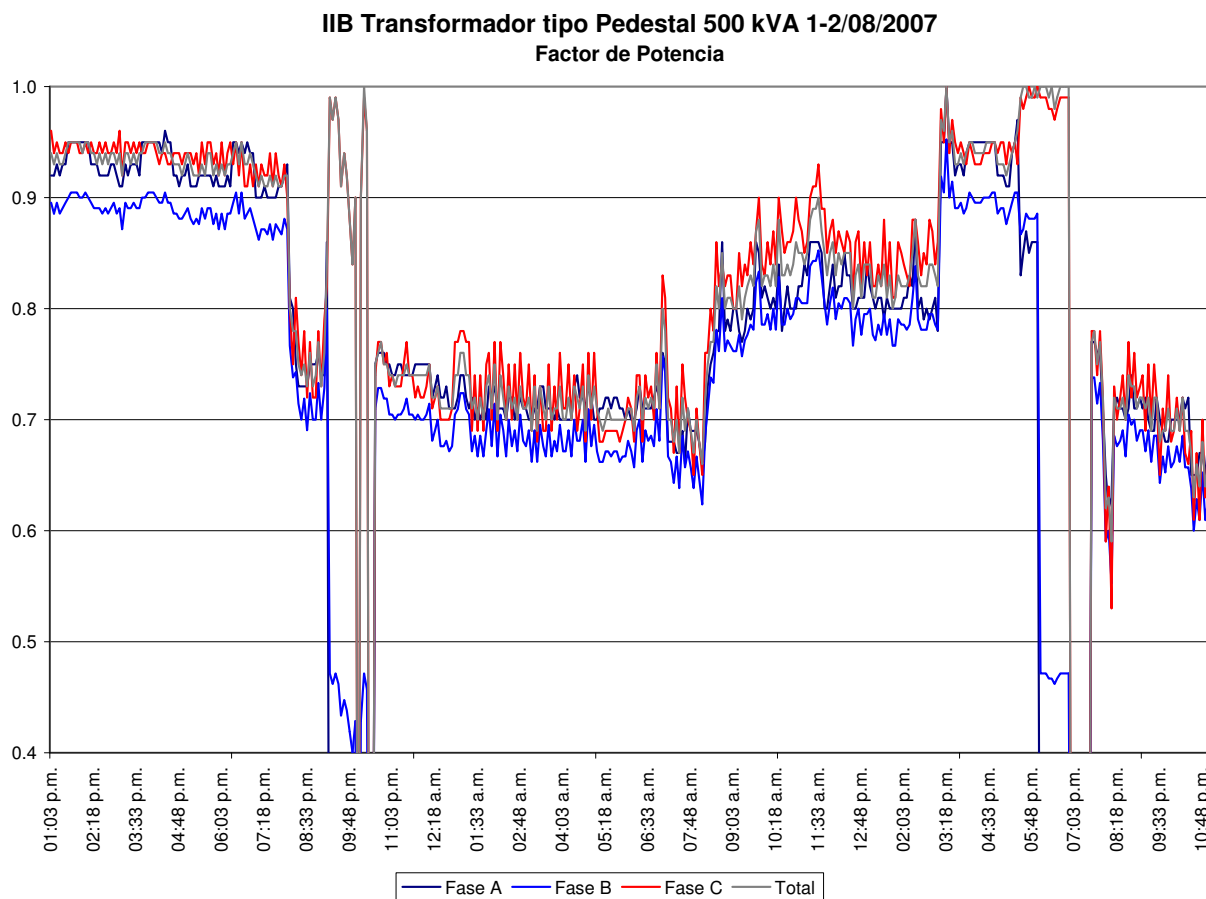


Fig. 4.13 Variación en el factor de potencia presentado en TR-3 del 1 al 2 de agosto.



Análisis de disturbios de corta duración.

Debido a que los principales disturbios generados dentro de la instalación, se presentaron en el tablero TG-2, se realizó un segundo monitoreo en dicho tablero del 16 al 21 de agosto, con el equipo analizador de calidad de energía marca AEMC modelo 3945, pero en esta ocasión se programó dicho equipo para que registrara los disturbios de corta duración y de esta manera poder observar más claramente el comportamiento de las señales en la instalación.

En el periodo de muestreo se registraron ochenta disturbios, de los cuales se muestra la distribución en la siguiente tabla:

Disturbio	No.	Duración (ms)
Transitorios	31	1
Oscilatorio	6	4
Sag	8	50
Desbalance	5	32
Distorsión armónica en tensión	27	50
Interrupción	3	16.65
Total	80	

Tabla 4.5 Distribución de los disturbios presentados en TG-2 del 16 al 21 de agosto.

Como se mencionó en el primer capítulo los disturbios más frecuentes son las depresiones de corta duración (sags), los cuales generalmente provienen del suministro por condiciones de falla en las líneas, corto circuitos o descargas atmosféricas, principalmente.

A continuación se muestran los gráficos más representativos para cada uno de los tipos de disturbios presentados.



Transitorios.

En las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 se muestra la presencia de transitorios en la señal de tensión, así como sus correspondientes señales de corriente.

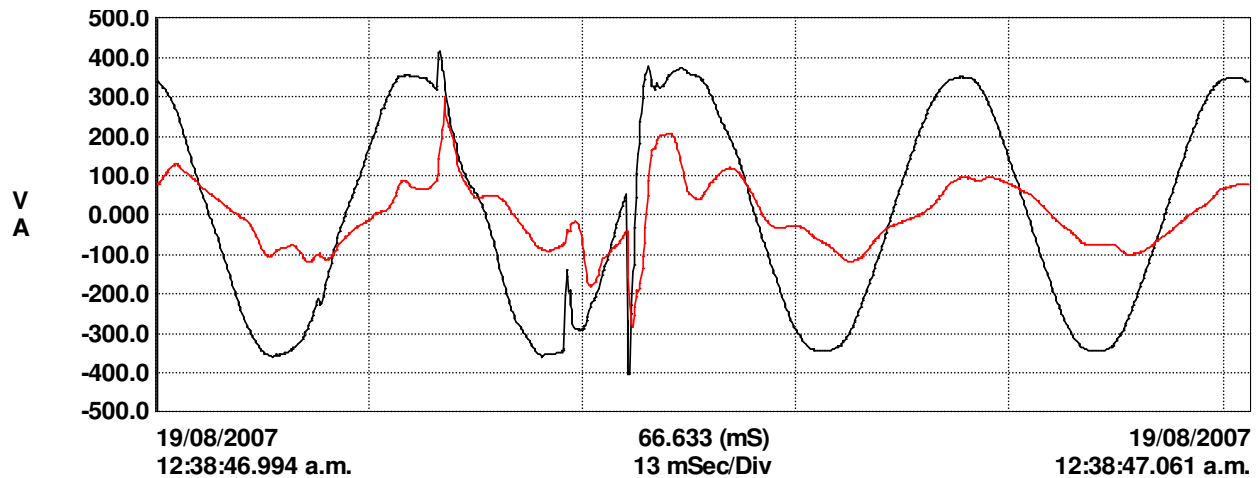


Fig. 4.14 Tension y corriente en fase A del transitorio presentado el día 19 de septiembre a las 12:38 a.m.

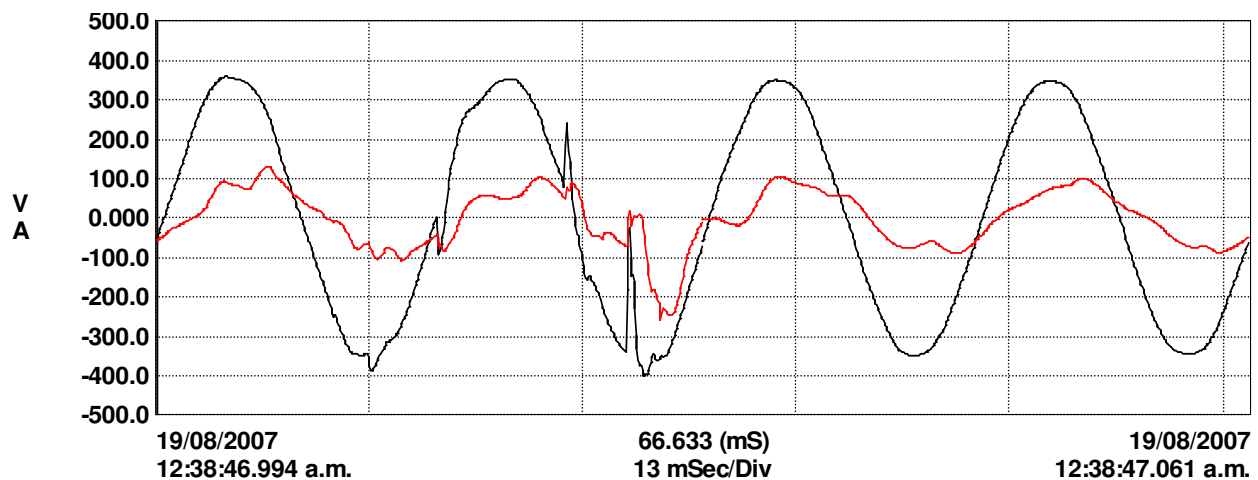


Fig. 4.15 Tension y corriente en fase B del transitorio presentado el día 19 de septiembre a las 12:38 a.m.

