



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

***FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN***

“CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

MARIO DE JESÚS GUEVARA HERNÁNDEZ

ASESOR: ÁNGEL ISAÍAS LIMA GÓMEZ

CUAUTILÁN IZCALLI ESTADO DE MÉXICO DE 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Votos Aprobatorios

Dedicatoria

Este trabajo muy importante en mi vida está dedicado a mi familia y a toda la gente que he conocido y he tenido trato por lo más efímero que fue a lo largo de mi vida, una vez leí que todas las personas que interactúan contigo aportan algo a tu personalidad ya sea cosas buenas o malas por el mínimo trato que se haya creado, y un día una persona me dijo “Que de todo y de todos se aprende”, a toda esa gente que me dio la oportunidad de conocerlos.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A mis papas:

Mario Guevara Domínguez y Reyna Hernández Duran.

No hay palabras para expresar el sentimiento de amor y agradecimiento tan grande que les tengo que gracias a ustedes soy lo que soy.

A mis hermanos:

José Alberto y Miguel Ángel.

Gracias por todo lo que hemos vivido juntos, sus regaños y sus buenos consejos, los amo.

A mi cuñada y sobrinos:

Lilía Ortega.

Danna Paola (Mi princesita), José Alberto y Jhoani Crystal, gracias por todas las alegrías que nos han dado y su cariño, todos en la familia los amamos.

A mis tíos y a sus hijos:

Salvador Hernández y Lucía Ballinas.

Salvador, Claudia, Magali, Araceli, Verónica, Diego y por último a Pepe.

Gracias por todo su apoyo y confianza que siempre me han brindado y este triunfo es para ustedes.

A la familia Granados Castañeda:

José Granados y Andrea Castañeda.

Julio, David, Abel, Andy y en especial a Emmanuel que se encuentra en una situación difícil, este triunfo es para ti, tu que siempre me distes buenos consejos, gracias hermano.

A Perla:

Gracias bonita por los momentos inolvidables que me has dado, eres una gran mujer excepcional y muy especial para mí, siempre te voy a llevar en mi corazón. Y nunca dejes de sonreír.

A mis amigos: A todos mis amigos que he tenido a lo largo de mi vida, no quisiera mencionar nombres para no omitir alguno, gracias.

Índice

	Págs.
Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Introducción	9
Objetivo	9
1. ¿Qué es la calidad de la energía eléctrica?	10
1.1 Razones para estudiar la calidad de la energía eléctrica.	12
1.2 Causas que limitan la calidad de la energía eléctrica.	14
1.3 ¿Cómo se desglosa las secciones a todo lo relacionado a la energía eléctrica?	15
1.4 Servicio de energía eléctrica en México.	17
1.4.1 Calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica en México.	17
1.4.2 Perspectivas de regulación de la calidad de la energía en México.	19
1.5 Efectos que se producen de una mala calidad de la energía eléctrica.	19
2. Compatibilidad Electromagnética (CEM).	20
2.1 ¿Que es la Compatibilidad Electromagnética (CEM)?	21
2.2 Objetivos de la CEM.	23
2.3 La perturbación electromagnética.	23
2.4 ¿Que son los acoples?	23
2.5 Interferencias electromagnéticas.	25
2.6 Nivel de compatibilidad electromagnética.	25
2.7 Nivel de planificación.	25
2.8 Susceptibilidad e inmunidad.	27
3. Tipos de cargas en un sistema de potencia.	27
3.1 Cargas lineales.	28
3.2 Cargas no lineales.	28
3.3 Carga sensitiva.	29
3.4 Carga crítica.	30
3.5 Razones para incrementar la sensibilidad de las cargas.	30
4. Características, tipos, causas y efectos de las perturbaciones electromecánicas en la calidad de la energía eléctrica.	30
4.1 Transitorios.	31
4.1.1 Características.	32
4.1.2 Tipos.	32

4.1.3 Causas y efectos. -----	33
4.2 Caídas de Tensión (Sag o Dip). -----	36
4.2.1 Definición. -----	36
4.2.2 Causas y efectos. -----	36
4.3 Sobre Tensiones (Swells). -----	38
4.3.1 Definición. -----	38
4.3.2 Causas y efectos. -----	39
4.4 Interrupciones. -----	40
4.4.1 Definición. -----	40
4.4.2 Causas y efectos. -----	42
4.5 Variaciones de Tensión de Larga Duración. -----	43
4.5.1 Definición. -----	43
4.5.2 Tipos. -----	44
4.5.3 Causas y efectos. -----	44
4.6 Curva ITIC (CBEMA). -----	46
4.6.1 Definición. -----	46
4.7 Armónicas. -----	49
4.7.1 Definición. -----	49
4.7.2 Fuentes de armónicas. -----	49
4.7.3 Efectos. -----	51
4.7.4 Distorsión armónica de cargas típicas. -----	51
4.7.5 Secuencias de las armónicas. -----	55
4.7.6 El factor de potencia. -----	55
4.7.7 Importancia del factor de potencia. -----	56
4.7.8 Norma recomendada para armónicas. -----	59
4.7.9 Impacto de las armónicas en instalaciones industriales. -----	60
4.7.10 Impacto de las armónicas en instalaciones comerciales. -----	60
4.7.11 Impacto de las armónicas en instalaciones residenciales. -----	61
4.7.12 Impacto de las armónicas en las instalaciones de media tensión. -----	61
4.8 Muecas (Notch). -----	63
4.8.1 Definición. -----	63

4.8.2 Causas y efectos. -----	
-- 63	
4.9 Ínter Armónicos. -----	64
4.9.1 Definición. -----	64
4.9.2 Causa y Efectos. -----	65
4.10 Desplazamiento de la Onda AC (DC Offset). -----	65
4.10.1 Definición. -----	65
4.10.2 Causas y efectos. -----	66
4.11 Fluctuaciones Rápidas de Tensión (Flicker). -----	66
4.11.1 Definición. -----	66
4.11.2 Causas y efectos. -----	68
4.12 Ruido. -----	69
4.12.1 Definición. -----	69
4.12.2 Causas y efectos. -----	69
4.13 Desbalance o Asimetría de Tensión. -----	70
4.13.1 Definición. -----	70
4.13.2 Causas y efectos. -----	71
4.14 Variación de la Frecuencia Fundamental. -----	71
4.14.1 Definición. -----	71
4.14.2 Causas y efectos. -----	72
5. Soluciones de problemas de calidad de energía eléctrica. -----	72
5.1 Técnicas de control de Armónicas. -----	74
5.2 Técnicas de control de Flicker. -----	80
5.3 Técnicas de control de Sag, Swell y Transitorios. -----	81
5.4 Puesta a tierra eléctrica. -----	86
6. Normas de la calidad de la energía. -----	89
6.1 Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (IEEE), ANSI. -----	91
6.2 Comisión Internacional de Electromecánica (IEC). -----	91
6.3 Normas Técnicas Mexicanas (La Ley del Servicio Público de Energía). -----	93
7. Caso práctico de Estudio de Calidad de la Energía Eléctrica. -----	95
7.1 Reporte de mediciones. -----	95
7.2 Medición en Transformador (TR), principal 225 kVA (Del 29 al 30 de Mayo). -----	97

7.2.2 Comentarios y recomendaciones. -----	111
7.3 Medición en Transformador (TR), maquina MAN, 175 kVA (Del 29 al 30 de Mayo). -----	113
7.3.1 Comentarios y recomendaciones. -----	127
7.4 Conclusiones. -----	129
8. Conclusión. -----	130
9. Bibliografía. -----	131
10. Apéndices. -----	133
Apéndice A. Equipos y software para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica. -----	133
Apéndice B. Glosario. -----	148
Apéndice C. Abreviaturas. -----	160

Introducción.

*Día a día, tanto para consumidores como para las compañías suministradoras de energía eléctrica, el concepto de "Calidad de la Energía Eléctrica" adquiere más relevancia, por ser un tema de gran trascendencia e inherente en la vida de todas las personas que interactúan con la energía eléctrica, aunque a veces no se le da la importancia necesaria, ya que con buenos parámetros de calidad de la energía se pueden tener un mejor funcionamiento y la vida útil de aparatos eléctricos, así como de menos pérdidas económicas para el sector industrial. El término **"Calidad de la Energía Eléctrica" (Power Quality)** se ha convertido en una de las frases modernas más escuchadas y a su vez más estudiada en la industria desde los años 80's, y se ha convertido en una especie de concepto general, alrededor del cual se puede ubicar una multitud de distintos tipos de disturbios y problemas que se pueden presentar en un sistema eléctrico. Los crecientes desarrollos tecnológicos en las últimas décadas han conllevado al uso de cargas basadas en electrónica, susceptibles a perturbaciones tales como; distorsión armónica, fluctuaciones tensión, transitorios, Sags (caídas de tensión), Swells (sobre tensiones) entre otros. Por este motivo tanto las empresas suministradoras de energía eléctrica como los usuarios finales del servicio de energía eléctrica, han estado insistiendo cada vez más en el concepto de calidad de la energía eléctrica.*

Por este motivo los usuarios, en especial los de sectores industriales, que dependen de procesos productivos en ocasiones las veinticuatro horas diarias durante todo el año, exigen a las empresas eléctricas una calidad de la energía eléctrica tal que no afecte sus procesos productivos. Las empresas suministradoras deben generar una tensión de onda senoidal, de amplitud y frecuencia lo más constante posible. La calidad de la señal de la energía eléctrica puede ser afectada en la trayectoria desde la central de generación, sistema de transmisión, distribución hasta finalmente los usuarios, para mejorar la calidad de la energía eléctrica que la empresa suministra al usuario se deben hacer ciertos estudios y en base a ellos realizar los lineamientos correspondientes bajo normas que ya están establecidas por organismo internacionales, que definen los límites de los parámetros a considerar en tales estudios.

Objetivos.

El objetivo de la presente tesis es comprender la importancia que desempeña la calidad de la energía eléctrica en nuestra vida diaria, así como tener conocimiento de factores externos e internos que causan una baja calidad de la energía eléctrica en un sistema eléctrico, ya que una

mala calidad de la energía eléctrica puede causar pérdidas económicas considerables, también saber qué métodos o equipos a usar para que las fallas provocadas sean mínimas.

1. ¿Qué es la calidad de la energía eléctrica?

La calidad de la energía eléctrica que en países de habla inglesa se le denomina como **Power Quality (PQ por sus siglas en inglés)** se puede definir como:

La energía eléctrica que es suministrada a los equipos y dispositivos eléctricos con características y condiciones adecuadas que le permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes. Esto es que el conjunto de características físicas de la onda de **voltaje y corriente** y estas sean ideales (una senoide de amplitud y frecuencia constante), (Ver figura 1), para el suministro y consumo de la energía eléctrica al usuario, entre las características más importantes se consideran:

- Frecuencia (Ver figura 2).
- Magnitud (Ver figura 3).
- Forma (Ver figura 4).
- Simetría (Ver figura 4).
- Ángulo de fase (Ver figura 5).

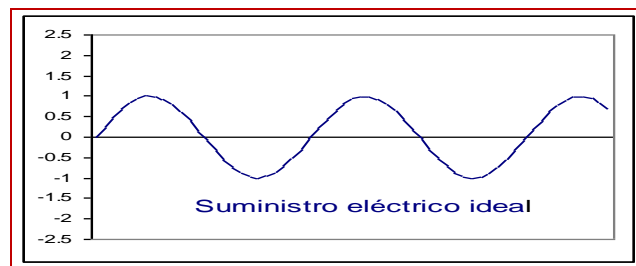


Figura 1. Forma de la Onda de la Energía Eléctrica de Modo Ideal.

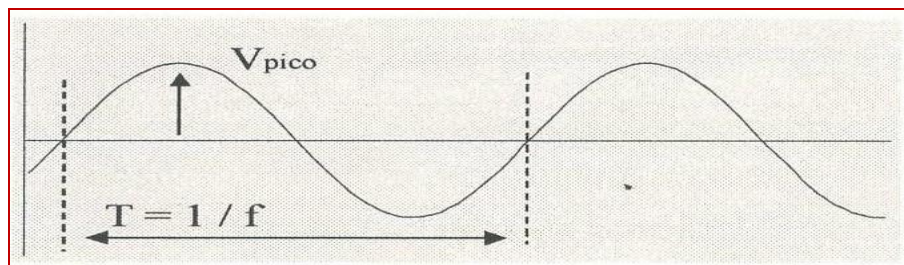


Figura 2. Una Onda de Voltaje Con un Periodo y Frecuencia Constante.

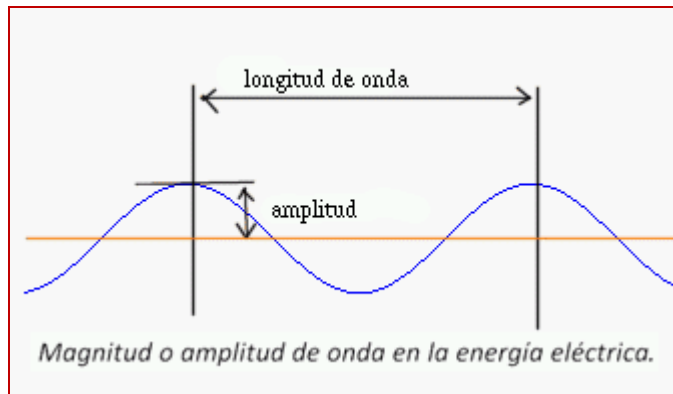


Figura 3. Magnitud de la Onda de la Calidad de la Energía.

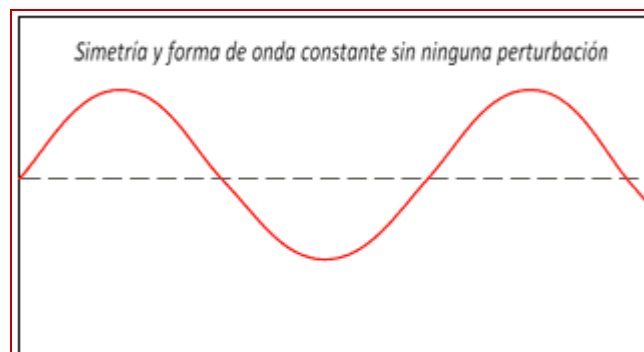


Figura 4. En Esta Figura se Puede Observar la Forma de la Onda y su Simetría.

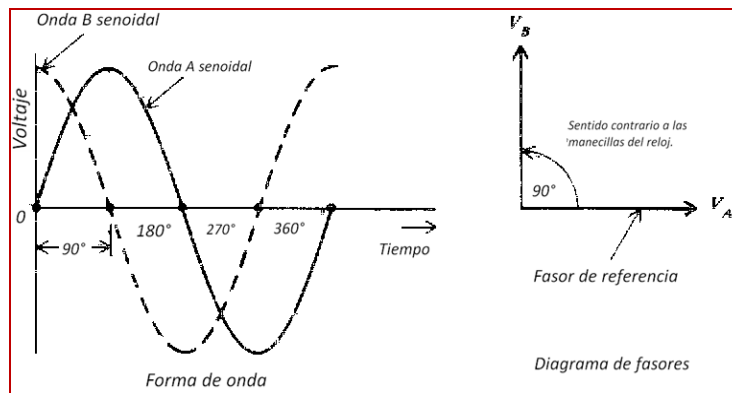


Figura 5. Ángulo de Fase Entre Dos Ondas de Voltaje.

Este concepto calidad de la energía (PQ) incluye todo lo relacionado con una gran variedad de disturbios que se generan en los sistemas eléctricos y que causan desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, resultando en fallas de los sistemas o en operaciones erráticas de los equipos eléctricos.

Los usuarios de energía eléctrica por su parte entienden como el suministro de energía dentro de los parámetros contractuales es decir; una amplitud y frecuencia determinada, con un

porcentaje de error que no afecte sus instalaciones (Ver figura 6). Sin embargo en la práctica esta situación no existe, necesitamos de la capacidad de medir, calcular, predecir y comparar la imperfección de varios sistemas y establecer límites aceptables en varias aplicaciones.

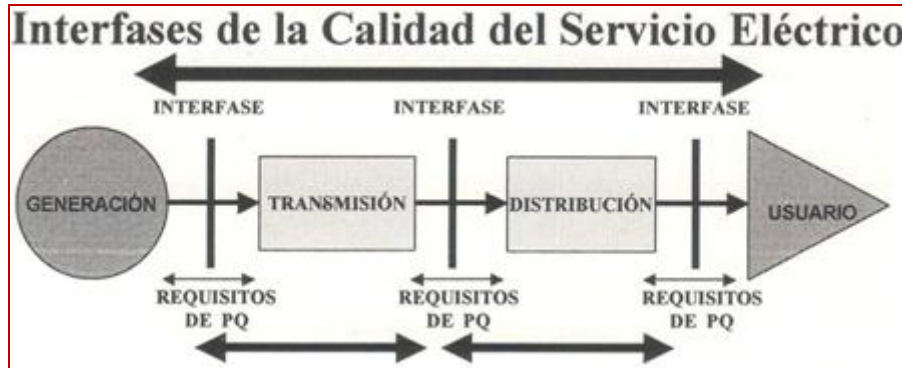


Figura 6. Interface de la Calidad de la Energía Eléctrica (PQ).

1.1 Razones para estudiar la calidad de la energía eléctrica.

La principal razón para estudiar la calidad de la energía eléctrica es la de satisfacer los requerimientos de los usuarios, estas razones pueden ser:

- **Legislación:** Ya que la calidad de la energía eléctrica es un tema de suma importancia para la vida del de todas las personas que interactúan con ella es por eso la importancia de una tener una buena legislación y regularizar los parámetros aptos para su consumo sin causar pérdidas.
- **Pérdidas:** Es uno de los puntos primordiales por los cuales se debe tener un buen conocimiento de la calidad de la energía ya que una mala calidad de esta puede provocar grandes pérdidas económicas, como para las personas de casa habitación y el sector industrial, ya que se puede traducir en mal funcionamiento de equipos eléctricos, menor vida útil de estos así como de desperfectos de los mismos.
- **Aumento de riesgos:** Una mala calidad en la energía eléctrica puede causar accidentes como calentamientos de conductores, paro de procesos de producción repentinos, fallas de equipos de hospitales y puede ser factor para el deceso de personas en situaciones delicadas.
- **Ignorancia:** Para tener más conocimientos de este tema y saber causas y efectos que puede provocar una mala calidad de la energía eléctrica, como saber que acciones llevar a cabo para reducir sus efectos a los equipos eléctricos.

- **Costos de operación:** Como ya se menciona anteriormente tener una mala calidad de la energía eléctrica conlleva a un mal funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, así como un mal funcionamiento en sistemas eléctricos.
- **Uso racional de la energía:** En este caso es una mejor eficiencia de consumo y por lo tanto menos desperdicio de la energía eléctrica con una mayor calidad de la energía eléctrica, pero además se debe llevar un buen control de parámetros de la calidad de la energía eléctrica desde la generación, distribución hasta llegar al consumidor final.
- **Crecimiento de la instalación:** Con un crecimiento de instalaciones eléctricas conlleva a mayores cargas de consumo eléctrico, y hacer un buen estudio de cargas de consumo para poder instalar los equipos adecuados conforme a parámetros que se tengan sin dejar de lado normas de organismos internacionales.
- **Operación errática de equipos y artefactos eléctricos:** Como ya se menciona anteriormente una mala calidad de la energía eléctrica conlleva a un mal funcionamiento, el deterioro y reducción de la vida útil de los equipos eléctricos y electrónicos.
- **Redes obsoletas:** Esto se puede traducir que con malas instalaciones eléctricas y redes de distribución pueden ser la causa de perturbaciones en la energía eléctrica, por eso se debe de tener instalaciones adecuadas.
- **Incremento de equipos electrónicos:** Los equipos electrónicos de potencia pueden ser los causantes de cargas no lineales que estas a su vez son las causas de armónicas.
- **Reducción de la vida útil de equipos y artefactos eléctricos.**
- **Ubicación geográfica:** Para tener en cuenta las aéreas con más probabilidades en donde puedan ocurrir mas fenómenos naturales, ya que son causantes de perturbaciones eléctricas.
- **Permite proteger y dar confiabilidad a las cargas:** Esto es tener una buena calidad de la energía y tener en cuenta que los efectos van a ser mínimos en equipos eléctricos y electrónicos.

En la actualidad cada vez es más amplio el uso de equipo electrónico sensible, y continuamente las velocidades de procesamiento se incrementan por lo que es indispensable que las instalaciones se realicen con apego a las normas, se cuente con equipos de protección adecuado y se reduzcan los disturbios en el sistema eléctrico, para lo cual es importante establecer una coordinación entre la compañía suministradora, los fabricantes de equipos y los usuarios.

1.2 Causas que limitan la calidad de la energía Eléctrica.

La principal causa es el incremento de equipos electrónicos o cargas no lineales conectadas a la red, como también pueden ser fenómenos naturales. Consecuentemente el margen entre la inmunidad del equipo que ya está en uso y el nivel de distorsión de tensión se reduce día a día. El incremento del uso de equipo electrónico en nuestras casas, oficinas y fábricas cambia la impedancia característica de la carga. Las cargas electrónicas tienen características no lineales. Un problema de la calidad de la energía, es cualquier fenómeno de origen eléctrico o natural que interrumpe el correcto funcionamiento de la energía eléctrica, los fenómenos más comunes son:

Naturales

- Descargas atmosféricas.
- Lluvia.
- Viento.
- Polvo.
- Nieve.
- Terremoto.
- Huracán.
- Humedad.
- Salinidad.

Eléctricos

- Cargas no lineales.
- Corto circuito.
- Pérdida de fase.
- Sobrecarga.
- Bajo factor de potencia.
- Corrección del F.P.
- Apertura de interruptores.
- Suspensión del servicio.
- Conexión y desconexión de cargas.

A todos los fenómenos antes mencionados que influyen en la calidad de la energía eléctrica podemos añadir una pregunta ¿Cuáles son las perturbaciones más comunes que degrada la calidad de la onda de la energía eléctrica? Las perturbaciones más comunes que intervienen en la degradación de la onda de tensión y corriente eléctrica son las siguientes (Ver figura 7).

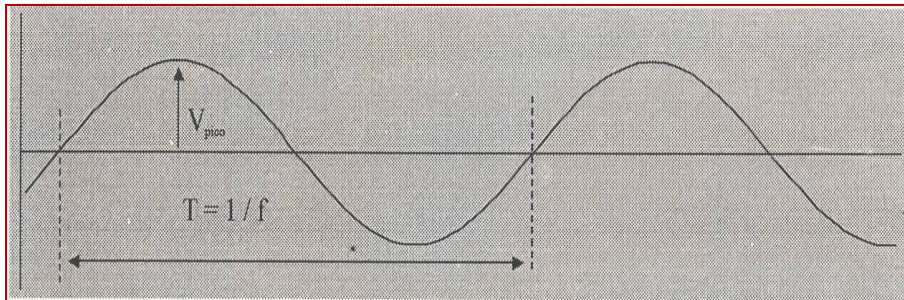


Figura 7. Forma de Onda de Una Mala Calidad de Energía Eléctrica.

- *Perturbaciones de origen externo al sistema eléctrico.*
- *Perturbaciones por fallas en componentes del sistema.*
- *Perturbaciones por maniobras en el sistema de suministro.*
- *Transitorios.*
- *Caídas de tensión (Sags o Dip).*
- *Sobre tensiones (Swells).*
- *Interrupciones.*
- *Variaciones de tensión de larga duración.*
- *Armónicos.*
- *Muecas (Notch).*
- *Interarmónicos.*
- *Desplazamiento de la onda AC (DC Offset).*
- *Fluctuaciones rápidas de tensión (Flicker).*
- *Ruido.*
- *Desbalance o asimetría de tensión.*
- *Variación de la frecuencia fundamental.*

En los capítulos siguientes se definen y se desglosa cada uno de los parámetros antes mencionados.

1.3 ¿Cómo se desglosa las secciones a todo lo relacionado a la energía eléctrica?

- **Calidad de la onda voltaje.**
Magnitud, forma de onda y frecuencia.

Es referente a las desviaciones del voltaje de su forma ideal con respecto a su forma de onda. El voltaje ideal es una onda sinusoidal de frecuencia constante que solo contiene la componente fundamental y de magnitud constante.

➤ **Calidad de la onda de corriente.**

Magnitud, forma de onda y frecuencia.

Es referente a las desviaciones de la corriente de su forma ideal con respecto a su forma de onda. La forma de onda ideal de la corriente de nueva cuenta es una onda sinusoidal de frecuencia constante. Un requerimiento adicional es que esta forma de onda debe estar en fase con el voltaje de la línea.

➤ **Calidad de la energía eléctrica.**

Combinación de calidad de voltaje y de corriente.

*La calidad de la energía eléctrica es la combinación de características físicas de la calidad de onda de **Voltaje y Corriente** y estas sean ideales (Una senoide de amplitud y frecuencia constante).*

➤ **Calidad del suministro de energía eléctrica.**

Confiabilidad + Calidad de Voltaje.

Incluye la parte técnica (Calidad en el voltaje) mas una parte no técnica algunas veces es referenciada como calidad en el servicio. Esta quizás es de las definiciones más útiles sin embargo no incluye la parte de la responsabilidad del cliente.

➤ **Calidad del servicio de energía eléctrica.**

Calidad de Suministro + Relación con consumidores.

La calidad en el servicio eléctrico es un concepto manejado por los usuarios finales. Esta es la totalidad de las características técnicas y administrativas relacionadas a la distribución, transmisión y generación de la energía eléctrica. Calidad del servicio al consumidor.

➤ **Calidad del consumo de la energía eléctrica.**

Confiabilidad Suministro + Calidad de Energía + Relación con Consumidores.

Este es la fase final de la energía eléctrica donde simplemente se le proporciona al usuario por medio de la empresa distribuidora, donde se observan los siguientes parámetros: Disponibilidad de alimentación al consumidor, Calidad de la energía ofrecida al consumidor. Es el término complementario a calidad del suministro.

1.4 Servicio de energía eléctrica en México.

En México, el suministro de energía eléctrica a los usuarios, está regido por la ley del servicio público y su reglamento, en donde se especifican los límites superior e inferior de voltaje de suministro en el punto de entrega al usuario. La entrega de voltajes fuera de estos límites se considera anomalía o deficiencia del suministro.

La cobertura del servicio de electricidad alcanza casi a la totalidad de los mexicanos. Es importante ahora lograr que la prestación del servicio sea en condiciones de calidad. La regulación de la calidad de la energía, es una actividad de atribución de reguladores de las industrias eléctricas. Cada vez más, diferentes tipos de consumidores son más susceptibles a diferentes grados la calidad en la prestación: desde simples quejas o retardos hasta grandes pérdidas económicas.

Aún cuando las entidades públicas en México realizan esfuerzos en este sentido, aún no existe una regulación para normalizar la calidad en la prestación del servicio.

*El actual Reglamento de **La Ley del Servicio Público de Energía**, solo hace indicaciones al respecto limitadas a desviaciones máximas permitidas en amplitud de voltaje y frecuencia. La Comisión Reguladora de Energía (CRE), es un organismo federal que se encarga de llevar a cabo todo los lineamientos de todo lo relacionado a la energía en el país, así como tiene la facultada de llevar a cabo la regulación de la calidad de la energía México, está iniciando un proyecto para determinar, en su caso, los términos y condiciones de calidad (entre otros) en la prestación del servicio público de electricidad.*

1.4.1 Calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica en México.

La calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica en México comprende de tres categorías que son las siguientes (Ver figura 8):

- **Calidad del Servicio de Energía Eléctrica:** Todos los aspectos relacionados con la interacción comercial entre usuario y el prestador del servicio.
- **Calidad del Suministro de Energía Eléctrica:** Todos los aspectos relacionados con la continuidad con que se recibe el servicio una vez que este ha sido contratado.

- **Calidad de la Energía Eléctrica:** Todos los aspectos relacionados con la calidad de onda de la energía que se recibe cuando hay servicio.

La calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica en México se divide en tres áreas como se pudo ver anteriormente y este servicio lo proporciona Comisión Federal de Electricidad (CFE), anteriormente el prestador del servicio en la zona centro del país era Luz y Fuerza del Centro (L y F) y ahora también la administra la Comisión Federal de Electricidad, estas áreas a su vez se dividen en los siguientes parámetros:

Calidad del Servicio de energía Eléctrica:

- Tiempo de conexión del servicio
- Tiempo de reconexión del servicio.
- Diferentes formas de pago y agilidad.
- Tiempos de reparación de fallos.
- Atención telefónica y otros medios de información.
- Atención de quejas y aclaración en facturas.

Calidad del Suministro de Energía Eléctrica:

- Frecuencia de interrupciones.
- Duración de interrupciones.
- Clientes afectados por interrupción.
- Energía no suministra por interrupción.

Calidad de la Energía Eléctrica:

- Variación de frecuencia y voltaje.
- Distorsión armónica.
- Depresiones de voltaje.
- Desbalance de fases.
- Parpadeo.
- Etcétera.



Figura 8. Fases Que Conlleva a la Generación y Distribución de la Energía Eléctrica en México.

1.4.2 Perspectivas de regulación de la calidad de la energía eléctrica en México.

Situación actual y perspectiva de la regulación de la calidad de la energía eléctrica en México (Ver tabla 1).

Actual	Perspectiva
<p>Calidad del Servicio de energía Eléctrica:</p> <p>Algunos compromisos de las entidades con sus estructuras internas de calidad.</p>	<p>Calidad del Servicio de energía Eléctrica:</p> <p>Establecer condiciones universales en los términos contractuales de todas las tarifas y métodos estadísticos de monitoreo</p>
<p>Calidad del Suministro de Energía Eléctrica:</p> <p>Monitoreo de algunos índices por parte de las entidades, compromisos internos sobre todo en baja tensión.</p>	<p>Calidad del Suministro de Energía Eléctrica:</p> <p>Establecer compromisos individuales y globales en diferentes zonas y tipos de consumo.</p>
<p>Calidad de la Energía Eléctrica:</p> <p>Sólo en algunos proyectos privados de autoabastecimiento</p>	<p>Calidad de la Energía Eléctrica:</p> <p>Establecer compromisos globales en tensiones bajas e individuales en altos consumos.</p>

Tabla 1. Situación Actual y Perspectiva de la Regulación de la Calidad de la Energía Eléctrica en México.

1.5 Efectos que se producen de una mala calidad de la energía eléctrica.

La creciente aplicación de equipos electrónicos acrecentó el interés en la calidad de la energía por ser un elemento vital para el buen funcionamiento de los aparatos eléctricos. Una mala calidad en la energía eléctrica puede afectar no solo el funcionamiento de los equipos que se

conectan a la red de suministro, además degradan el tiempo de vida de los elementos que las componen, como:

- Transformadores.
- Conductores.
- Banco de capacitores de corrección de factor de potencia.
- Subestaciones eléctricas.
- Falla de equipos eléctricos.
- Sobre calentamiento de conductores.

Mencionando que tales perturbaciones incrementan la ocurrencia de cortes en el suministro y variaciones de tensión. Este tema se ha vuelto muy importante en los últimos años debido a que los usuarios domésticos, comerciales e industriales han reportado un aumento de estas perturbaciones en la red, mismas que pueden ocasionar un mal funcionamiento de un equipo eléctrico o electrónico y en ocasiones pueden llegar a dañarlo permanentemente, trayendo como consecuencia principalmente pérdidas económicas importantes.

En la actualidad cada vez es más extendido el uso de equipo electrónico sensible y continuamente las velocidades de procesamiento se incrementan por lo que es indispensable que las instalaciones se realicen con apego a las normas, se cuente con equipos de protección adecuado y se reduzcan los disturbios en el sistema eléctrico, para lo cual es importante establecer una coordinación entre la compañía suministradora, los fabricantes de equipos y los usuarios.

Los síntomas o efectos típicos atribuibles a la calidad de la energía que pueden ocasionar un mal funcionamiento de equipo eléctrico destacan los siguientes:

- Operación errática de equipos.
- Recetear equipos de computo.
- Equipos quemados.
- Disminución de su vida útil esperada.
- Titilación de la iluminación.
- Corriente por conductores de tierra.
- Reinicio inesperado de computadores.
- Oscilaciones en pantallas de computadores.
- Daños asociados a transferencias red – planta.
- Sobrecalentamiento en transformadores, interruptores, motores, etc.
- Sobrecarga de conductores de neutro.
- Operación no deseada de protecciones.

- *Ruido audible en interruptores.*
- *Fallas en UPS's al hacer transferencias.*

2. Compatibilidad Electromagnética (CEM).

Todos los equipos, aparatos, dispositivos y sistemas que emplean energía son fuentes potenciales de emisión de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos. Esos campos pueden interferir en su funcionamiento a otros equipos, aparatos, dispositivos y sistemas o causar efectos adversos.

Por una parte, los sistemas de alimentación de energía se hacen cada vez más potentes, lo cual puede generar interferencias electromagnéticas (EMI); este desarrollo exige, por tanto, instalaciones eléctricas de alta calidad, en estas instalaciones la falta de compatibilidad electromagnética (CEM) pudiera provocar elevados costos en su operación o una disminución inaceptable de los niveles de seguridad. Básicamente todos los componentes eléctricos desempeñan algún papel en la interferencia electromagnética, sea como productores (transmisores de EMI) o como consumidores (receptores de EMI).

Las interferencias electromagnéticas son señales que perturban el funcionamiento normal de un sistema eléctrico o electrónico, estas interferencias afectan la tensión, corriente y el campo electromagnético de los circuitos. Estas crean un problema a los equipos ya que alteran su funcionamiento, incapacitándolos para realizar la misión para la que fueron diseñados. Por tanto la CEM es hoy en día a nivel mundial una de las principales exigencias de calidad en los sistemas eléctricos. Por eso adquieren importancia los esfuerzos en caracterizar las condiciones electromagnéticas particulares de cada país.

Uno de los factores que influyen en este tipo de dificultades es que los equipos en uso interfieren unos con otros, en su entorno electromagnético. Si todos los dispositivos pudieran coexistir en armonía, se generaría un entorno electromagnéticamente compatible. El concepto de compatibilidad de fuente y carga no es nuevo. La necesidad de proveer una energía eléctrica en régimen permanente de tensión y frecuencia constante, ha sido reconocida en la industria eléctrica desde hace mucho tiempo.

2.1 ¿Que es la Compatibilidad Electromagnética (CEM)?

La compatibilidad electromagnética (CEM) describe la capacidad de una máquina, aparato o sistema eléctrico o electrónico de funcionar sin problemas en un entorno electromagnético perturbador sin perjudicar, a su vez, el funcionamiento de otros componentes del sistema. Un término clave relacionado con la compatibilidad electromagnética es el nivel de compatibilidad

que no es más que “el nivel de perturbación electromagnética usado como referencia en un entorno específico para la coordinación en el ajuste de las emisiones y límites de inmunidad”, por convención este nivel de compatibilidad es seleccionado para obtener solo una pequeña probabilidad de que sea excedido por el nivel de perturbación real (Ver figura 9).

Los aspectos claves de la compatibilidad electromagnética son:

- **Funcionamiento Satisfactorio:** Significa que el dispositivo es tolerable con los otros, es decir no es susceptible a las perturbaciones presentes en su entorno.
- **No introducir perturbaciones intolerables:** Significa que el dispositivo no molesta a los otros, es decir, el dispositivo no es susceptible a las perturbaciones presentes en su ambiente.

Para que una perturbación electromagnética constituya un suceso potencialmente perjudicial, dependerá de estos factores:

- **El nivel de la perturbación:** Magnitud y forma de onda, rango de frecuencia, contenido de energía, máxima tasa de variación, frecuencia de ocurrencia y duración.
- **La susceptibilidad del receptor o víctima:** Respuesta de frecuencia, condiciones de diseño, presencia de elementos de protección, materiales.
- **Las condiciones en las cuales se efectúe el acoplamiento:** Por conducción o por radiación, características del medio de propagación, atenuación.

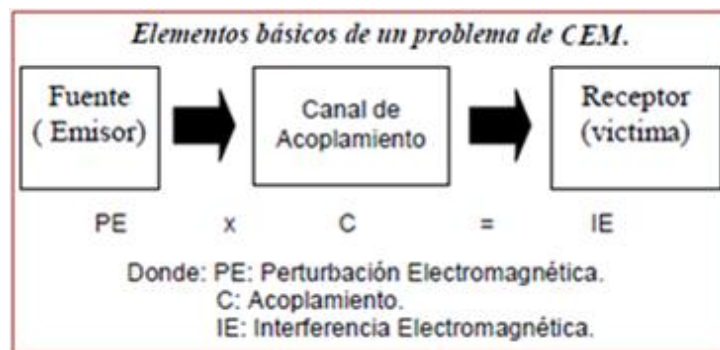


Figura 9. Definición de Interferencia Electromecánica.

Por consiguiente la compatibilidad electromagnética tiene dos requerimientos:

- Asegurar que las **emisiones de perturbaciones electromagnéticas** estén limitadas para un rango tolerable.
- Asegurar que los equipos tengan el suficiente **nivel de inmunidad** para mantener el funcionamiento adecuado en presencia de perturbaciones electromagnéticas a las cuales están sujetos.

Estos requerimientos conciernen tanto a las perturbaciones de alta frecuencia que afectan especialmente los equipos de telecomunicaciones o equipos que realicen funciones de procesamiento de información, así como las perturbaciones de baja frecuencia que afecta a los equipos conectados a la redes de energía eléctrica en general.

2.2 Objetivos de la CEM.

Los objetivos de la Compatibilidad Electromagnética son:

- Garantizar la libre instalación de aparatos.
- Crear un entorno electromagnético aceptable.
- Garantizar que las perturbaciones electromagnéticas producidas por aparatos eléctricos y electrónicos no afectan al correcto funcionamiento de otros aparatos.
- Contribuir a la mitigación de las perturbaciones.
- Dictaminar pautas de protección.
- Establecer límites y márgenes de operación.
- Aumentar la confiabilidad de los procesos productivos.
- Garantizar que el aparato tenga un nivel de inmunidad intrínseca que le permite funcionar de forma correcta.

2.3 La perturbación electromagnética.

Es el fenómeno electromagnético que puede degradar o afectar el funcionamiento de un dispositivo, aparato, equipo o sistema, o afectar desfavorablemente la materia viva o la inerte (Nota: una perturbación electromagnética puede ser un ruido, una señal no deseada o una modificación del medio propio de propagación). La fuente de una perturbación, por ejemplo puede ser una descarga electromagnética, que genere campos electromagnéticos que se propagan por radiación en la atmósfera (canal de acople) y perturban una instalación de comunicaciones o computación, induciendo sobretensiones y provocando la circulación de corrientes no deseadas.

2.4 ¿Qué son los acoples?

El acoplamiento se produce a través de la corriente si conductores comunes a diferentes circuitos son afectados por campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos. Los dispositivos perturbadores pueden ser aparatos de cualquier tipo o cualquier parte de la instalación eléctrica.

Se producirá un acoplamiento entre dos circuitos siempre que exista algún camino por el que uno de ellos pueda ceder energía al otro. Los mecanismos básicos por los que se producen los acoples se reproducen en la siguiente imagen (Ver figura 10), donde la fuente de ruido A radia y conduce interferencias. Un dispositivo sensible B capta la radiación directa y el dispositivo C acopla la radiación por medio de un equipo intermedio H. Los dispositivos D y E reciben las interferencias vía los cables de alimentación mientras que F y G muestran un acoplamiento inductivo a través de los cables adyacentes en J. Finalmente los dispositivos D, F y G son interferidos vía acoplamiento capacitivo entre los cables.

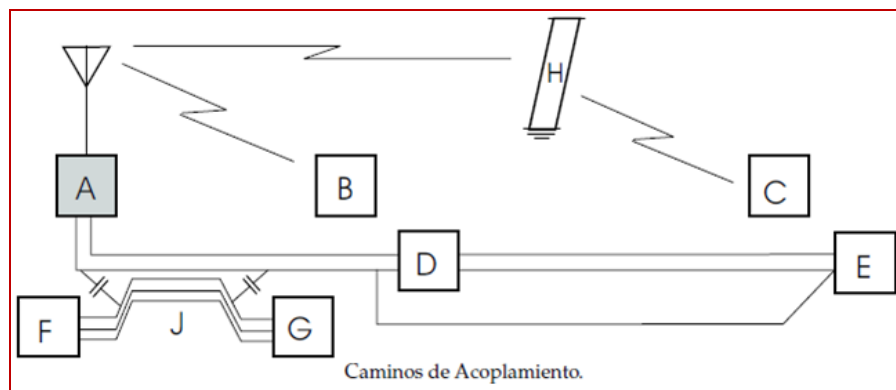


Figura 10. Ejemplo de Cómo se Lleva a Cabo un Camino de Acoplamiento.

Los caminos de acoplamiento más usuales implican situaciones en las cuales ambos circuitos comparten una impedancia, o bien un circuito está sometido a la acción de un campo eléctrico, magnético o electromagnético creado por otro.

Modelo elemental de acoplamiento.

Para describir el mecanismo de una interferencia electromagnética lo más fácil es empezar con un modelo muy sencillo (Ver figura 11). Consiste en una fuente que produce la interferencia, un mecanismo o medio de acoplamiento y el dispositivo perturbado.

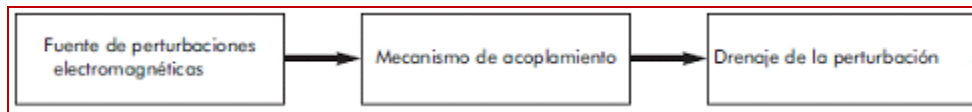


Figura 11. Modelo Elemental de Acoplamiento.

Tipos de acoples.