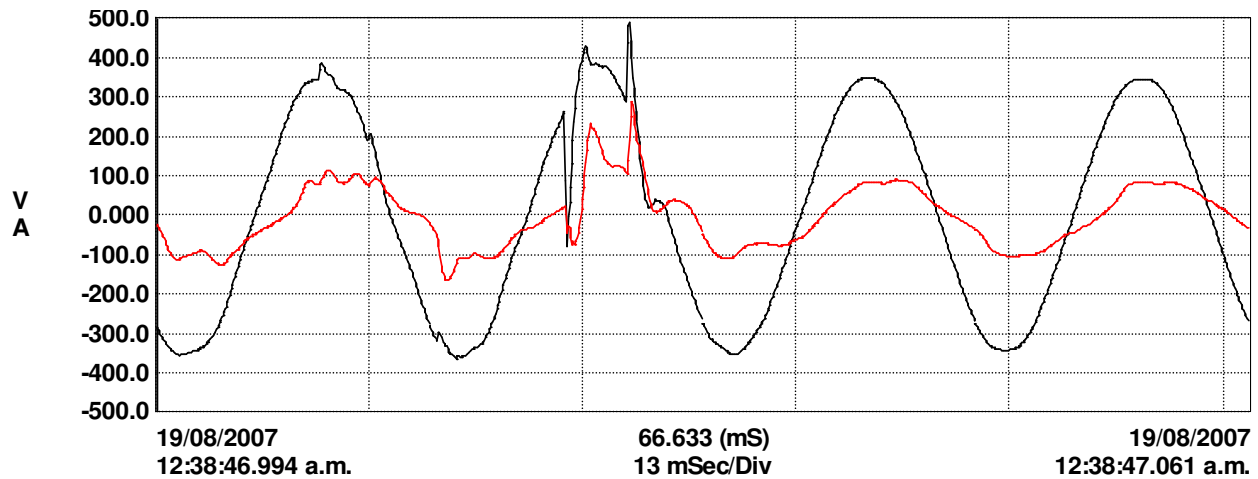


Fig. 4.16 Tension y corriente en fase C del transitorio presentado el día 19 de septiembre a las 12:38 a.m.

Se puede apreciar que los transitorios presentan polaridad opuesta a la forma de onda. Haciendo una comparación con la tensión, durante el disturbio, se puede observar que en los instantes en que se presentan los transitorios la corriente, presenta la misma variación en polaridad que la tensión, por lo que se concluye que los disturbios provienen del lado del suministro.

En las figuras 4.17 y 4.18 se muestra el contenido armónico en las señales de tensión y de corriente respectivamente, presentados durante el disturbio.

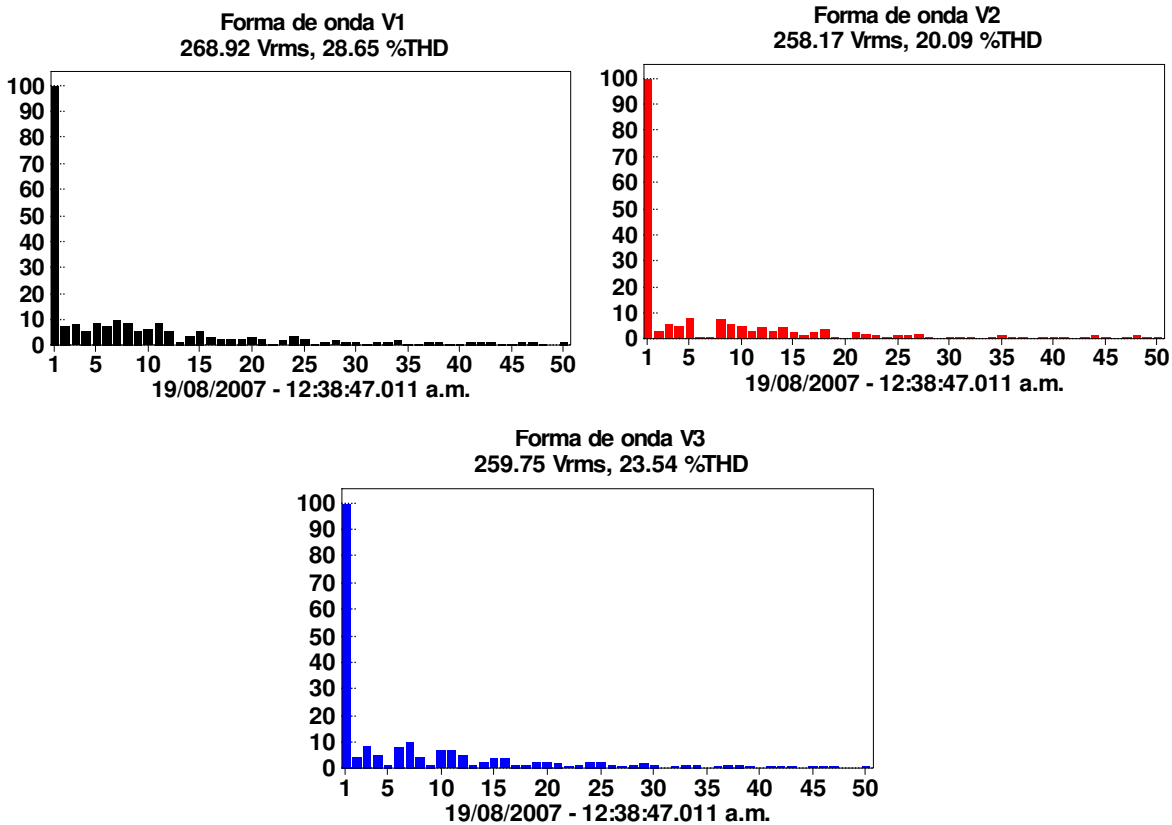


Fig. 4.17 Contenido armónico en las señales de tensión.

Las señales cuentan con un contenido armónico elevado; como se puede apreciar en el apéndice E, el límite recomendado por CFE para tensiones menores a 1 kV es de 8%, y en las tres ondas se presentan valores muy superiores, del orden del 20%, aunque cabe mencionar que estos límites son para estado estacionario y no aplican para fenómenos transitorios. La corriente de igual forma presenta distorsión por arriba del límite recomendado, que es de 12%, ya que se encuentra en el rango de $50 < ICC/IL < 100$ como se demostró anteriormente, y presenta valores del orden de 50%, aunque es normal que esto ocurra, pues los valores se están tomando justo en los momentos en que se presentan los disturbios y es en estos cuando la presencia de armónicas aumenta considerablemente. El tener presencia de armónicas de orden par, indica que existe presencia de corriente directa en el sistema, es consecuencia de la asimetría del transitorio.

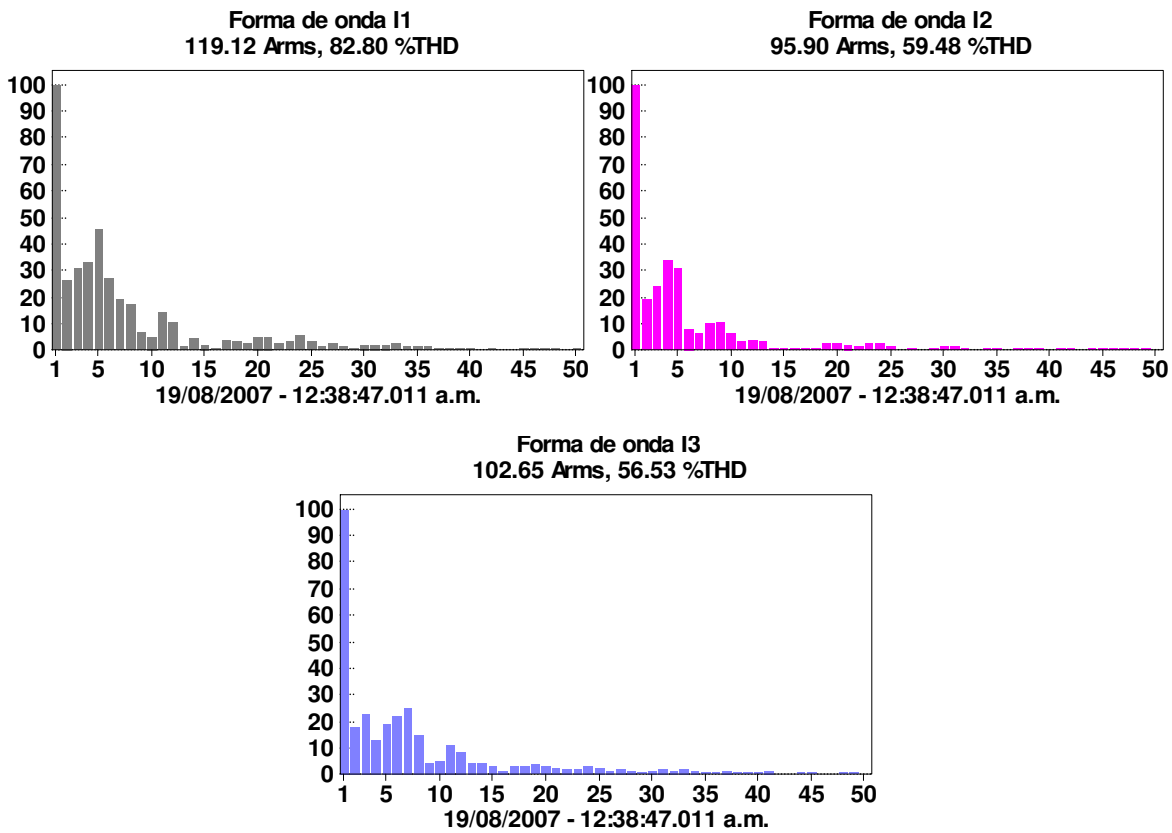


Fig. 4.18 Contenido armónico en las señales de corriente.

Sag y oscilatorio.

El siguiente oscilatorio se presentó después de un sag, en el momento en que el sistema intenta retomar carga.

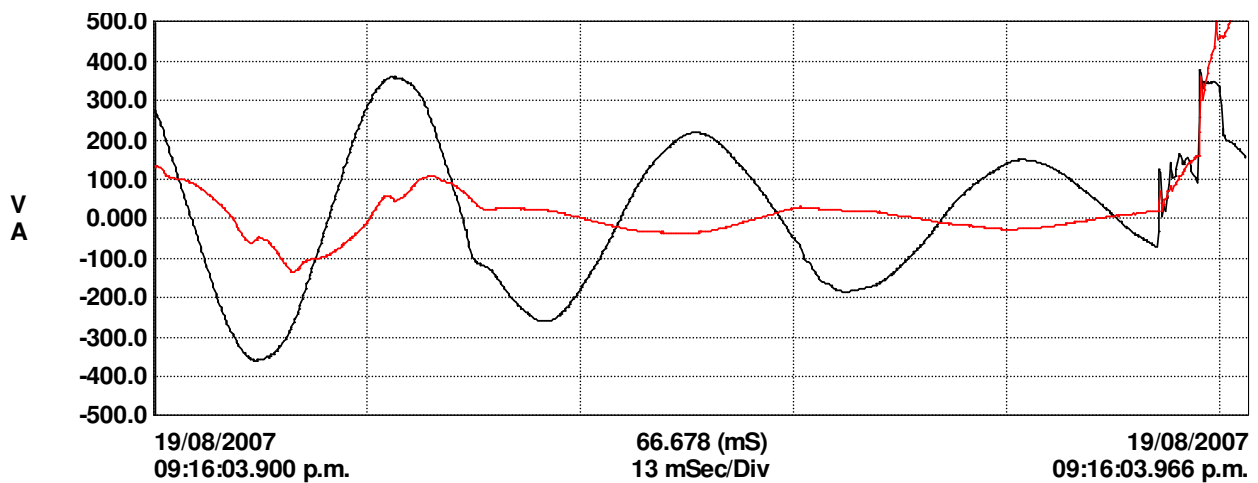


Fig. 4.19 Tension y corriente en fase A durante el sag presentado el día 19 de septiembre a las 09:16 p.m.

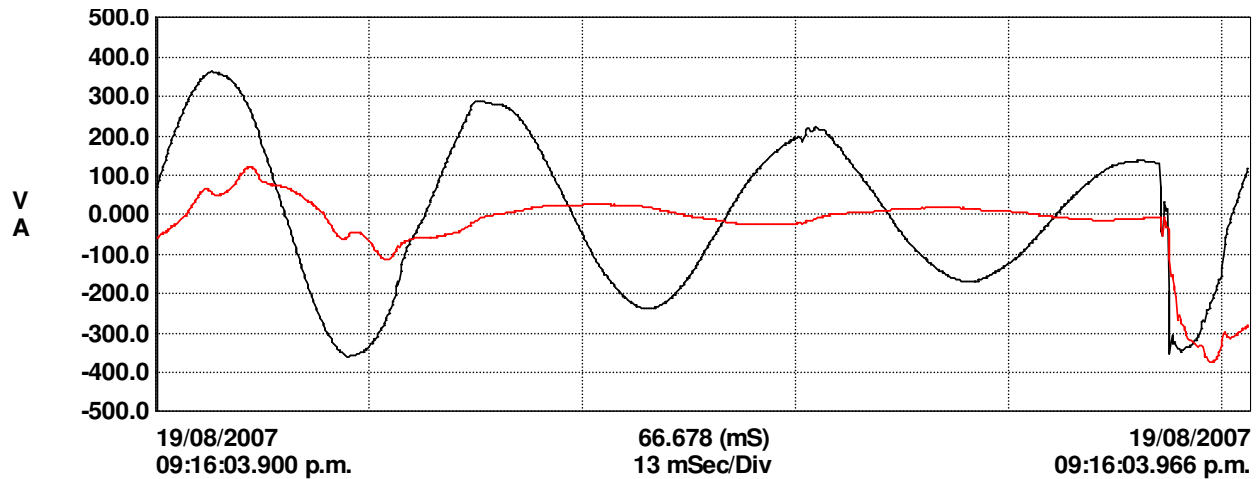


Fig. 4.20 Tension y corriente en fase B durante el sag presentado el día 19 de septiembre a las 09:16 p.m.

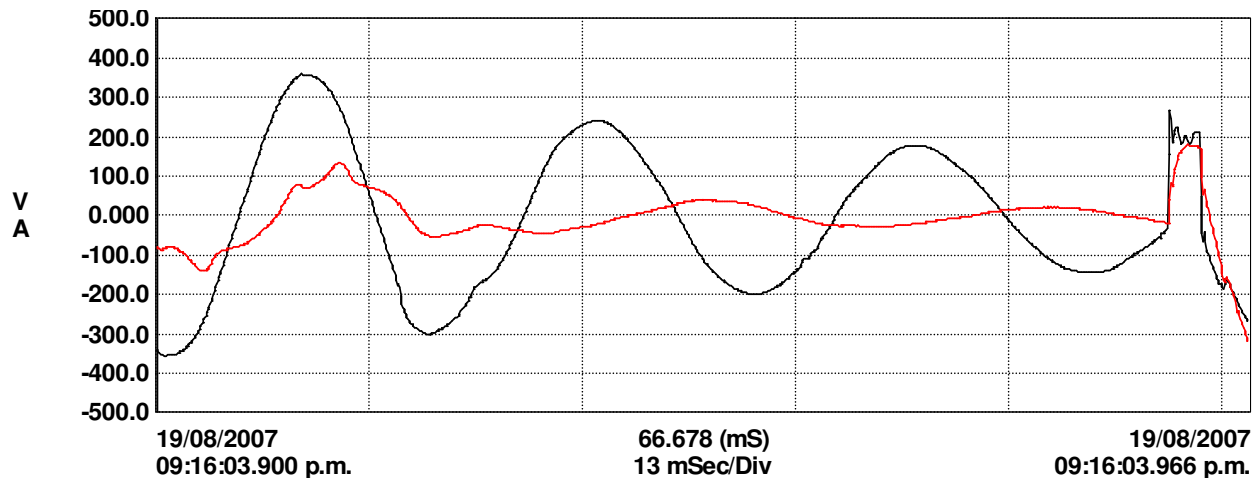


Fig. 4.21 Tension y corriente en fase C durante el sag presentado el día 19 de septiembre a las 09:16 p.m.

Al analizar las gráficas se puede concluir que los disturbios fueron provocados en el lado del suministro, ya que se muestra un comportamiento mixto en la tensión y el sistema reacciona a esos cambios. Como se vió en el primer capítulo, generalmente los sags son provocados por demandas súbitas de corriente, al igual que los oscilatorios.

Para estos disturbios se presentan valores muy altos de armónicas, tanto en tensión como en corriente, que incluso llegan a superar el 200%. También es importante resaltar que la segunda armónica presenta valores superiores a los de la fundamental. Lo anterior se muestra en las figuras 4.22 y 4.23.

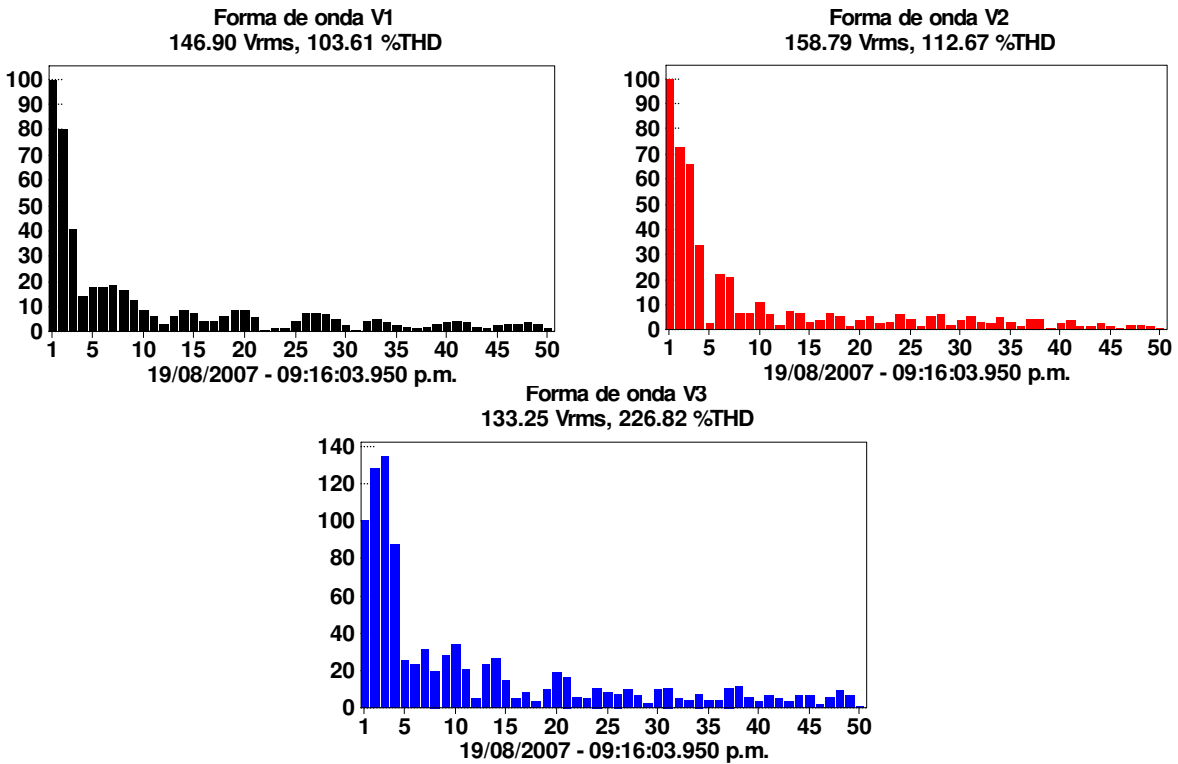


Fig. 4.22 Contenido armónico en las señales de tensión.