Los acoples se pueden clasificar de acuerdo a su medio de propagación:

Conducidas: Cuando se propagan mediante un conductor eléctrico que conecta la fuente con el receptor, por ejemplo: cables de suministro de energía o señal, pantallas, chasis metálicos, etc.

Radiadas: Cuando la propagación se efectúa a través de campos electrostáticos o electromagnéticos.

Capacitivo: La variación en el tiempo del campo eléctrico de un sistema externo genera en el sistema perturbado cargas que varían con el tiempo.

2.5 Interferencias electromagnéticas.

Es la degradación de funcionamiento de un equipo, canal de transmisión o sistema debida a una perturbación electromagnética. Las interferencias son un problema cuando existe: un generador de perturbaciones, un circuito afectado y una trayectoria de acoplamiento. Se conocen tres maneras para eliminarlas: anularlas en la fuente, insensibilizarlas al receptor o disminuir la energía transmitida a través de la trayectoria de acoplamiento o una combinación de los tres. Las interferencias pueden clasificarse de acuerdo con su origen y pueden ser:

Naturales, como las producidas por descargas atmosféricas, descarga electrostáticas.

Artificiales, cuando se originan como consecuencia del funcionamiento del sistema.

2.6 Nivel de compatibilidad electromagnética.

El nivel de compatibilidad electromagnética puede definirse como el máximo grado de perturbación, que no debe afectar al correcto funcionamiento de cualquier aparato o equipo. El sistema emisor produce perturbaciones electromagnéticas, y el sistema receptor es afectado, en su funcionamiento, por el emisor. Los niveles de compatibilidad generalmente están basados en el 95% de probabilidad de no exceder los niveles de las perturbaciones.

2.7 Nivel de planificación.

Es el nivel de una perturbación en un entorno particular, adoptado como un valor referencial de límite para la emisión de grandes cargas e instalaciones, con el fin de coordinar estos límites con todos los límites adoptados para equipos conectados en el sistema eléctrico. El propósito de este es el de planificar y evaluar el impacto de las cargas de los usuarios en el sistema, se fija como valor objetivo a nivel de diseño (Ver figura 12 y 13).

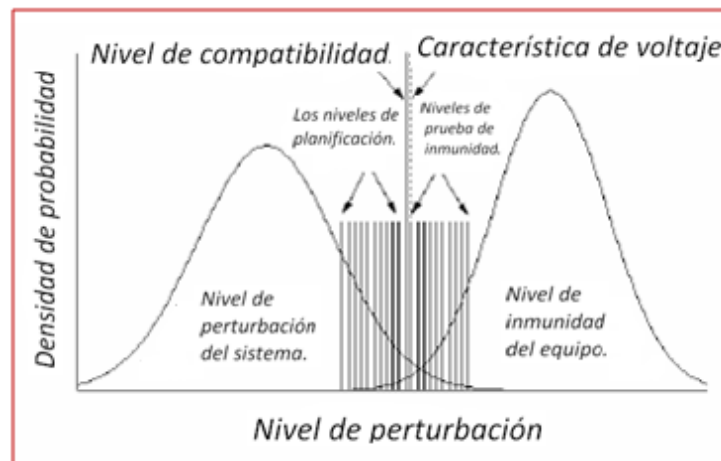


Figura 12. Coordinación de Conceptos de CEM.

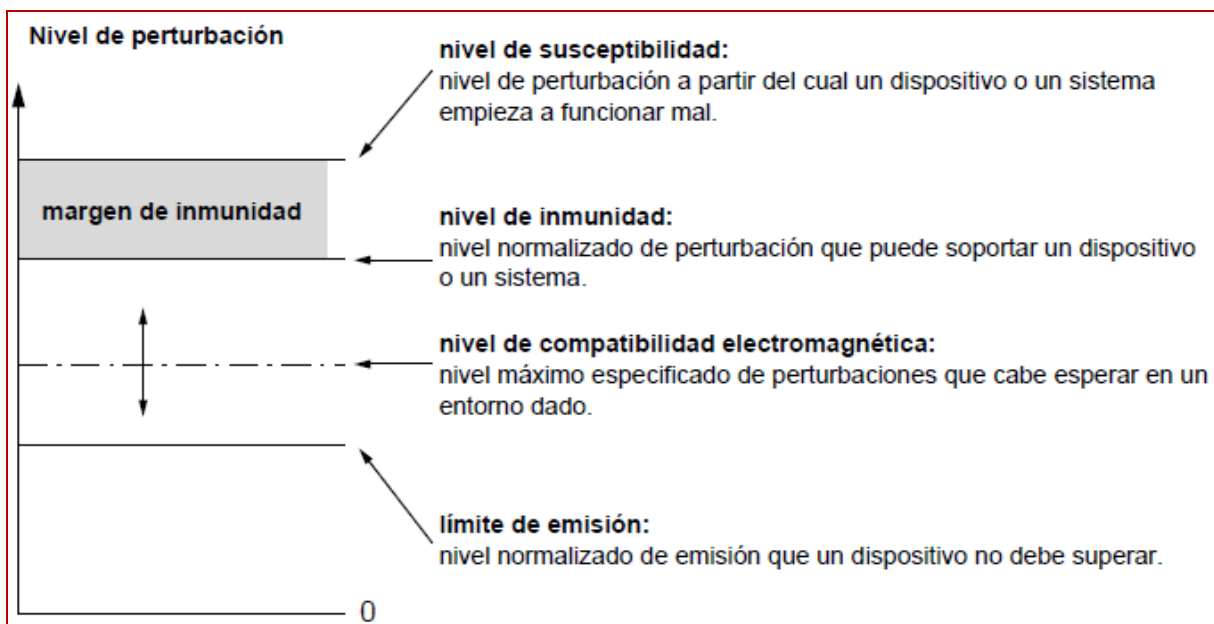


Figura 13. Otra Variante de la Grafica de Nivel de Perturbación.

El nivel de inmunidad de cada aparato es tal que su entorno electromagnético no lo perturba.

Su nivel de emisión de perturbaciones debe ser lo suficientemente bajo como para no perturbar los aparatos situados en su entorno electromagnético.

2.8 Susceptibilidad e inmunidad electromagnética.

Susceptibilidad electromagnética: *Es la falta de aptitud de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación de calidad en presencia de una perturbación electromagnética (Nota: la susceptibilidad es una falta de inmunidad).*

Inmunidad a una perturbación: *Es la aptitud de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación de calidad en presencia de una perturbación electromagnética.*

3. Tipos de cargas en un sistema de potencia.

Desde la década de los 70's el uso masivo de equipos electrónicos en el mundo ha sido exponencial. En 1973 se creó un interés económico para utilizar convertidores de electrónica de potencia en grandes sistemas industriales y la utilización de compensación reactiva para minimizar los costos de la energía (Ver figura 14). El desarrollo de equipos convertidores de potencia eficientes para soportar la evolución de la electrónica, enlazado con la conservación de la energía, ha cambiado, los equipos basados en electrónica cada vez son más utilizados en instalaciones comerciales y residenciales donde el incremento del uso de equipos electrónicos domésticos basados en electrónica en especial los computadores personales.

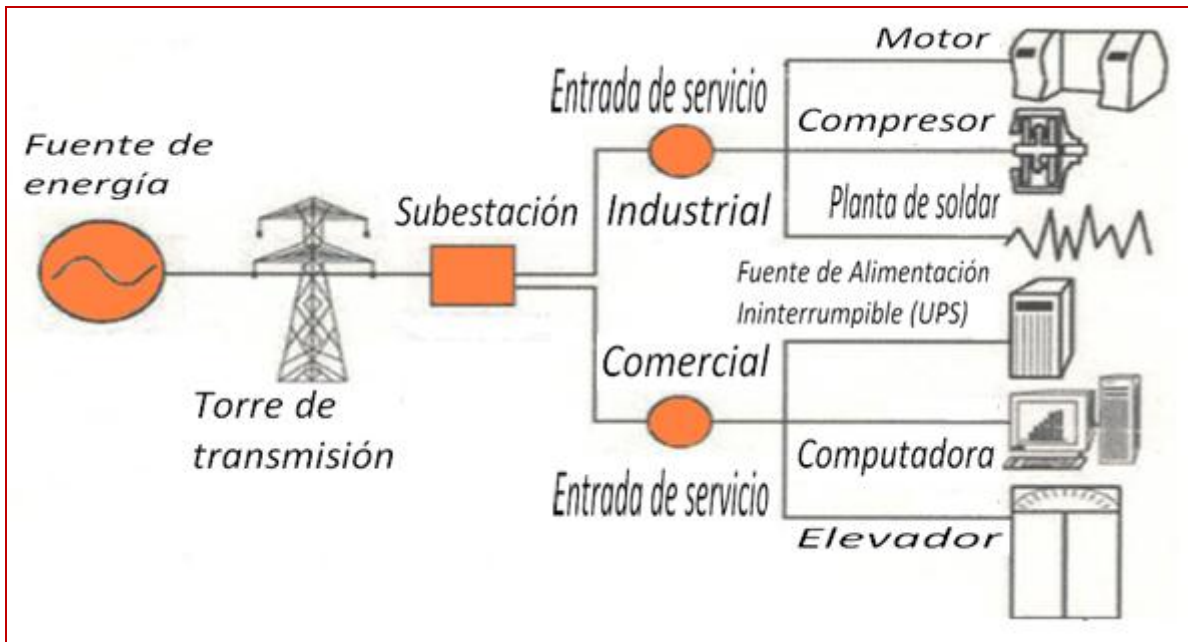


Figura 14. Cargas Típicas Conectadas a un Sistema Eléctrico.

3.1 Cargas lineales.

Son básicamente cargas alimentadas por una tensión senoidal, que demandan una corriente senoidal (Ver figura 15).

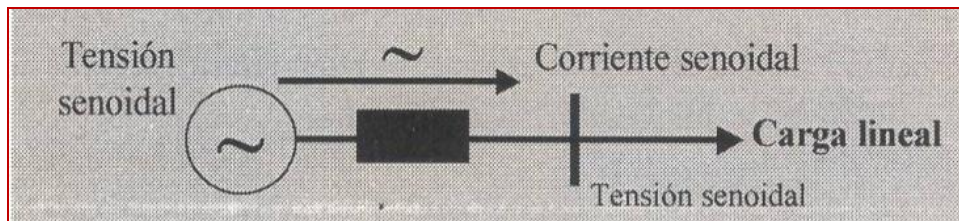


Figura 15. Representación de Una Carga Lineal.

Son las cargas cuya corriente graficada contra la tensión aplicada, produce una línea recta. Estas cargas son las resistencias puras, inductancias y capacitancias (Ver figura 16).

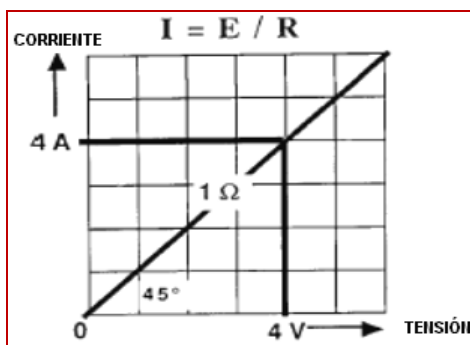


Figura 16. Relación Corriente Versus Tensión (Graficando Resulta Una línea recta).

3.2 Cargas no lineales.

Son básicamente cargas alimentadas por una tensión senoidal, que demandan una corriente no senoidal (Ver figura 17).

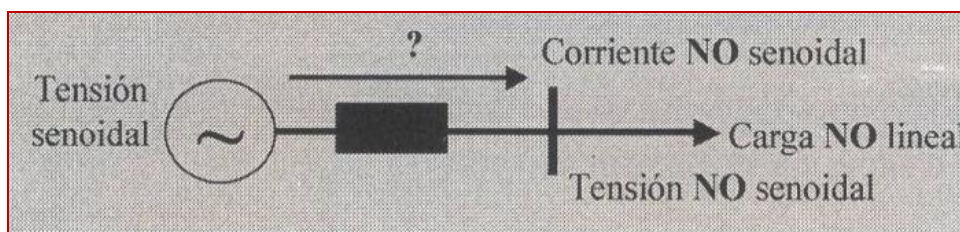


Figura 17. Representación de Una Carga No Lineal.

Son las cargas compuestas por semiconductores. En estas cargas el gráfico de corriente contra tensión aplicado, no arroja una línea recta (Ver figura 18).

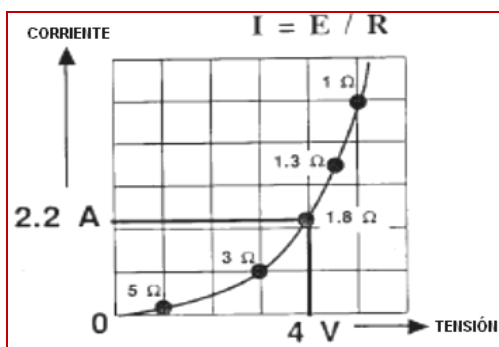


Figura 18. Relación Corriente Versus Tensión (Graficando Resulta Una línea Curva).

En la figura se observa cómo la tendencia a nivel mundial es a la masificación de las cargas no lineales (Ver figura 19). El mejor ejemplo es la masificación de los bombillos de alta eficiencia.

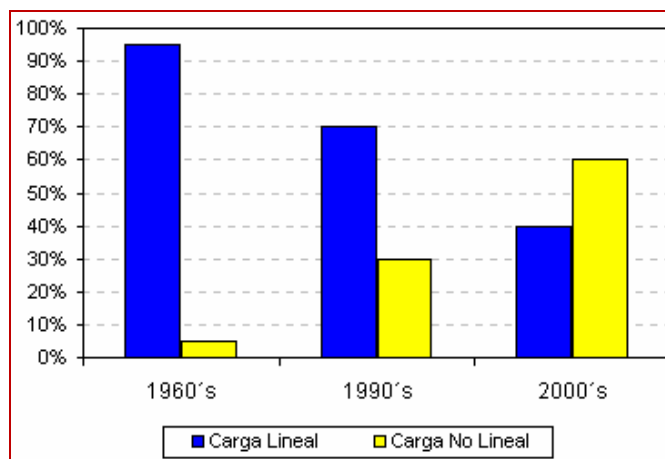


Figura 19. Tendencia Mundial del Uso de las Cargas No Lineales.