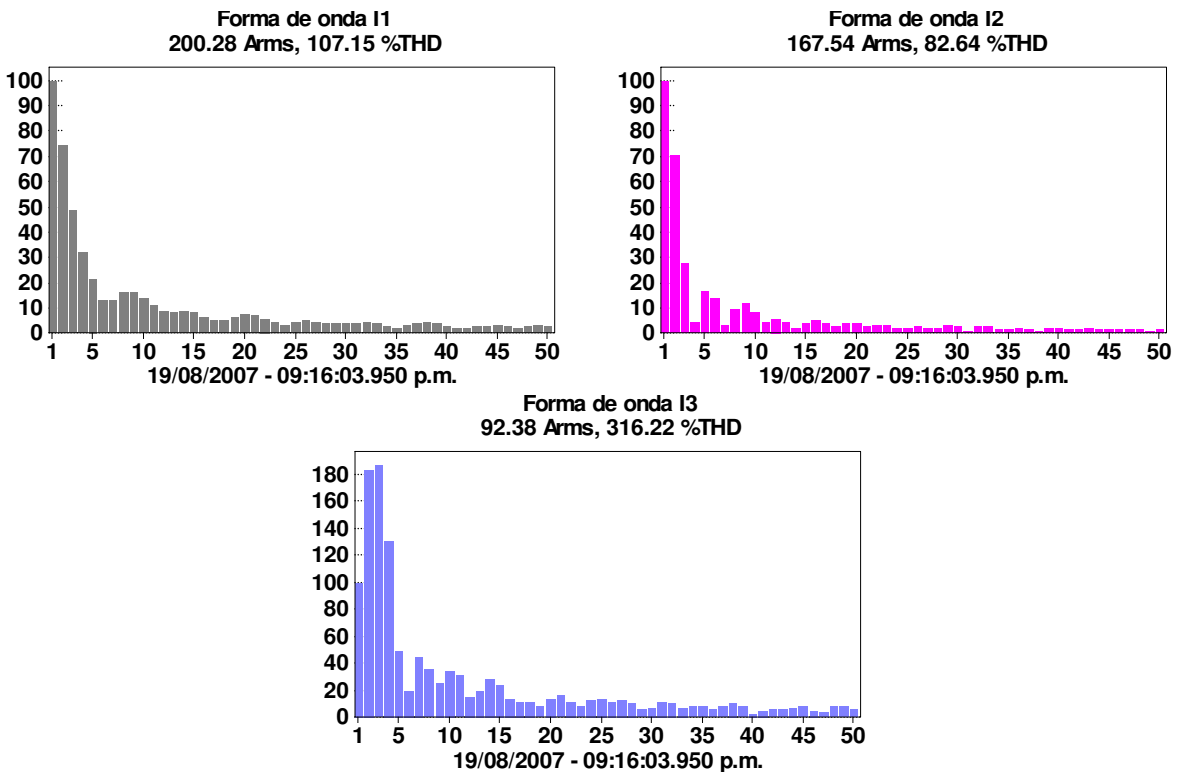


Fig. 4.23 Contenido armónico en las señales de corriente.



Interrupción y oscilatorio.

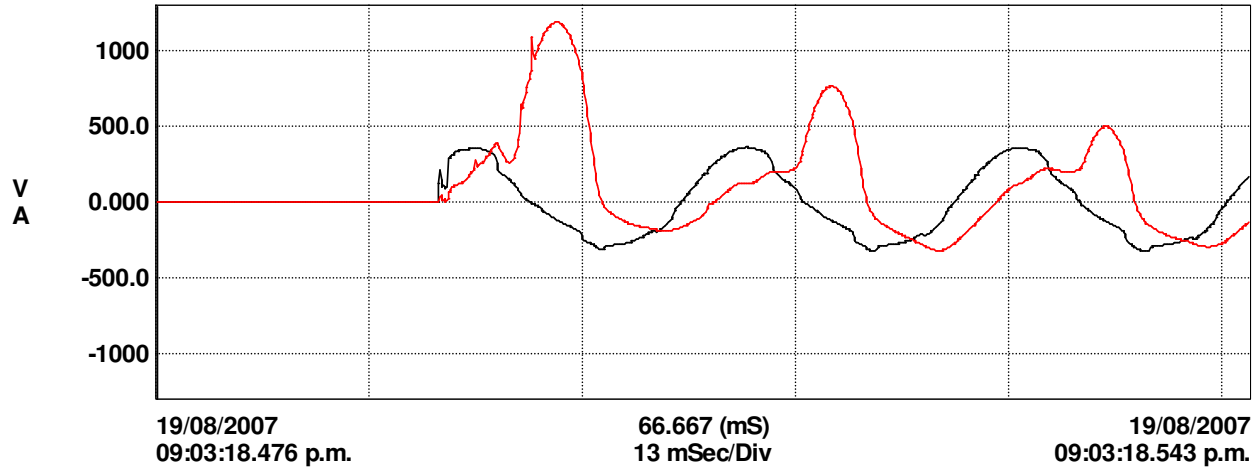


Fig. 4.24 Tensión y corriente en fase A durante la interrupción presentada el día 19 de septiembre a las 09:03 p.m.

Como se muestra en la figura 4.24 se presentó una interrupción corta y en el momento en que el sistema intenta retomar la carga se presenta el oscilatorio, esto se debe a la gran demanda de corriente, lo que provoca que la señal de tensión se mantenga muy deformada.

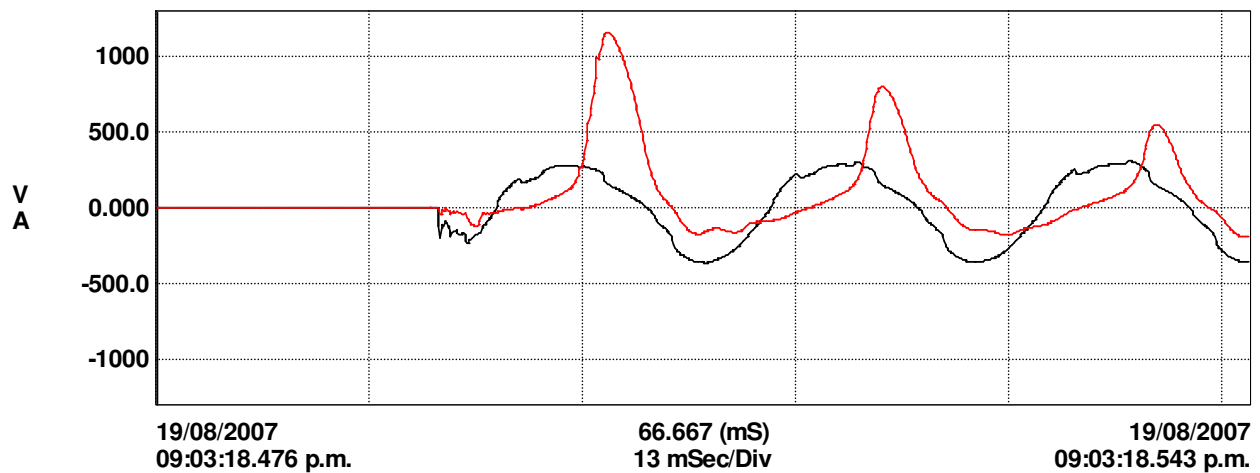


Fig. 4.25 Tensión y corriente en fase B durante la interrupción presentada el día 19 de septiembre a las 09:03 p.m.



En el momento que se presentó el oscilatorio, la corriente comienza a crecer de manera sostenida, y después de 5 ms se incrementa hasta alcanzar valores de 940 A (ver figuras 4.24, 4.25 y 4.26).

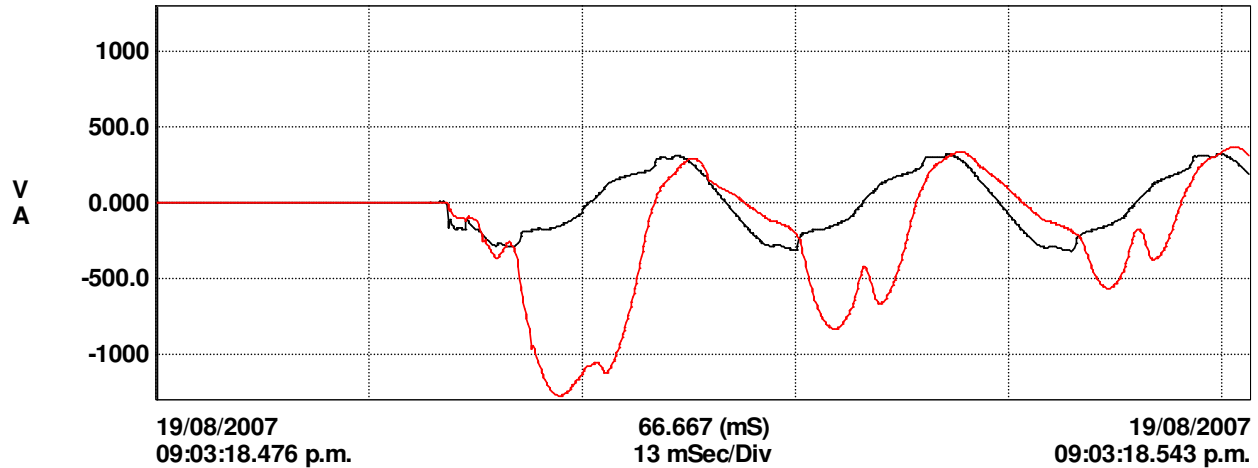


Fig. 4.26 Tension y corriente en fase C durante la interrupción presentada el día 19 de septiembre a las 09:03 p.m.

El oscilatorio lo provocó la operación de alguna carga grande, como el arranque de un motor. Existe la posibilidad de que el motor se haya encontrado trabajando cuando ocurrió la interrupción, por lo que en el momento que se reanuda el suministro inmediatamente se eleva la demanda de corriente. Es importante destacar que estas interrupciones generalmente no son detectadas por el usuario, pues son del orden de milisegundos, pero si son capaces de detener la operación de cargas especialmente sensibles a las variaciones de tensión.

Como se mencionó, es normal que se excedan los límites de distorsión armónica recomendados, pues se están tomando los valores justo en los momentos que se presentan los disturbios, pero es necesario que se protejan a los elementos más sensibles conectados al sistema, para que no presenten alteraciones por la presencia de niveles tan elevados de distorsión (ver figuras 4.27 y 4.28).

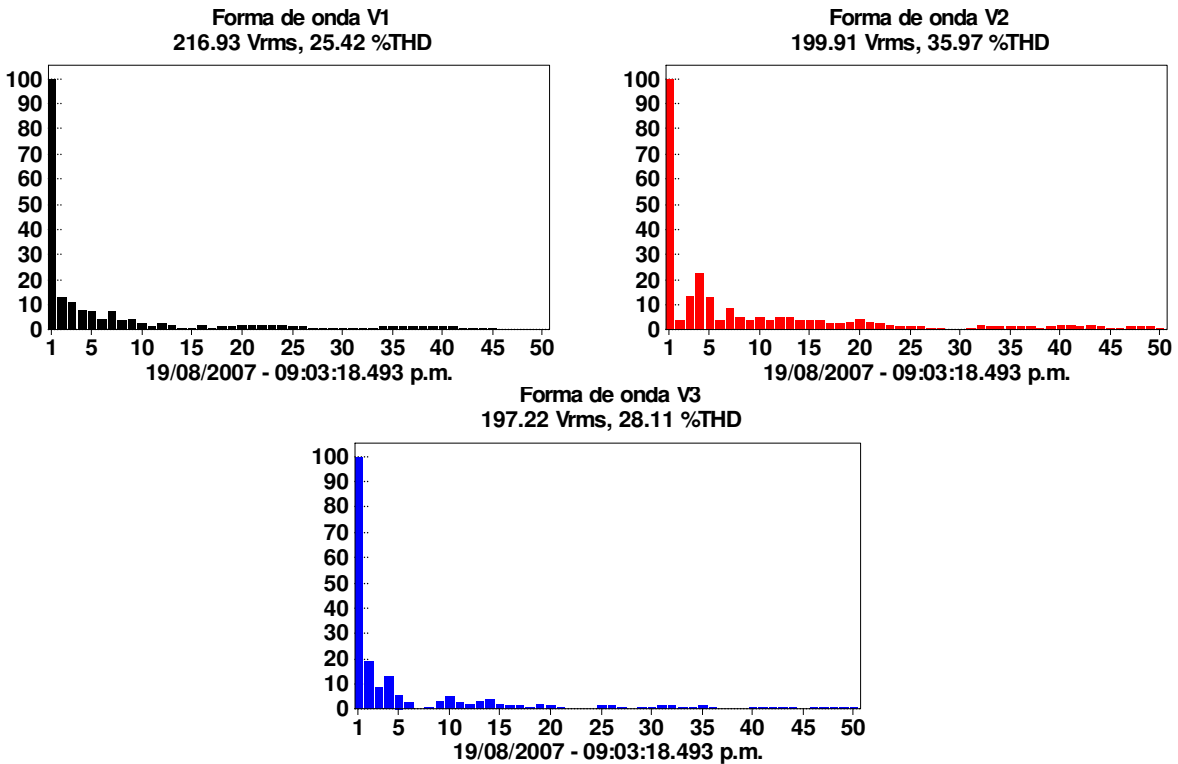


Fig. 4.27 Contenido armónico en las señales de tensión durante el disturbio.

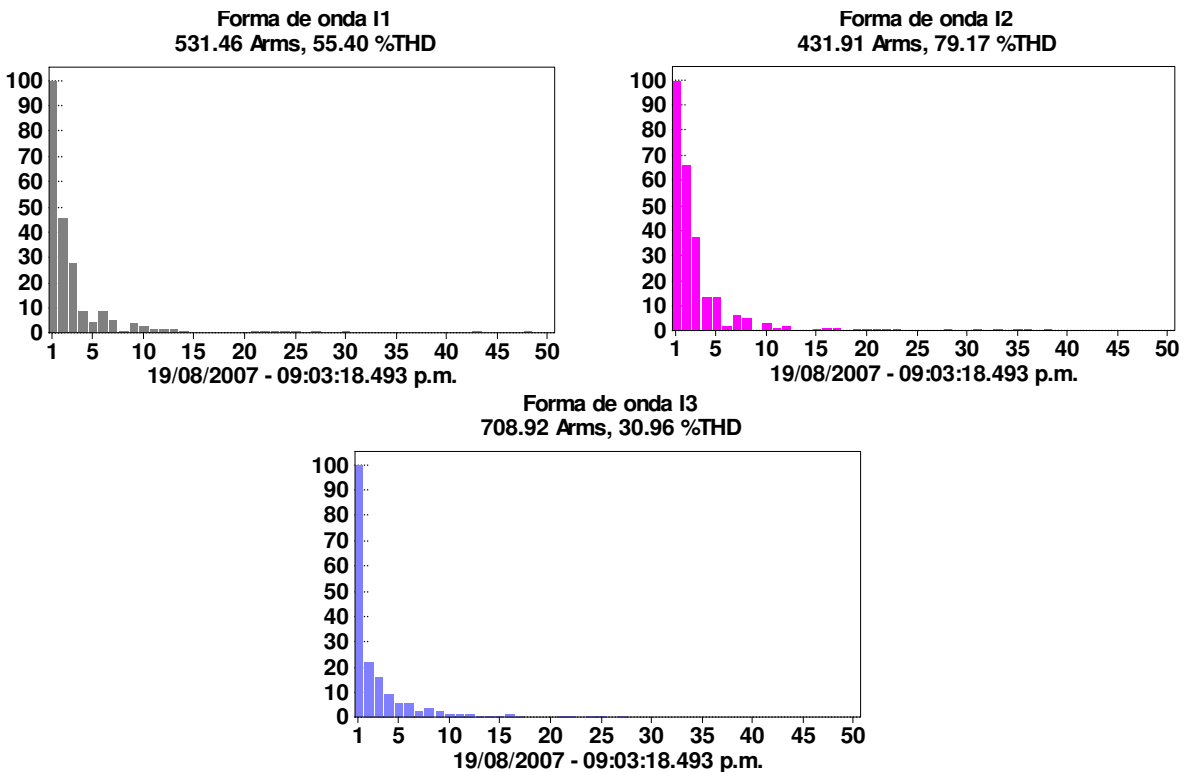


Fig. 4.28 Contenido armónico en las señales de corriente durante el disturbio.



Propuestas de solución.

Como se mencionó en el primer capítulo existen diversos equipos que permiten disminuir la presencia de disturbios en la red, siendo los más efectivos, por el número de disturbios que mitigan los transformadores ferresonantes y los UPS's, aunque al mismo tiempo son los más costosos y que obviamente solo protegen a las cargas que se encuentran conectadas a ellos.

Para solucionar o mitigar los disturbios que se presentan en la instalación del instituto es necesaria la instalación de diversos equipos, principalmente bancos de capacitores para corrección de fp, filtros de armónicas para limpiar las líneas o para mejorar la calidad de las señales de tensión y corriente dentro del sistema, supresores de picos para eliminar las sobretensiones, acondicionadores de línea y reguladores para mantener las tensiones dentro de los valores recomendados por norma.

A continuación se presentan las características de los equipos que son necesarios instalar dentro del instituto para mitigar la presencia de los disturbios.

Filtros.

Los filtros son elementos eléctricos lineales que discriminan el paso de una determinada frecuencia o gama de frecuencias, dependiendo de las características del filtro y su capacidad. Solucionan problemas de corrientes armónicas, al drenar la corriente armónica de la frecuencia en la que se encuentre sintonizado. Pero la colocación de los filtros se debe realizar con cuidado, ya que estos están muy limitados por la cantidad de corriente que son capaces de filtrar.

Regulador de Línea.

Son equipos eléctricos que controlan la salida de tensión mediante dispositivos electrónicos, brindando una salida con menor variación. Éstos tienen la capacidad de solucionar los problemas de sags, swells, transitorios y de aislar las cargas de otras fuentes.