3.3 Carga sensitiva.

Aquella que requiere de un suministro de alta calidad, esto es, libre de disturbios o que suele desconectarse o reiniciarse debido a una perturbación de la tensión de suministro. Las cargas de este tipo en su mayoría están basadas en electrónica. El equipo electrónico (ejemplo una computadora) es más susceptible a los disturbios que el equipo electromecánico (ejemplo maquina de tortillas) tradicional.

3.4 Carga crítica.

Aquella que al dejar de funcionar o al funcionar inapropiadamente pone en peligro la seguridad del personal y/o ocasiona grandes perjuicios económicos.

Por ejemplo, un paro no programado en un molino de laminación es muy costoso, mientras que la pérdida de un centro de información en un banco o el mal funcionamiento de los sistemas de diagnóstico en un hospital puede ser catastrófica.

Otro punto es la susceptibilidad, la cual consiste en el nivel absoluto de inmunidad que tenga un equipo, un dispositivo o sistema a las diferentes categorías de perturbaciones producidas en un sistema eléctrico. La carga puede ser crítica o no dependiendo de la aplicación, susceptibilidad y percepción del usuario sobre su uso o aplicación.

3.5 Razones para incrementar la sensibilidad de las cargas.

Las tensiones transitorias inducidas por descargas eléctricas atmosféricas o por operaciones de maniobras pueden producir degradación o falla inmediata del aislamiento en todas las clases de equipos. La elevada magnitud de tensión y el rápido crecimiento de la onda de tensión, contribuye a la ruptura del aislamiento de los equipos eléctricos; tales como motores,

generadores, transformadores de tensión y de corriente, condensadores y cables entre otros. Las fallas en componentes de las fuentes de poder de equipos electrónicos, pueden ser debidas a transitorios de tensión de relativamente baja magnitud.

Por lo general durante un evento de caída de tensión de corta duración, la cantidad de luz visible de algunos dispositivos de iluminación puede ser reducida o producirse un ligero cambio de velocidad en máquinas de inducción.

4. Características, tipos, causas y efectos de las perturbaciones electromecánicas en la calidad de la energía eléctrica.

Una perturbación es un fenómeno electromagnético que puede degradar el desempeño de un dispositivo, equipo o sistema o afectar adversamente a los seres vivos o a los equipos.

La calidad de la energía eléctrica en una instalación está sujeta a variaciones que dependen de muchos factores, algunos de estos pueden ocurrir fuera o dentro de la instalación eléctrica asociada a una red de distribución. Dependiendo de la magnitud y duración de las perturbaciones del suministro de energía eléctrica en las líneas de transmisión y distribución, las cuales son supervisadas en el punto de servicio o medición, pueden afectar la operación de algunos o de todos los equipos en la instalación.

El usuario final debe enfrentar tanto las perturbaciones de suministro de energía eléctrica entregadas por la empresa de distribución eléctrica, como los problemas inducidos por los equipos propios instalados dentro de la edificación.

Los fenómenos en régimen permanente poseen los siguientes atributos:

- *Amplitud.*
- *Frecuencia.*
- *Espectro.*
- *Modulación.*
- *Fuente de Impedancia.*
- *Profundidad del Notch o muescas.*
- *Área del Notch o muescas.*

Los fenómenos en régimen transitorios poseen los siguientes atributos:

- *Amplitud.*
- *Duración.*

- Espectro.
- Frecuencia.
- Rata de ocurrencia.
- Energía potencial.
- Fuente de impedancia.

4.1 Transitorios.

Los transitorios son perturbaciones de corta duración, en la forma sinusoidal de la tensión, que se evidencia por una breve discontinuidad en la forma de onda (Ver figura 20).

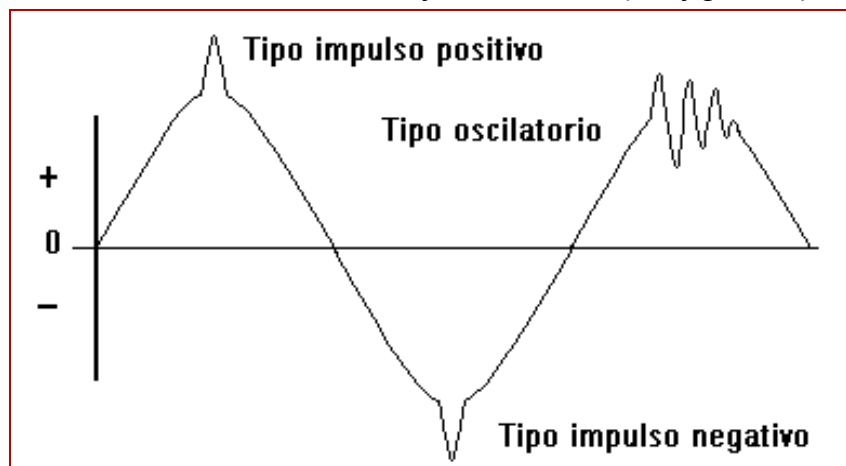


Figura 20. Representación de Transitorio de Impulso y Oscilatorio.

4.1.1 Características.

Son de polaridad positiva o negativa y básicamente pueden ser divididas en dos categorías: tipo impulso y tipo oscilatorio.

4.1.2 Tipos.

➤ Transitorios tipo Impulso:

Este de tipo transitorio es un repentino cambio de frecuencia sin potencia en la condición estable del voltaje, corriente o ambos, que es unidireccional en su polaridad (+ ó -) (primario uno u otro positivo o negativo). Normalmente son caracterizados por sus tiempos de crestas y cola.

Debido a las altas frecuencias involucradas, la forma de este tipo de transitorios puede ser cambiada rápidamente por componentes del circuito, y puede tener características significativamente diferentes cuando se examina el sistema de energía eléctrica a cualquier nivel. Los transitorios de alta frecuencia se observan solo cerca del lugar donde ocurre el

fenómeno, los transitorios tipo impulso poseen duraciones bajo los 50 nano segundos (Ver figura 21 y 22). Estos transitorios pueden excitar la resonancia de los circuitos y producir transitorios de tipo oscilatorios.

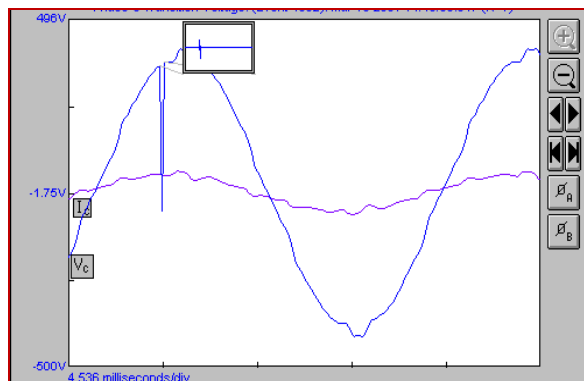


Figura 21. Transitorio de Impulso Sustractivo.

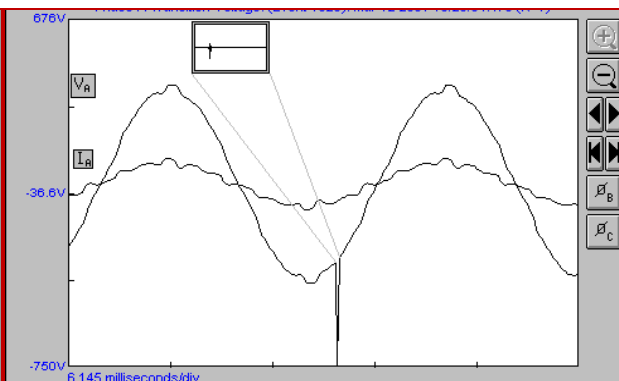


Figura 22. Transitorio de Impulso Aditivo.

➤ **Transitorios tipo oscilatorio.**

Un transitorio tipo oscilatorio consiste en un voltaje o corriente los cuales cambian rápidamente de valor instantáneo en la polaridad (Ver figura 23).

El transitorio tipo oscilatorio con un componente de frecuencia primaria tan grande como 500 KHz y una duración típica medida en microsegundos (o algunos ciclos de la frecuencia fundamental) se consideran como transitorio oscilatorio oscilatorios de alta frecuencia. Estos transitorios son a menudo la respuesta resultante de un sistema local a un transitorio de tipo impulso.

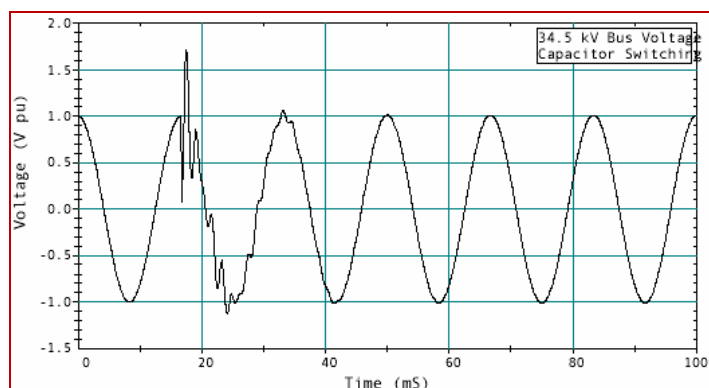


Figura 23. Transitorio de Oscilación.

4.1.3 Causas y efectos.

➤ **Causas y efectos del transitorio tipo impulso.**

Lo más asiduo a causar un transitorio tipo impulso descargas atmosféricas ya sean a tierra o entre nubes, produce campos electromagnéticos que pueden inducir voltajes en los conductores de los circuitos primarios y secundarios (Ver figura 24).

Descargas directas a circuitos de baja tensión, involucran muy altas corrientes y altos voltajes resultantes que pueden exceder la capacidad de soporte de los equipos.

Otra causa de transitorios de impulso es la iluminación, en el encendido.



Figura 24. Imagen de la Caída de un Rayo Cerca de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica Provocando Transitorios Tipo impulso.

➤ **Causas del transitorio tipo oscilatorio.**

Siempre son ocasionados por maniobra de equipos, tales como desconexión de líneas de transmisión, bancos de capacitores; cada uno de ellos tiene un rango de tiempo y de frecuencia característica, tal como se muestra en la tabla 2.

Categoría	Magnitud	Duración Típica
Baja frecuencia	< 5 kHz	0.3 – 50 μ Mseg.
Media frecuencia	5 – 500 kHz	20 μ seg.
Alta frecuencia	0.5 – 5 MHz	5 μ seg.

Tabla 2. Clasificación de los Transitorios Tipo Oscilatorios

Los de baja frecuencia son encontrados en sistemas de subestación, transmisión y distribución, éstos pueden ocurrir por gran variedad de eventos, tales como, energización de bancos de condensadores y de transformadores.

Cuando un pico impacta en un sistema, aun cuando originalmente sea unidireccional, excita las frecuencias naturales de resonancia del sistema, generándose transitorios de diferentes amplitudes y formas de onda, teniendo estos transitorios frecuencias de oscilación que se ubican en el rango de 1 kHz, asociadas a conmutación de capacitores, a 500 kHz causadas principalmente por oscilaciones locales (Ver figura 25).

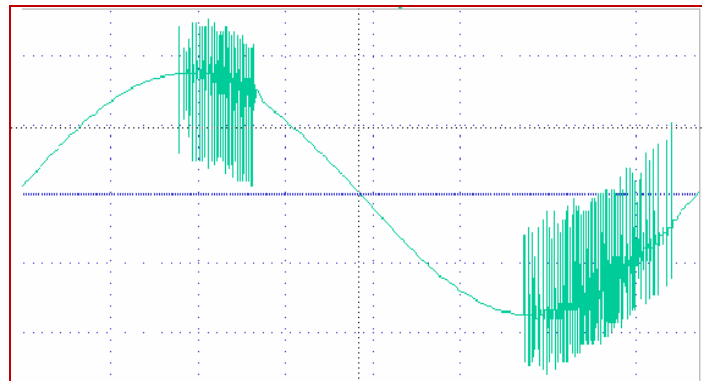


Figura 25. Falla de un Receptor de TV Por Satélite a Causa de Transitorios de Oscilación.

➤ **Efectos que los transitorios pueden causar:**

- *En ambos casos, debido a que involucran cantidades grandes de energía, ya sea corriente o voltaje, su efecto es destructivo.*
- *Los equipos pueden estar sujetos a transitorios cuyos niveles no causan un daño visible u operacional, pero puede estar sucediendo una degradación en sus componentes siendo un punto latente de falla.*
- *Fallas en el procesamiento de información que puede ser recuperado por software o que puede requerir la intervención del personal para restaurar la operación.*
- *Falla del equipo o de sus componentes, requiriendo su reemplazo y ocasionando la indisponibilidad del equipo.*
- *Daño consecuente causado por un equipo que ha sido afectado por un transitorio y que sus errores de procesamiento o daño provocan que otros equipos fallen o queden indispuestos.*
- *La tasa de aumento o la forma como alcanza su valor pico también es una variable importante que afecta a la sensibilidad de los equipos electrónicos.*
- *Los transitorios tipo impulso pueden excitar la frecuencia natural de los circuitos del sistema de potencia y producir oscilaciones transitorias.*

4.2 Caídas de Tensión (Sag o Dip).

4.2.2 Definición.

Es una breve disminución de la tensión efectiva en el valor RMS con una duración menor a un minuto (Ver figura 26 y 27). Son una reducción súbita (entre 10 y 90 %) de la tensión nominal en un punto del sistema y que dura desde 0.5 ciclos hasta varios segundos.

Se dice que ha tenido lugar un Sags de voltaje en un punto de la red eléctrica cuando la tensión de una o más fases cae repentinamente por debajo de un límite establecido (generalmente, el 90%) y se recupera al cabo de un tiempo determinado, que oscila entre los 10 milisegundos y varios segundos.

El Sags comienza desde el momento en que la tensión RMS cae debajo del 0,9 p.u. de la tensión nominal hasta cuando sube de nuevo a 0,9 p.u., según se puede notar en las figuras anteriores. En ambas la escala del tiempo está dada en ciclos. Los huecos de tensión se pueden clasificar de muchas maneras, una de ellas por su duración y esta: los momentáneos, los temporales. No es posible su eliminación total, ni tampoco reducirlos a partir de un cierto límite.

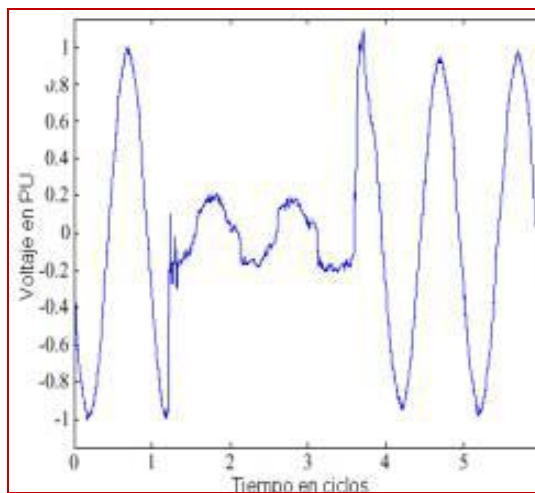


Figura 26. Representación de Una Depresión de Tensión Sag.

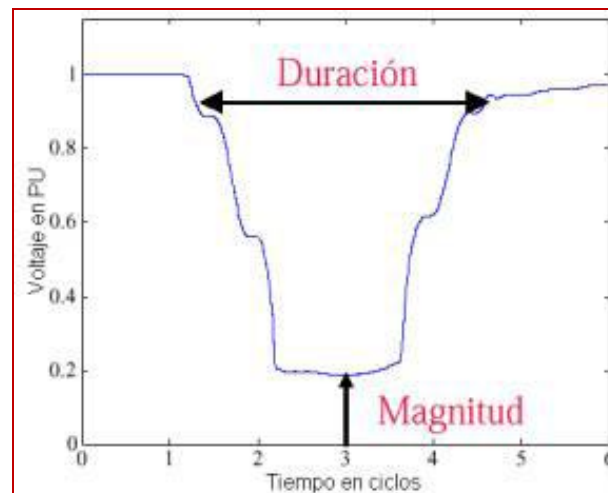


Figura 27. Representación de Una Depresión de Tensión Sag, Donde se Aprecia Mas Claramente.

4.2.2 Causas y efectos.

➤ Causas

Las causas más recurrentes para este tipo de perturbación en la energía eléctrica son:

- *Las causas más típicas de los Sags son las fallas en la red eléctrica o en las instalaciones de los usuarios.*
- *Son causados por fallas en sistemas de potencia o por arranque de cargas muy grandes.*
- *Son causados generalmente por fallas (cortos circuitos) en el sistema de conexión a la energía eléctrica.*
- *También se pueden generar por la demanda de electricidad de los clientes del sistema eléctrico, ya que al superar la demanda a la capacidad del sistema puede producirse este fenómeno.*
- *Pueden ser causadas por operaciones de maniobra asociadas con la desconexión temporal de suministro.*
- *Normalmente son causadas por acciones de la compañía suministradora para aislar fallas.*

Cuando ocurre una falla en el sistema eléctrico, los interruptores y reconectores son los equipos destinados a reconectar el sistema después de extinguida la falla, sus tiempos de acción están dentro de 5 segundos, pero cuando estos equipos intentan un recierre después de una falla y ésta no ha sido despejada, están presentes y se inyectan al sistema estos huecos en la tensión.

➤ **Efectos**

El efecto más común asociado a los Sags es la parada de equipos. En muchas industrias con cargas críticas, este tipo de perturbación de corta duración puede causar paradas del proceso que requieren horas para poder ser reiniciado.

Los Sags de tensión pueden provocar el fallo de procesos sensibles y ello puede resultar extremadamente caro. Este tipo de fluctuación afecta a: procesos de extrusión, fabricación de piezas de silicona, tratamiento de datos y procesos químicos y de fabricación de papel. Algunos Sags afectan sólo a una o a dos fases del circuito trifásico

En los Sistemas de control: El control electrónico de procesos actúa en tiempo real. Por consiguiente, los Sag's de voltaje pueden inducir en ellos órdenes erróneas que alteren el funcionamiento de estos sistemas.

En los Computadores Industriales: Tanto los computadores que realizan funciones administrativas, como los de vigilancia y control de procesos industriales, son sensibles a los Sags de voltaje, que pueden ocasionar en ellos pérdidas de información o interpretaciones erróneas de órdenes.

La influencia del Sags va a depender de:

- El nivel de la caída de la tensión.
- La duración del hueco.
- La distancia donde se origina la perturbación.
- La sensibilidad del equipo a los huecos.

En los equipos de iluminación incandescentes el efecto es una reducción visible de la iluminación. En los equipos de iluminación con dispositivo electrónico, si el valor del Sags supera el nivel de tensión mínimo de funcionamiento, éste se apagará. En el caso de los motores de inducción puede producirse un ligero cambio de la velocidad.

4.3 Sobre Tensiones (Swell).

4.3.1 Definición.

Un Swells es un aumento del valor eficaz (RMS) de voltaje entre un 10 y un 80 % del valor de tensión nominal a la frecuencia fundamental de la red de distribución, con una duración entre medio ciclo y un minuto. Algunos técnicos utilizan el término sobrevoltaje momentáneo como un sinónimo del término Swells. Los aumentos de voltaje de corta duración (Swells) también se presentan en las redes eléctricas aunque con una menor frecuencia que los Sags. Las magnitudes típicas están entre 1,1 y 1,8 p.u. Los Swells se caracterizan por tener un valor RMS y un tiempo de duración, como se ilustra en la ilustración (Ver figura 28). Como con los Sags, los Swells se asocian comúnmente con las condiciones de falla del sistema, pero estos no son tan comunes como los Sags.

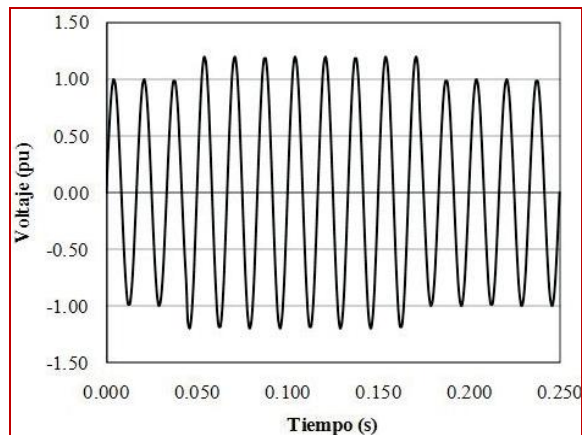


Figura 28. Swell de Voltaje en el Dominio del Tiempo.

4.3.2 Causas y efectos.

➤ Causas

Es un incremento del voltaje de varios ciclos de duración, ocasionado 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. También aparecen cuando los sistemas rechazan carga.

Así como los Sag's, los Swells están usualmente asociados a condiciones de fallas monofásicas en el sistema, energización de bancos de condensadores o de transformadores, incrementando el valor del voltaje en las fases sin falla. Estos se presentan especialmente en sistemas sin puesta a tierra o sistemas en delta o con neutro flotante, donde el cambio súbito en la referencia de la tierra resulta en un incremento de la tensión en las fases sin contacto con tierra. En un sistema sin puesta a tierra, las tensiones de línea a tierra en las fases podrían alcanzar un valor 1.73 p.u. durante la condición de falla simple de línea a tierra. Cerca de la subestación, en un sistema con puesta a tierra no debe presentarse un incremento de tensión, puesto que generalmente los transformadores de las subestaciones están conectados en delta-estrella, proporcionando un camino de baja impedancia para la corriente de falla. Una forma de los Swells puede ocurrir desde una subida de voltaje temporal durante una falla de una fase durante una falla de línea a tierra.

Por otra parte, los Swells también pueden ser generados por una disminución súbita de la carga. La interrupción abrupta de la corriente puede generar un voltaje considerable, por la fórmula:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

Donde:

L = Es la inductancia de la línea.

$\frac{di}{dt}$ = Es el cambio en el flujo de la corriente.

Energizar un gran banco de condensadores también puede causar un Swell, aunque es más frecuente que origine un transitorio tipo oscilatorio.

➤ Efectos

Los efectos de un Swell frecuentemente son más destructivos que los de un Sag. La condición de sobrevoltaje puede causar el daño en los componentes de los equipos de la red de distribución, aunque el efecto puede ser un gradual efecto acumulativo.

El incremento en el rendimiento de la iluminación incandescente puede ser perceptible si la duración del fenómeno es más larga de tres ciclos, así en general, el efecto de este fenómeno en los equipos está relacionado según la duración y magnitud (%) en el cual el voltaje excede la tensión nominal.

Los incrementos en la tensión también pueden ocasionar trastornos en los controles y controladores de estado sólido de motores, particularmente en variadores de velocidad, los cuales pueden interrumpir su operación al accionarse la protección de sus circuitos electrónicos. También pueden someter a esfuerzos dieléctricos a los componentes de computadoras y acortar su vida útil.

La severidad del un Swell de voltaje durante una condición de falla está en función de la localización de la falla, impedancia del sistema y como esta aterrizado. Para minimizar los efectos adversos producidos por este tipo de fenómenos se utilizan supresores de transitorios y UPS's.

4.4 Interrupciones.

4.4.1 Definición.

Se define una interrupción como la pérdida completa de la tensión ($< 0.1pu$) en una o más fases en un tiempo determinado (Ver figura 29 y 30). Comisión Internacional de Electromecánica (IEC) define una interrupción del suministro como una caída de voltaje por debajo del 1% del voltaje declarado. El Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE) define este término como una caída en el voltaje declarado por debajo del 10% de su valor nominal. Las interrupciones ocurren cuando la tensión suministrada o la corriente de carga decrecen a menos de 0.1 en p.u., en una o varias fases por un período que no exceda el minuto. Pueden ser momentáneas, temporales o sostenidas. Es importante destacar la diferencia entre una interrupción y un Sag, una interrupción es la pérdida completa del voltaje (menos del 10% del nominal) mientras que un Sag puede disminuir hasta un 90% del voltaje nominal (debe haber entre 10 y 90% del nominal) pero no ocurre la pérdida total de la tensión.

Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal. El tiempo de restablecimiento varía desde unos cuantos ciclos hasta varias horas dependiendo del origen de la falla. Para una Computadora una interrupción mayor a 8.33 mseg puede ser crucial en su operación normal.

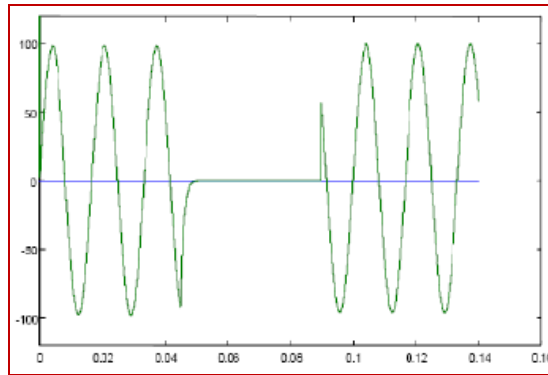


Figura 29. Representación de Una Interrupción de la Onda de Energía Eléctrica.

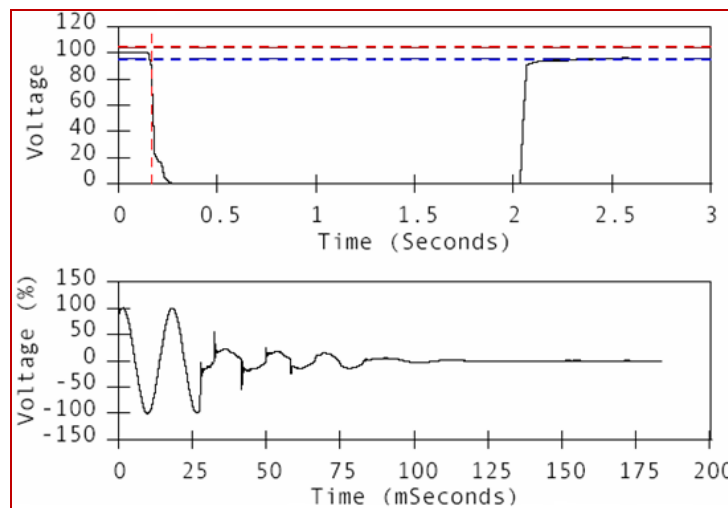


Figura 30. Medición de Una Interrupción.

Una clasificación de las interrupciones puede ser dividida basándose en su duración.

- **Interrupciones:** La pérdida completa de la alimentación de tensión. Por lo menos durante 0.5 ciclos.
- **Interrupción momentánea:** La pérdida completa de la alimentación de tensión. Por lo menos entre 8 mseg y 3 seg.
- **Interrupción temporal:** La pérdida completa de la alimentación de tensión. Una interrupción con duración de 3 seg a 1 minuto.
- **Interrupción sostenida (Salida):** La pérdida completa de la alimentación de tensión. Una interrupción mayor a 1 minuto.

4.4.2 Causas y efectos.

➤ **Causas**

Las interrupciones momentáneas son frecuentemente debidas a las prácticas automáticas de recierre (reclosing) de circuitos, las cuales son empleadas para despejar las fallas temporales en el sistema de potencia. Con el recierre automático de circuitos, una línea o circuito de distribución fallado es desenergizado por un período corto de tiempo (usualmente llamado “tiempo muerto”) y luego es energizado nuevamente. Cuando el tiempo muerto es tan rápido como el permitido por el equipo de recierre, se le denomina operación de “recloser” instantánea y usualmente implica tiempos muertos menores a 1 segundo. Se puede notar que en algunos casos el empleo de tiempos muertos suficientemente largos podría causar interrupciones temporales y no momentáneas. Otras causas de interrupciones momentáneas incluyen los switches de transferencia automática (transfiriendo carga de una fuente a otra), conexiones intermitentes pobres y fallas adyacentes a la carga que disminuye la tensión a menos de 0.1 p.u.