Banco de capacitores para la corrección del fp.

Es un sistema basado en la interconexión de cargas capacitivas que compensa la demanda de energía reactiva de las cargas inductivas, consiguiendo con ello que el factor de potencia se acerque a la unidad. Este tipo de sistemas es comúnmente utilizado en sistemas de baja tensión con demandas de energía reactiva relativamente pequeñas.



Propuestas.

Con el análisis realizado a los diferentes disturbios presentados durante los monitoreos es notorio que los disturbios con mayor presencia son las muescas, la distorsión armónica y los oscilatorios, aunque los que presentan mayores afectaciones son las interrupciones, dentro de los cuales encontramos como principales causas el arranque de motores de gran capacidad, la operación de equipos electrónicos, y la conmutación entre fases, presente principalmente en equipos que funcionan con corriente directa, como las UPS's y las computadoras.

A continuación se enlistan las propuestas de solución para los diferentes disturbios que se presentan en la instalación, proporcionándolos en orden creciente en cuanto al costo de la inversión.

La primer medida a llevar a cabo es realizar un ajuste en la programación de arranque de la carga motriz conectada al tablero TG-2. Estos motores cuentan con arrancadores, pero ninguno de ellos estaba programado por lo que el motor arrancaba a tensión plena, lo que provocaba la operación del interruptor principal (Masterpact) del tablero general TG-2. Aunque las interrupciones únicamente se presentaron en el tablero TG-2 durante el periodo del monitoreo, es conveniente que se realice la revisión de la programación de los arrancadores en toda la carga motriz del instituto, así como el ajuste de disparo del interruptor de TG-2, ya que como se vio, se debe cuidar la operación de éste, porque la corriente máxima del secundario del transformador es de 1312 A.

Otro aspecto importante que debe ser corregido, es la presencia de armónicos en la señales de tensión y corriente. Para mitigar los efectos de estos disturbios se propone la instalación de filtros de armónicos. Los filtros deben ser instalados en:

- TR-1: CCM-1 y después del UPS de 50 kVA.
- TR-2: CCM-2 y después del UPS de 75 kVA.
- TR-3: Tablero TDAA y después del UPS de 67 kVA

La propuesta anterior va a permitir mejorar la calidad de las señales de tensión y corriente presentes en el sistema, evitando así la propagación de estos disturbios a los demás equipos consumidores de energía instalados en el instituto, al mismo tiempo mejoraran el factor de potencia de las cargas conectadas a los sitios donde se instalen estos filtros. En la tabla 4.7 se muestran algunos precios de filtros.



Potencia	Tensión	Frecuencia nominal	Precio
kVAr	V	Hz	pesos
20	220	60	\$7,488.00
25	220	60	\$9,088.00
30	220	60	\$10,000.00
35	220	60	\$10,688.00
40	220	60	\$12,000.00
40	400-440	60	\$11,344.00
60	400-440	60	\$13,856.00
80	400-440	60	\$16,720.00
100	400-440	60	\$20,640.00

Tabla 4.7 Precios de filtros de armónicas, fuente rtr energía.

Para el caso de el IIB se necesitan un filtro de 30 kVAr a instalarse en el tablero TDAA de TR-3, tres filtros de 60 kVAr a instalarse en en el CCM-1 y el UPS de TR-1 y en el CCM-2 de TR-2, y finalmente dos de 80 kVAr para las UPS's de TR-2 y TR-3. Lo anterior implica una inversión de ochenta y cinco mil pesos, los cuales son necesarios para proteger a las cargas sensibles conectadas a la instalación, y evitar que estas puedan sufrir daños por el incremento de corrientes parásitas que incluso pueden dañar los aislamientos de los transformadores, e incrementar pérdidas por efecto Joule.

También es de suma importancia la instalación de bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia, en los tres transformadores, ya que como se mostró en el presente capítulo, este se encuentra muy por debajo del límite establecido por CFE para el cobro de cargos. La determinación de instalar el banco de capacitores debe ser tomada únicamente después de instalar los filtros de armónicas, ya que estos también contribuyen a mejorar el factor de potencia, además de que los bancos de capacitores generalmente amplifican las armónicas agravando el problema, por lo que es de suma importancia que antes de tomar esta medida se instalen los filtros, y si con esto se corrige el factor de potencia, no será necesaria la implementación de los bancos.

Como última acción a llevar a cabo por ser la más costosa en su implementación se sugiere el uso de reguladores de tensión en los tableros destinados a receptáculos y alumbrado, es necesario proteger estos tableros, ya que los equipos conectados a ellos, como pueden ser refrigeradores trabajen a su tensión nominal, lo que alargará considerablemente su vida útil. A continuación se muestran algunos precios de dichos equipos.



Potencia kVAr	Precio pesos
5	\$13,385.00
10	\$25,640.00
15	\$38,330.00
20	\$51,185.00
25	\$63,750.00
50	\$125,920.00

Tabla 4.8 Precios de reguladores de tensión, fuente industronic.

En este caso, se requieren de tres reguladores de 50 kVAr, por lo que la inversión sería de \$377,760 que como se mencionó es bastante elevada, y es para proteger únicamente a los equipos que no se encuentran conectados a las UPS, ya que estos últimos cumplen con la función de regular la tensión.

Los precios indicados en esta sección fueron obtenidos para el mes de abril de 2010, a la fecha pueden haber variado.



CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo del presente trabajo se presentaron los problemas que se propician por la presencia de disturbios eléctricos en la red, que son ocasionados por diversas fuentes de cargas no lineales, por variaciones en la red y la reacción del sistema y también se dio a conocer la normatividad que existe en México, que limita la fabricación de equipos, o la utilización de los mismos para que no se generen disturbios.

La instalación eléctrica a pesar de ser de reciente construcción presenta serias complicaciones, las cuales fueron detalladas durante este trabajo, y se demostró que estas condiciones derivan en la presencia de disturbios eléctricos, los cuales llegan a verse reflejados en los tableros generales, como se midió con los monitoreos eléctricos.

Con base en lo anterior se puede puntualizar lo siguiente:

Es de vital importancia que se realicen los ajustes necesarios en los arrancadores de los motores, principalmente los alimentados del tablero TG-2, para evitar que el arranque de los mismos provoque la operación del interruptor principal, como se ha venido presentando. Como se mencionó en el último capítulo es de vital importancia que el interruptor no se ajuste por arriba de los 1312 A que es la corriente de salida de TR-2.

Las principales fuentes de disturbios son las que funcionan de forma no lineal, como son las cargas de cómputo, por lo que toda zona que tenga una gran concentración de las mismas es una fuente de corrientes armónicas, principalmente y se deben de tomar medidas que puedan mitigar o aislar estas corrientes, que como se mencionó es la instalación de filtros de armónicas, para que no afecten otros equipos.

Al respecto es necesario puntualizar que esta acción debe ser llevada a cabo a la brevedad, ya que se sabe que las armónicas causan diversos problemas que regularmente ocasionan que la vida útil de los equipos se reduzca, principalmente debido a que las corrientes armónicas circulantes ocasionan un calentamiento excesivo en los equipos, lo que repercute en un incremento en las pérdidas eléctricas, adicionalmente, los voltajes armónicos impuestos en los equipos hacen que el aislamiento sea esforzado más de lo normal.

De igual forma es muy importante que se corrija el factor de potencia, pues se encuentra en valores inferiores al límite establecido por CFE para el cobro de cargos.



Listado de normas emitidas relacionadas con los disturbios eléctricos.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005

Especificación CFE L0000-45 Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica.

IEEE Std. 1159-1995 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

IEEE Std. 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

IEEE Std. 1100-1999 Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.

Normas ANCE.

Clasificación	Pertenece	Título
NMX-J-550/14-2-ANCE-2008	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 14-2: Requisitos Para Aparatos Electrodomésticos, Herramientas Eléctricas Y Aparatos Similares - Requisitos De Inmunidad.
NMX-J-550/2-2-ANCE-2005	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 2-2: Entorno - Niveles De Compatibilidad Para Las Perturbaciones Conducidas De Baja Frecuencia Y La Transmisión De Señales En Los Sistemas De Suministro Público De Baja Tensión.
NMX-J-550/3-11-ANCE-2005	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-11: Límites - Limitación De Las Variaciones De Tensión, Fluctuaciones De Tensión Y Parpadeo En Sistemas Públicos De Alimentación De Baja Tensión - Equipos Con Corriente Nominal = 75 A Y Sujetos A Conexión Condicional.
NMX-J-550/3-3-ANCE-2005	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-3: Límites - Limitación Para Los Cambios De Tensión, Las Fluctuaciones De Tensión Y Parpadeo En Los Sistemas Públicos De Suministro De Baja Tensión Para Equipos Con Corriente Nominal = Que 16 A Por Fase Y No Sometidos A Conexión Condicional.



NMX-J-550/3-4- ANCE-2005	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-4: Límites - Límites De Las Emisiones De Corrientes Armónicas En Los Sistemas De Suministro De Baja Tensión Para Equipos Con Corriente Nominal > 16 A Por Fase.
NMX-J-550/4- 13-ANCE-2006	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc)-Parte 4-13: Técnicas De Prueba Y Medición-Pruebas De Inmunidad A Armónicas E Ínter armónicas En Las Terminales De Alimentación, Incluyendo Los Puertos Para La Transmisión De Señales De Baja Frecuencia En Las Instalaciones Eléctricas De Baja Tensión.
NMX-J-550/4- 30-ANCE-2007	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-30: Técnicas De Prueba Y Medición - Métodos De Medición Y Estudio De Calidad De La Energía Eléctrica.
NMX-J-550/4-7- ANCE-2005	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-7: Técnicas De Prueba Y Medición - Guía General De Instrumentación Y Medición Para Armónicas E Ínter armónicas, En Sistemas De Suministro De Energía Eléctrica Y Equipo Conectado A Estos.
NMX-J-610/3-6- ANCE-2008	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-6: Evaluación De Límites De Distorsión Armónica Para La Conexión De Instalaciones Eléctricas A Sistemas Eléctricos De Potencia En Mt, At Y Eat

AEMC modelo 3945.