Las interrupciones de energía son eventos de voltaje cero que pueden ser causados por efectos del clima, desperfecto en el equipo, operaciones de recierre o problemas de transmisión. Las interrupciones pueden ocurrir en una o más fases y generalmente son eventos de corta duración, la gran mayoría de interrupciones de energía son de menos de 30 segundos. Otras causas de interrupciones pueden ser causadas por fallas en el sistema, en el equipo o funcionamiento incorrecto de los controles. Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control, como también a aperturas de líneas, daño de transformadores, operación de fusibles o equipos de protección de la red, entre otras posibilidades. También se consideran interrupciones de energía aquellas que duran milisegundos.

➤ **Efectos**

El problema más crítico asociado a interrupciones, depresiones y alzas de tensión, es el apagado de equipos. En varias industrias de procesos con cargas críticas, los fenómenos instantáneos pueden producir apagones, requiriendo horas para arrancar de nuevo. La revisión es importante, porque frecuentemente es difícil determinar en los efectos observables, cuál perturbación causa la falla. Las interrupciones instantáneas pueden afectar equipos electrónicos y de iluminación, causando mala operación o apagones. Tales equipos incluyen operadores electrónicos, computadoras y controles de máquinas rotatorias. Las computadoras son las más afectadas ya que al restablecerse el suministro de energía algunas veces pierden información almacenada, o bien, es necesario volverlas a programar.

4.5 Variaciones de tensión de larga duración.

4.5.1 Definición

Son aquellas desviaciones del valor RMS de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto (Ver figura 31). Las variaciones de larga duración pueden ser tanto interrupciones sostenidas, sobretensiones como bajadas de tensión. Tanto unas como otras no son generalmente producidas por fallos. Están son producidas por variaciones en la carga o por operaciones de conmutación en el sistema.

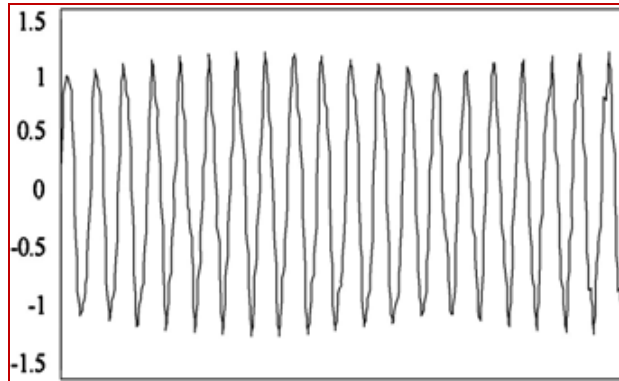


Figura 31. Variación de Tensión De Larga Duración.

La norma American National Standards Institute (ANSI) C84.1 especifica las tolerancias en la tensión de estado estable en un sistema de potencia (Ver tabla 3). Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando excede el límite de la ANSI por más de un minuto. Debe prestarse atención a los valores fuera de estos rangos.

120	126 – 114	127 – 110
208	218 – 197	220 – 191
240	252 – 228	254 – 220
277	291 – 263	293 – 254
480	504 – 456	508 – 440
2.400	2.525 – 2.340	2.540 – 2.280
4.160	4.370 – 4.050	4.400 – 3.950
4.800	5.040 – 4.680	5.080 – 4.560
13.800	14.490 – 13.460	14.520 – 13.110
34.500	36.230 – 33.640	36.510 – 32.780

Tabla 3. Tolerancia Para Las Tensiones de Acuerdo A La Norma ANSI.

4.5.2 Tipos.

➤ **Sobre tensión**

Es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. Los valores típicos varían entre 1.1 y 1.2 p.u. Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

➤ **Sub tensión**

Se entiende por **sub tensión** la reducción en el valor R.M.S. de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. Los valores típicos varían entre 0.8 y 0.9 p.u y son el resultado de eventos inversos a los que causan sobre tensiones. Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

➤ **Interrupciones Sostenidas.**

Una interrupción sostenida es la pérdida completa de la tensión, usualmente con duración desde 1 minuto hasta varias horas, o días. Algunas pueden ser clasificadas como temporales o permanentes, típicamente en estos casos se puede requerir intervención de cuadrillas de reparación para restaurar el servicio. Las interrupciones prolongadas son el tipo de perturbación más fácil de reconocer. Por otra parte, la interrupción forzada es aquella que resulta de la asociación directa de las condiciones de un componente que requiera ser puesto fuera de servicio inmediatamente, incluso automáticamente o aquella que puede ser causada por error humano.

4.5.3 Causas y efectos.

➤ **Causas**

- **Causas de variación de tensión por sobre tensión.**

Las sobre tensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores.

La incorrecta selección del TAP en los transformadores ocasiona sobretensión en el sistema.

Las sobre tensiones ocurren usualmente como resultado de prácticas de regulación inapropiadas: ajustes incorrectos de reguladores y condensadores.

- **Causas de variación de tensión por sub tensión.**

El energizar grandes cargas, o desactivar bancos de condensadores, puede causar una baja de tensión mientras que los equipos de regulación proporcionan un nivel aceptable. Los circuitos sobrecargados también pueden resultar en caídas de tensión.

La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo.

La sobretensión y la baja tensión generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comúnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión.

- **Causas de variación de tensión por interrupciones sostenidas.**

Se presentan ordinariamente como resultado de fallas eléctricas permanentes. Las empresas de servicio de energía eléctrica diseñan los sistemas de distribución eléctrica tomando en cuenta la manera de aislar las fallas permanentes y las consecuentes interrupciones para dejar el menor impacto posible.

- **Efectos de las variaciones de tensión de larga duración.**

Las variaciones de tensión de larga duración también pueden producir problemas en los equipos. Así, las interrupciones sostenidas producen la desconexión de los equipos, salvo que estos estén protegidos por sistemas de alimentación ininterrumpida o por otros dispositivos de almacenamiento de energía.

Las sobre tensiones y sub tensiones de duración mayor al minuto pueden causar problemas, aunque son menos propensas a ocurrir en alimentadores, ya que las empresas distribuidoras tratan de regular la tensión en el peor de los casos en más o menos un 10%, sin embargo, pueden ocurrir por alimentadores sobrecargados, ajustes incorrectos de cambiadores de toma en transformadores, fusibles fundidos en bancos de condensadores, y bancos de compensación reactiva en servicio bajo condiciones de carga.

Las sub tensiones también producen el mal funcionamiento de los equipos. Los controladores de los motores eléctricos pueden producir la desconexión durante una bajada de tensión. Los computadores y los controladores electrónicos se pueden desconectar durante una bajada de tensión. La salida de los bancos de condensadores se reduce en condiciones de bajada de tensión, ya que su magnitud es proporcional al cuadrado de la tensión aplicada. También se puede reducir la luminosidad de algunos dispositivos de iluminación en las condiciones de bajada de tensión. Por último, las sub tensiones no afectan en su funcionamiento a equipos como transformadores, cables, buses, transformadores de medida de tensión y de corriente, dispositivos de medida o transductores.

4.6 Curva ITIC (CBEMA).

La forma recomendada de representar la relación entre las características de funcionamiento de un equipo frente a las variaciones en la tensión de suministro de energía eléctrica, es la utilización de las que se conocen como curvas de tolerancia, como son la curva ITIC (CBEMA). Estas curvas, que también se conocen como “power acceptability curves”, representan la variación de la tensión en una línea, estas curvas dividen el plano desviación de tensión - duración de la desviación en dos regiones denominadas: potencia aceptable y potencia no aceptable.

El origen de la curva CBEMA data de 1977 cuando la “Computer and Business Equipment Manufactures Association’s (Por sus siglas en inglés CBEMA), la construyo a partir de datos experimentales y de datos históricos obtenidos de grandes computadoras (Ver figura 32).

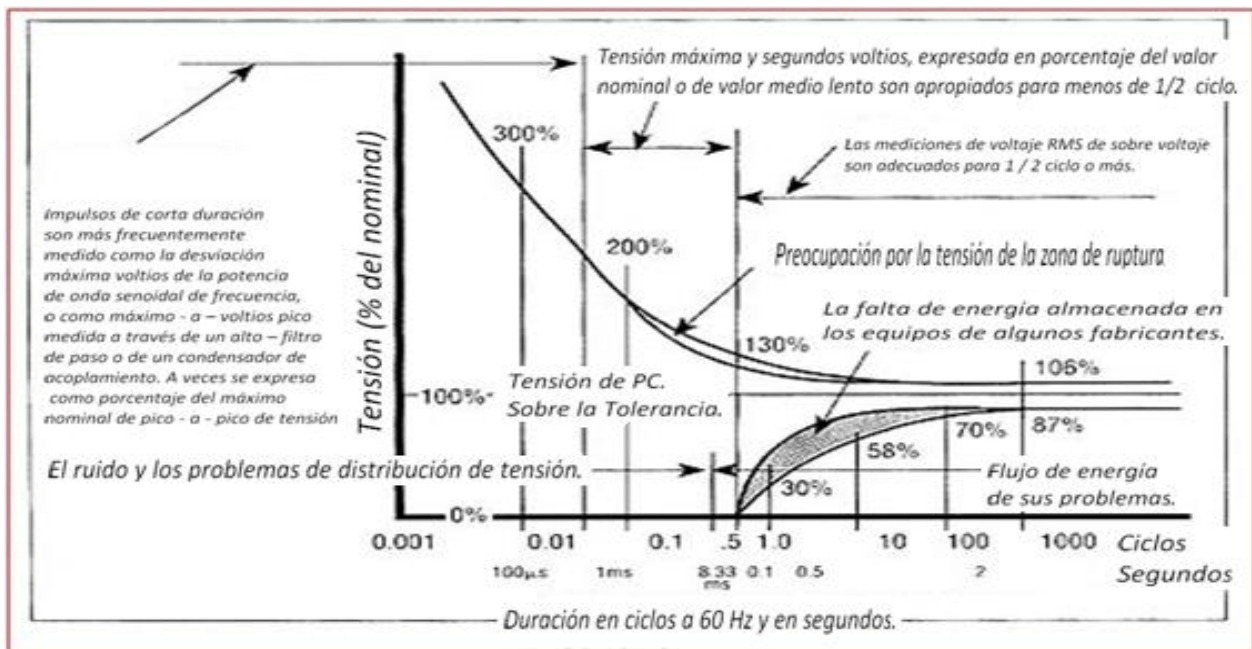


Figura 32. Curva CBEMA Original Publicada en el Año de 1977.

Estudios posteriores sobre la calidad de la energía eléctrica pusieron de manifiesto que había un gran número de eventos en la tensión de alimentación (huecos de tensión fundamentalmente) que no estaban incluidos dentro de la zona aceptable definida por la curva CBEMA. Esto llevó a una revisión de la curva CBEMA que incluyó unos requerimientos más estrictos para definir la zona de aceptabilidad. Esta información fue revisada por el Consejo Tecnológico de Industrias de Informática (ITIC) en 1996 y ahora se le conoce como la curva ITIC (Ver figura 33). Una

herramienta necesaria para determinar los límites inmunes para los equipos electrónicos de oficinas modernos. Niveles de tensión y su duración sobre los terminales de los equipos, dentro de una envoltura tolerable, representa una energía entregada aceptable.



Figura 33. Curva ITIC (CBEMA)

En esta curva se refleja la sensibilidad de los equipos electrónicos a los diferentes tipos de perturbaciones definidos por la IEEE 1159 -1995, es definida por la organización "Information Technology Industry Country", mediante la curva llama "ITIC" por las siglas de la organización.

La gráfica CBEMA/ITIC nos permite conocer los rangos de tensión que puede soportar cualquier equipo monofásico de 120 V. Podemos observar que existe una zona envolvente donde los equipos pueden funcionar normalmente y se le denomina Región de "No interrupción o de Tolerancia". Esta región se va haciendo más estrecha conforme la duración del evento se va haciendo mayor hasta llegar a un "Estado Estable" o de funcionamiento constante.

Según la American National Standards Institute (ANSI), los equipos del tipo industrial están diseñados para soportar variaciones de tensión de 10% en estado estable, mientras que los equipos de oficina, de cómputo y del hogar soportan variaciones de tensión de 5% o menores.

La curva nos muestra claramente dos regiones no deseadas o regiones que significan una interrupción en el servicio (Ver figura 34). El área denominada Región Prohibida quiere decir que un evento que cae en dicha zona causará un daño serio al equipo conectado. La Región "No dañina" quiere decir que un evento que se localice en esta área de la curva causará una interrupción del servicio, pero no un daño a la fuente de poder del equipo. Sin embargo, las dos zonas son indeseables, ya que a pesar de que la Región "No dañina" no causa un daño físico al equipo, sí puede tener consecuencias fatales y costosas, como la pérdida de información, un disco duro "aterrizado" y daños serios al sistema operativo.