Características

- Mediciones de RMS verdadero mono-, di- y tri-fásicas a 256 muestras/ciclo, más CC
- Formas de onda en color en tiempo real
- Ajustes en pantalla fáciles de usar
- Reconocimiento del sensor de corriente y ajuste de escala automáticos
- Mediciones RMS verdaderas de voltaje y corriente
- Mide volts, ampa y potencia CC
- Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia hasta el orden 50^a, incluyendo dirección, en tiempo real
- Captura transientes hasta 1/256^a de ciclo
- Presentación de diagrama de fasores
- Voltaje y corriente de pico
- Frecuencia nominal de 40 a 70Hz
- VA, VAR y W por fase y totales
- kVAh, VARh y kWh por fase y totales
- Presentación de corriente neutra para tri-fásicas
- Factores de cresta para corriente y voltaje
- Presentación de factor K de transformador
- Presentación de Factor de Potencia, FP de desplazamiento
- Captura hasta 50 transientes
- Presentación de fluctuaciones de corta duración
- Desbalance de fases (corriente y voltaje)
- Distorsión Armónica (total e individual) de 1^a a 50^a
- Alarmas, golpes y caídas de voltaje
- Registra fecha y características de las perturbaciones
- Impresión inmediata directa a la impresora
- Función foto instantánea de la pantalla captura formas de onda u otra información en pantalla
- Puerta de comunicación RS-232 ópticamente aislada
- Incluye software DataView[®] para el almacenamiento de datos, muestra en tiempo real, el análisis y la generación de informe
- Cumple la categoría de seguridad 600V Cat. IV

Aplicaciones

- Verificación de circuitos de distribución de energía eléctrica
- Medición y registro de la calidad de los sistemas de potencia (kW, VA, VAR)
- Medición de energía (kVAh, VARh, kWh)
- Detección de fallas, en planta, de los paneles de distribución y maquinarias individuales
- Monitoreo de transformadores montados sobre base de concreto
- Determinación de problemas de armónicos originados en la fuente o en la carga
- Monitoreo de desbalances de fases
- Determinación de factor K de transformadores
- Y mucho, mucho más



Análisis de calidad de potencia sobre un panel de tres fases utilizando las sondas de corriente flexibles AmpFlex[®].



Mide el voltaje y la corriente de las tres fases simultáneamente.



Especificaciones

MODELO	3945-B		
ELECTRICAS			
Frecuencia de Muestreo	256 muestras por ciclo		
Almacenamiento de datos	4MB partidos para formas de onda, transientes, alarmas y registro		
Voltaje (TRMS)	Fase-a-Fase: 960V Fase-a-Neutro: 480V		
Corriente (TRMS)	Tenaza MN: 0 a 6A/120A o 0 a 240A Tenaza MR: 0 a 1200Aca, 0 a 1400Acc Tenaza SR: 0 a 1200A AmpFlex®: 0 a 6500A ¹		
MEDICION	RANGO	RESOLUCION	EXACTITUD
Voltajes RMS Mono-Fásicos	15 a 480V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Voltajes RMS Fase-a-Fase	15 a 960V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Componente de Voltaje CC	15 a 680V	0.1V	±1% ± 2cts
Voltajes de Pico Mono-Fásicos	15 a 680V	1V	±(1% + 5cts)
Voltajes de Pico Fase-a-Fase	15 a 1360V	1V	±(1% + 5cts)
Frecuencia (Hz)	40 a 69Hz	0.01Hz	±0.01Hz
Sensores de Corriente (Arms)			
Tenaza M	0 a 240A	0.1A	±(0.5% + 2cts)
Tenaza SR	0 a 1200A	0.1A; 1A ± 1000A	±(0.5% + 2cts)
Sensor AmpFlex®	10 a 6500A	0.1A; 1A ± 1000A	±(0.5% + 1A)
Potencia Activa (Real) (kW)	0 a 9999kW	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Potencia Reactiva (kVAR)	0 a 9999kVAR	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Potencia Aparente (kVA)	0 a 9999kVA	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Factor de Potencia (PF y DPF)	-1.000 a 1.000	0.001	±(1.5% + 0.01)
Energía Activa (kWh)	0 a 9999MWh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Energía Reactiva (kVARh)	0 a 9999MVARh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Energía Aparente (kVAh)	0 a 9999MVAh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Desbalance (V & A)	0 a 100%	0.1%	±1% ± 1ct
Angula de Fase (V-A, A-A, V-V)	-179° a +180°	1°	±2° ± 1ct
Armónicos (1 ^a to 50 ^a) F = 40 a 69Hz (V ≥ 50V, A > Inom/100)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Distorsión Armónica Total (V y A)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Factor-K (Ald)	1 a 99.99	0.01	±5% ± 1ct
Parpadeo (Pst)	0.00 a 9.99	0.01	-
Alimentación	Juego de baterías recargables NiMH de 9.6V Alimentación CA: 110/230Vca ±20% (50/60Hz)		
Vida de la Batería	≥8 hrs con pantalla encendida; ≤35 hrs con pantalla apagada (en modo registro)		
MECHANICAS			
Dimensiones	9.5 x 7 x 2" (240 x 180 x 55mm)		
Weight	4.6 lbs (2.1kg)		
PANTALLA			
Tipo de Pantalla	LCD de color 1/4 VGA (320 x 240)		
AMBIENTALES			
Temperatura de Operación	32° a 122°F (0° a 50°C)		
Temperatura de Almacenaje	-4° a +122°F (-20° a +50°C)		
SEGURIDAD			
Clasificación de Seguridad	EN 61010-1, 600V Cat. IV, Grado de Contaminación 2		
Doble Aislación	Si		
Marca CE	Si		

¹Factor de Cresta @ 6500 – 1. ²Cuando es utilizado con SR193 o las sondas AmpFlex®, 600V Cat. II MN193 o las sondas MR193



Circuitor Modelo AR5.

Características técnicas:

Medida de tensión:

Rango de medida: 20 a 866 V c.a. (entre fases).

20 a 500 V c.a. (fase-neutro)

Cambio de escala: automático.

Otras tensiones: A través de transformadores de tensión.

Frecuencia: 45 a 65 Hz.



Medida de intensidad:

Rango de medida: según pinza.

Relaciones de transformación de tensión e intensidad: programable.

Unidades de medida: Cambio de escala automático.

Medida de armónicos:

Desde el analizador:

- Hasta armónico 50.

Con el PC:

- Tipo fichero Harm. 30 -> hasta armónico 30
- Tipo fichero Harm. 50 -> hasta armónico 50

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS CARTUCHO PROGRAMA.

Montaje: Plástico antichoque.

Dimensiones: 64 x 19 x 40 mm.

Terminales: 1 Borne de entrada/salida.



Amprobe DM-PRO II.

MODEL DM-II Data Logger/Recorder



Specifications

Inputs:

Voltage: Three voltage channels with common (V1, V2, V3, and COM). The test leads are flexible straight sheathed banana plugs on each end, rated for 1000 Vrms and a length of 6 Ft. The alligator clips have a 1 in. jaw opening and are rated at 10 A max.

Current: Four channels (I1,I2,I3,I4)
DM-CT: 1 to 1000 A \pm 1% of reading
ACF-3000:
30 A to 300 A \pm 1% of full scale
300 A to 3000 A \pm 1% of full scale

Note: The ACF-3000 is an optional accessory. A total of three would be required for a 3 \emptyset measurement.

Ranges:

AC Voltage measurements (True RMS) 5 to 600 Vrms
AC Current measurements (True RMS) 1 to 1000 Arms with four supplied DM-CTs

Accuracy:

Voltage measurements \pm 1% of reading + 3 LSDs
Current measurements \pm 1% of reading + 3 LSDs



Voltage and Current measurement selections:

True RMS voltage and current, RMS max, RMS min, RMS avg, Peak max

Power measurement capabilities:

Real power P (watts), Apparent Volt-amperes S (VA),
Reactive Volt-amperes Q (VAR), True Power Factor (tPF),

Energy measurement capabilities:

Kilowatt Hours (KWH), Demand (KW)

Programmable Thresholds:

User selectable high/low limits for RMS voltage and current

Recording Modes/Rates/Intervals:

User selectable normal and loop (wrap around) recording modes, user selectable recording rates of 1 second, 5 seconds, 15 seconds, 30 seconds, 1 minute, 5 minutes, 15 minutes, and 30 minutes. User selectable recording intervals of none, 15 minutes, and 30 minutes.

Memory:

Total of 600 K RAM memory. The recording session length depends on the recording rate, the number of parameters selected for recording, recording mode, and recording interval. The memory has a lithium backup battery to preserve its contents in event of the absence of AC power and batteries.

Real Time Clock:

User programmable real time clock, displayed in 12/24 hour format and HH:MM:SS Day Month Date Year, daylight savings option, accuracy of ± 1 minute per month.

System Configuration:

Total of four prestored setup phase configurations for 1 \emptyset and 1 \emptyset systems: 1 \emptyset 2W, 1 \emptyset 3W, 3 \emptyset 3W Straight Delta, and 3 \emptyset 4W Wye.

Note: Any or all parameters of a phase configuration can be recorded.

PC Interface:

Optically isolated RS-232 serial interface. DM-II View PRO software for display, data analysis, and report generation. User selectable baud rates of 9600, 19200, and 38400 baud.

Power Requirements:



AC line voltage with battery backup operation. The ON/OFF dual color LED indicates the unities power source: green indicates AC line power, red indicates battery power.

Safety Standards:

Designed to meet: UL3111-1, CE (LVD/EMC/EMI)

Case:

Material: Injection molded flame retardant ABS911, rugged, water-resistant, and corrosion proof.

Case dimensions: 17.0" x 11.6" x 7.5"

Weight: 16 lbs. (7.3 kg.) includes batteries, 4 CTs, voltage leads and alligator clips.

Important - Be sure that the pressure relieve valve located next to the handle is open when encountering atmospheric changes.

Battery:

Six alkaline "D" cells (not supplied)

Battery Life:

21 hours continuous with backlight OFF, 1 second recording rate, normal recording mode, all parameters elected for a 3 Ø 4 W Wye configuration.

Operating Temperature Range:

32° - 122°F (0° - 50°C), Relative humidity <85%

Storage Temperature Range:

28° - 140°F (-2° - 60°C), Relative humidity <90%

User Interface

Graphic Display:

User adjustable contrast, LED backlight, 160 x 160 pixels, STN

Switch Keypad:

15 key membrane switch keypad, shielding protection, embedded dual color red/green LED indicating power from line voltage or from batteries.

System Requirements for DM-II View PRO

Windows®95/98/NT/2000

Pentium Processor or higher

8 MB RAM minimum, 16 MB recommended



Tensión.

Es el potencial eléctrico que tiene el sistema, es la capacidad para desplazar un flujo de electrones, los cuales serán la corriente eléctrica.

Lo óptimo es que la tensión se mantenga en un valor constante, pero se sabe que las variaciones en ella son intrínsecas a la operación de los sistemas eléctricos. El valor de referencia es la tensión del sistema, con una tolerancia en el suministro de $\pm 10\%$, de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2005.

La tendencia que sigue la tensión es de variar de forma inversa a la demanda es decir que cuando se presenta una demanda mayor de energía la tensión es menor y de forma inversa, cuando la demanda es poca, la tensión es mayor, lo cual se debe a que existen caídas de tensión por pérdidas en el conductor de alimentación.

Corriente.

El trazo de la corriente es similar al de la demanda de potencia en condiciones normales, exceptuando el caso de que existan variaciones importantes en la señal de tensión, donde la corriente varía en proporción inversa a la tensión, tratando de mantener constante la potencia demandada.

Frecuencia.

Es el número de ciclos que presenta la señal en un segundo. En el sistema eléctrico mexicano es de 60 ciclos por segundo (Hz), y este no debe variar más allá de $\pm 0.8^{29}\%$ ya que una variación mayor en la frecuencia puede afectar a las máquinas generadoras, haciendo que pierdan el sincronismo.

Factor de potencia (fp).

El factor de potencia es el cociente entre la potencia real y la potencia aparente y para tensiones y corrientes senoidales el fp es el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente. Como se trata de corriente alterna la tensión y la corriente son ondas senoidales y el factor de potencia es una medida del aprovechamiento de la energía eléctrica consumida. Entre mayor sea el atraso de la corriente respecto a la tensión, mayor será la demanda de potencia reactiva. En términos generales esto no es conveniente por que la potencia reactiva no genera trabajo útil y la mayor parte de ella se transforma en calor.

²⁹ Diario Oficial de la Federación, Mayo de 1993. Reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica.



Las compañías suministradoras de energía eléctrica en México, sugieren que el factor de potencia tenga un valor superior a 0.9, esto con la finalidad de operar al sistema eléctrico con una eficiencia alta, en términos de aprovechamiento de energía. Cabe recordar que las mediciones se realizaron en los tableros generales y en el secundario de TR-3, por tanto el fp que se registra corresponde únicamente a la carga conectada.

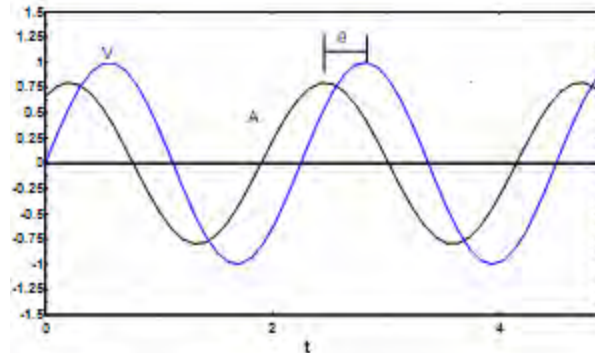


Fig. 1 El fp como el defasamiento de la corriente respecto a la tensión.

Distorsión armónica total en tensión (DATT).

Está compuesta por todas las armónicas presentes en la señal, por lo que es común que cuando disminuye la señal fundamental, esta aumente considerablemente. Se expresa en por ciento, y se define por la siguiente ecuación:

$$DATT = \sqrt{\frac{H}{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{V_h^2}{V_1^2}}}$$

Donde:

V_h = Componente de la “h” armónica de tensión.

V₁ = Componente de frecuencia fundamental de tensión.

h = Número de armónica “1” indica la componente de frecuencia fundamental.

H = 25 como mínimo. según CFE L0000-45 2005

De acuerdo a la tabla 2 de la especificación CFE L0000-45, la distorsión armónica en tensión para sistemas eléctricos con una tensión menor a 1 kV debe ser menor a 8%, mientras que el STDD IEEE 519-1992 en la tabla 11.1 establece un límite máximo de 5% para tensiones menores de 69 kV.



Distorsión armónica total en corriente (DATC).

De igual forma que la DATT está compuesta por todas las armónicas presentes en la señal, por lo que es común que cuando disminuye la señal fundamental, esta aumente considerablemente. Se expresa en por ciento, y se define por la siguiente ecuación:

$$DATC = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H I_h^2}{I_1^2}}$$

Donde:

I_h = Componente de la “h” armónica de corriente.

I₁ = Componente de frecuencia fundamental de corriente.

h = Número de armónica “1” indica la componente de frecuencia fundamental.

H = 25 como mínimo.

A continuación se presentan las tablas 3 y 10.3 para CFE L0000-45 2005 y STD IEEE 519-1992, respectivamente.

TABLA 3 - Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV

Impedancia relativa (I _{cc} / I _L)	Componente armónico individual máximo de corriente, para armónicas impares (CAIMC) %					Distorsión armónica total de demanda (DATD) %
	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	h≥35	
(I _{cc} / I _L) < 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 ≤ (I _{cc} / I _L) < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 ≤ (I _{cc} / I _L) < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 ≤ (I _{cc} / I _L) < 1 000	12	5.5	5	2	1	15
(I _{cc} / I _L) ≥ 1 000	15	7	6	2.5	1.4	20

**Table 10.3
Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120 V Through 69 000 V)**

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I _L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I _{sd} /I _L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.



• **Bibliografía.**

ENRIQUEZ Harper, Gilberto, La calidad de la energía en los sistemas eléctricos, Limusa, México, 2006, 457 p.p.

PACHECO Reyes, Juan Antonio, LOPEZ Romero, José Francisco, Análisis de la calidad de la energía en la Facultad de Ingeniería, México, 2009, pag. 15-19.

MADRIGAL Martínez, Manuel, Calidad de la energía y análisis armónico en sistemas eléctricos, 2002.

GALARZA, Ernesto, La Electricidad en México, Fondo de Cultura Económica, México, 1941, pag. 26-28.

AVELINO Pérez, Pedro, Transformadores de distribución, Reverté, México, 1998, 237 p.p.

ROGER C., Dugan, Surya Santoso, et. Al, Electric Power Quality Systems second Edition, 2° edición McGraw Hill, 2002, 528 p.p.

RASHID Muhammad, M., Electrónica de potencia, 3° edición, Pearson, Guatemala, 2004, 904 p.p.

Cronología La historia de Luz y Fuerza del Centro, El Universal, México, 2009, pag. 15.

IEEE Std. 1159-1995 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 76 p.p.

IEEE Std. 519-1992 Recommended Practices and Requeriments for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 101 p.p.

IEEE Std. 1100-1999 Recommended Practique for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment, 253 p.p.

Especificación CFE L0000-45 Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica, Comisión Federal de Electricidad, México, 2005, 21 p.p.



Reglamento de la ley del servicio público de la energía eléctrica, Diario Oficial de la Federación, México, 1993.

- **Electrónica.**

Página web, Tema: Guerra de las corrientes.

www.epec.com.ar/PaginaOficial2/docs/.../fichaguerra_ctes.pdf. Fecha de consulta 10 de octubre de 2009

Página web, Tema: Historia de la electricidad.

http://www.geocities.com/alvaro2001/espanyol/historia_cast.html. Fecha de consulta 18 octubre de 2009

Página web, Tema: Disturbios eléctricos.

<http://www.educadis.uson.mx/peon/Ingenieria-tecnologia/ITdocumentos%20de%20Interes/Origen-Des-Tec-Electro-Rpe%F3n.html> Fecha de consulta 22 de octubre de 2009

Página web, Tema: Indicadores LyFC.

<http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=304> Fecha de consulta 15 de enero de 2010