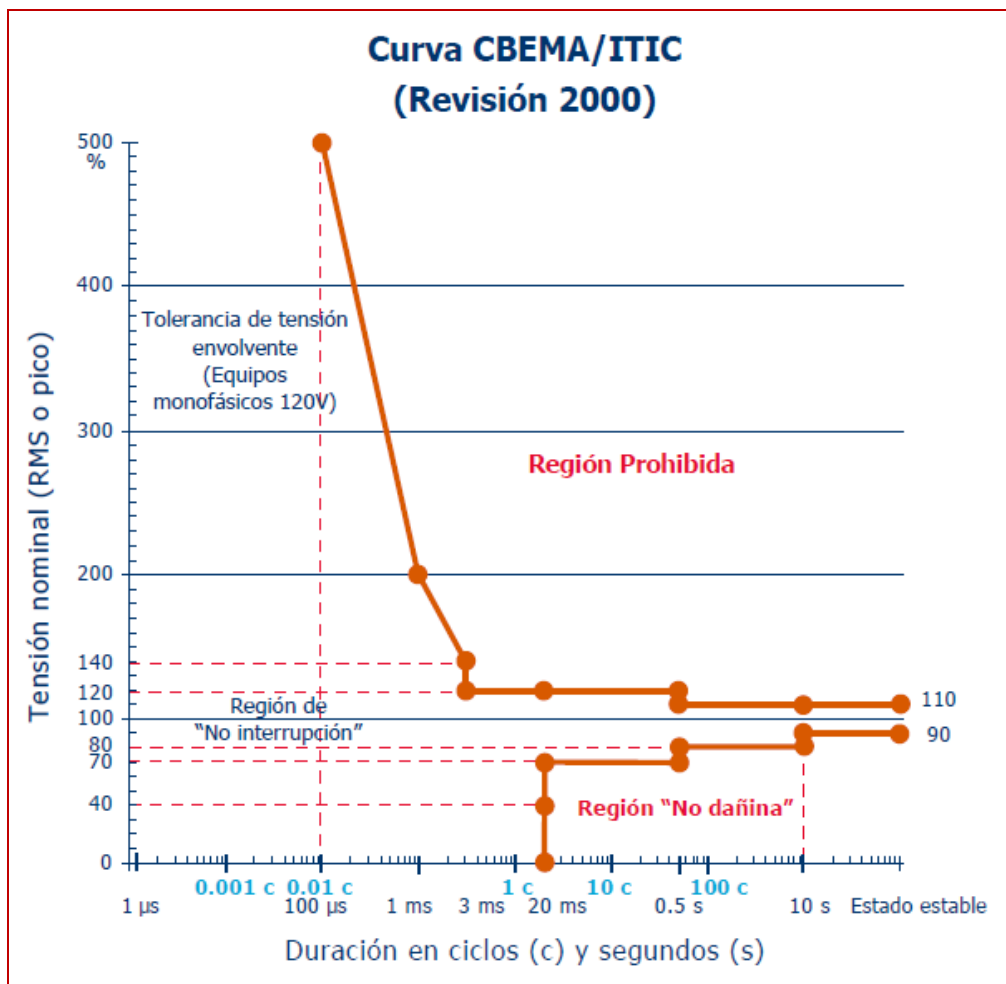


Figura 34. Curva "ITIC" y la Caracterización De Las Perturbaciones de Tensión Según la IEEE 1159.

4.7 Armónicas.

4.7.1 Definición.

Significa que la forma de onda de la tensión o corriente no es una senoidal pura, esto resulta de la adición de una o más ondas sinusoidales periódicas, que cuentan con frecuencias múltiplos de la fundamental 60 Hz y que se superponen a la anterior distorsionándola (Ver figura 35).

Las señales armónicas pueden ser descompuestas a través del análisis de Fourier en una onda senoidal perfecta a frecuencia fundamental más otras similares a frecuencias que son múltiplos de la fundamental.

Esto es, en sistemas eléctricos donde la frecuencia fundamental es de 60 Hz, la frecuencia de una señal senoidal armónica se encuentra definida por:

$$f_{arm} = n \times 60 \text{ Hz donde } n \text{ es un número entero y consecutivo.}$$

De la expresión anterior se puede definir que la frecuencia de una segunda armónica es 120 Hz, de una tercera es 180 Hz, de una quinta es 300 Hz, y así sucesivamente.

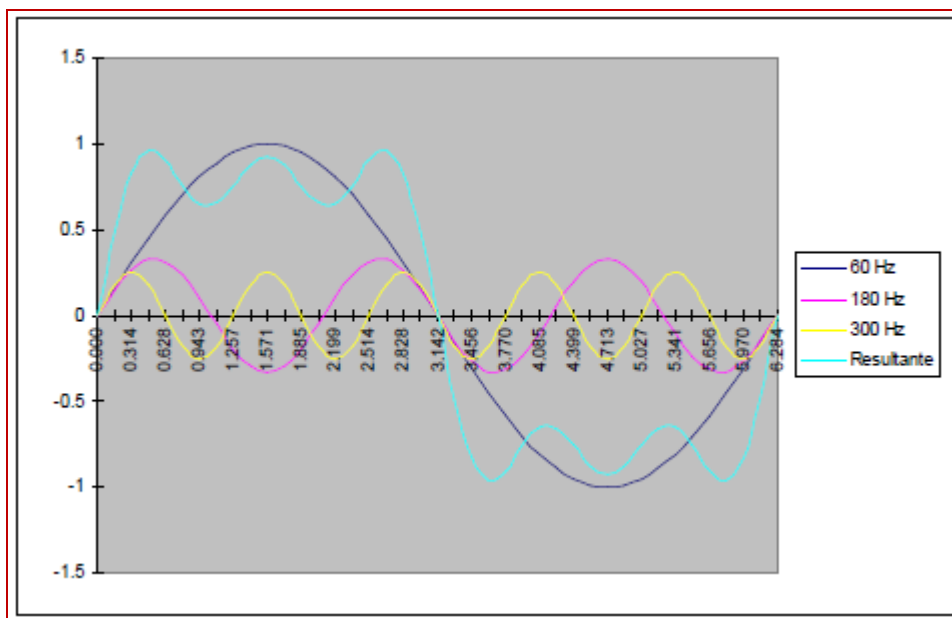


Figura 35. Representación de una onda ideal con la distorsión armónica.

4.7.2 Fuentes de armónicas.

En nuestros días, el origen del problema de la distorsión armónica constituye un problema creciente debido al uso masivo de cargas no lineales (fuentes de armónicas) en las redes eléctricas.

Las cargas no lineales se pueden clasificar en tres categorías principales (Ver figura 36):

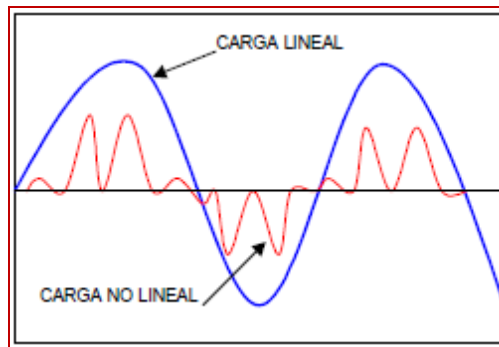


Figura 36. Representación de carga lineal y carga no lineales.

➤ **Electrónica de Potencia.**

Bajo esta clasificación se incluyen los rectificadores, los variadores de velocidad, las fuentes ininterrumpibles de energía y los inversores. Además de ser actualmente la fuente más significativa de corrientes armónicas, tales equipos son muy sensibles a la distorsión de la forma de onda del voltaje.

➤ **Dispositivos Ferromagnéticos.**

En esta clase se agrupan dispositivos como los transformadores, los cuales generan armónicas si la tensión aplicada es superior a la nominal del transformador, a causa del incremento en la corriente de magnetización y a la saturación del núcleo magnético.

➤ **Dispositivos de Arco Eléctrico.**

Elementos tales como los hornos de arco generan grandes cantidades de corrientes armónicas en virtud de las características no lineales del arco. No obstante, la iluminación fluorescente presenta prácticamente las mismas características y es de un uso más extenso.

➤ **Otras Fuentes de Armónicos.**

Entre otras fuentes están las cargas que trabajan mediante arcos eléctricos (soldadores, hornos de arco, etc.) Como fuente futura puede estar la carga de batería de los vehículos eléctricos y su posible masificación exigirá de grandes cantidades de potencia en corriente continua, lo cual supone incremento en el número de equipos contaminantes.

4.7.3 Efectos.

Los impactos más significativos generados por las distorsiones en las ondas de tensión y corriente, son los registros incorrectos en equipos de control y monitoreo, así como las pérdidas adicionales debidas al calentamiento. Estos efectos se acentúan como resultado de situaciones de resonancia serie o paralelo. Si la fuente de potencia del sistema es un dispositivo estático aislado, contribuirá al contenido armónico. El efecto de una o más fuentes armónicas sobre un sistema de potencia dependerá principalmente de las características de respuesta en frecuencia del sistema. Las cargas no lineales pueden ser representadas generalmente como fuentes de corrientes armónicas. Por consiguiente, la distorsión armónica de tensión en los sistemas de potencia dependerá de las características de impedancia versus frecuencia tal como son vistas por estas fuentes de corriente.

La distorsión armónica incrementa las pérdidas y la temperatura de prácticamente todas las componentes de las redes eléctricas. El efecto neto es el incremento en los valores RMS del voltaje y la corriente, pero sin el desarrollo de trabajo útil alguno.

Los efectos que producen las armónicas en una instalación pueden resumirse en:

- *Problemas de funcionamiento en dispositivos de regulación, tanto de potencia como de control.*
- *Mal funcionamiento de los dispositivos de protección y medición.*
- *Interferencia en sistemas de telecomunicación y telemando.*
- *Sobrecalentamiento de los equipos eléctricos (motores, transformadores, generadores, etc.) y el cableado de potencia, con la disminución consecuente de vida media en los mismos e incremento considerable de pérdidas de energía en forma de calor.*
- *Daño a tarjetas electrónicas.*
- *Efectos de resonancia que amplifican los problemas anteriores.*
- *Daños irreparables a bancos de capacitores.*

4.7.4 Distorsión armónica de cargas típicas.

Bombillos de Alta Eficiencia: *Para un bombillo de alta eficiencia de 20 W, 120V, puede generar un THDi = 77,6% (Ver figura 37).*

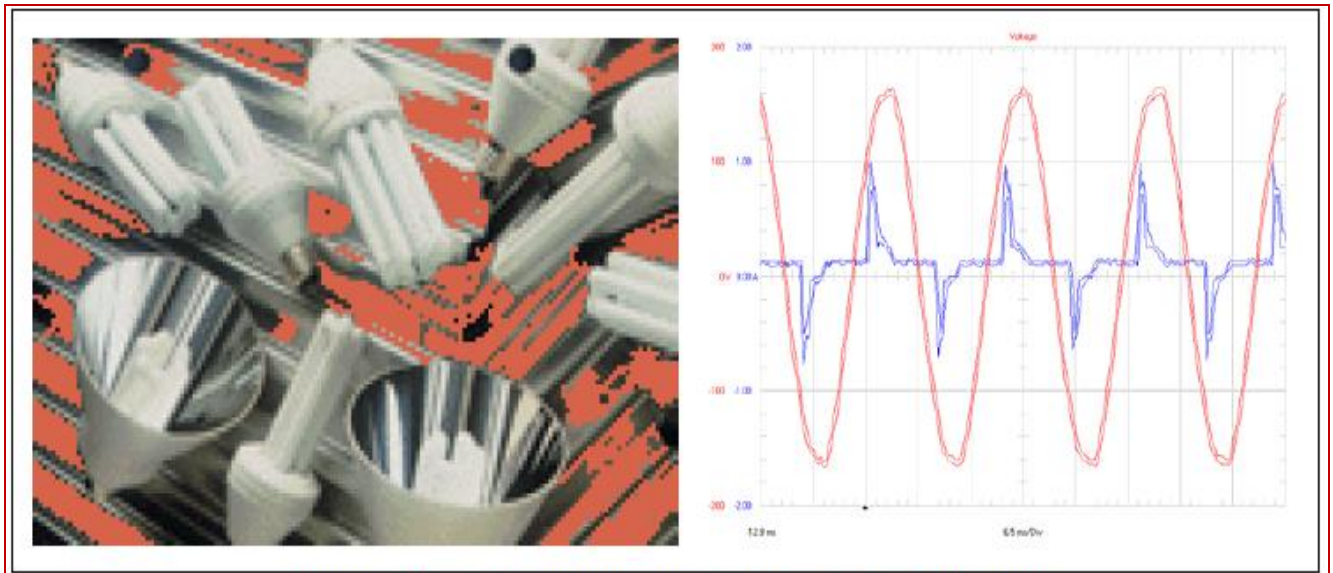


Figura 37. Niveles de armónicos de corriente de bombillas de alta eficiencia.

Computador Personal (PC): Un computador personal (CPU) puede consumir 1,13 Amp (RMS) el cual puede producir un THDi = 67,9% (Ver figura 38).

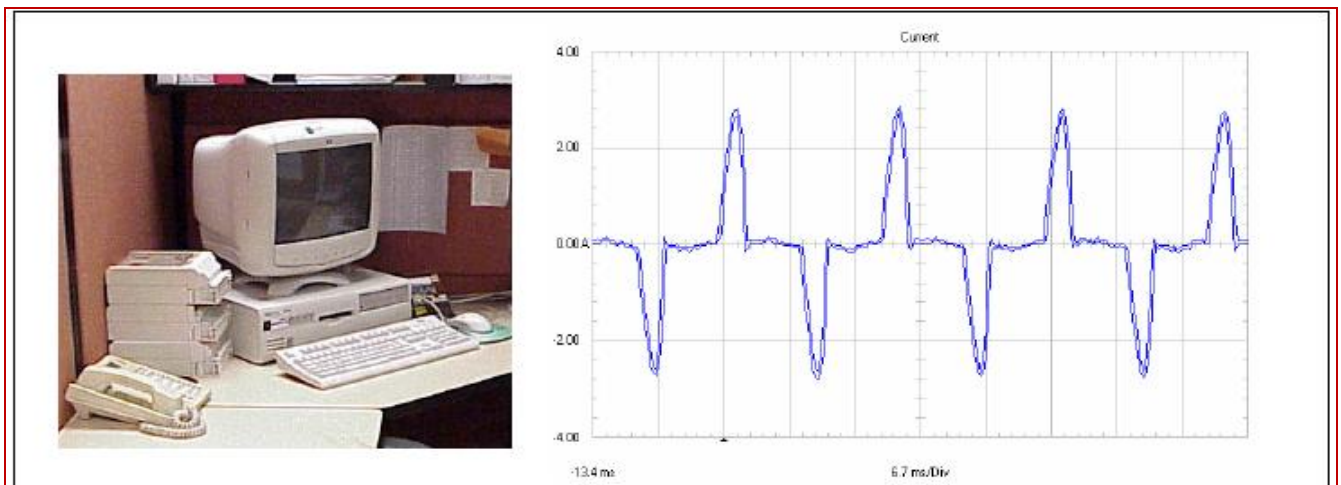


Figura 38. Niveles de armónicos de corriente de computadoras personales.

Convertidor de Frecuencia AC-AC de 6 pulsos: Un convertidor de frecuencia de 6 pulsos, de amplio uso por la industria petrolera como una opción más eficiente que los balancines para la extracción de crudo en pozos, puede producir un nivel típico de THDi = 32% (Ver figura 39).

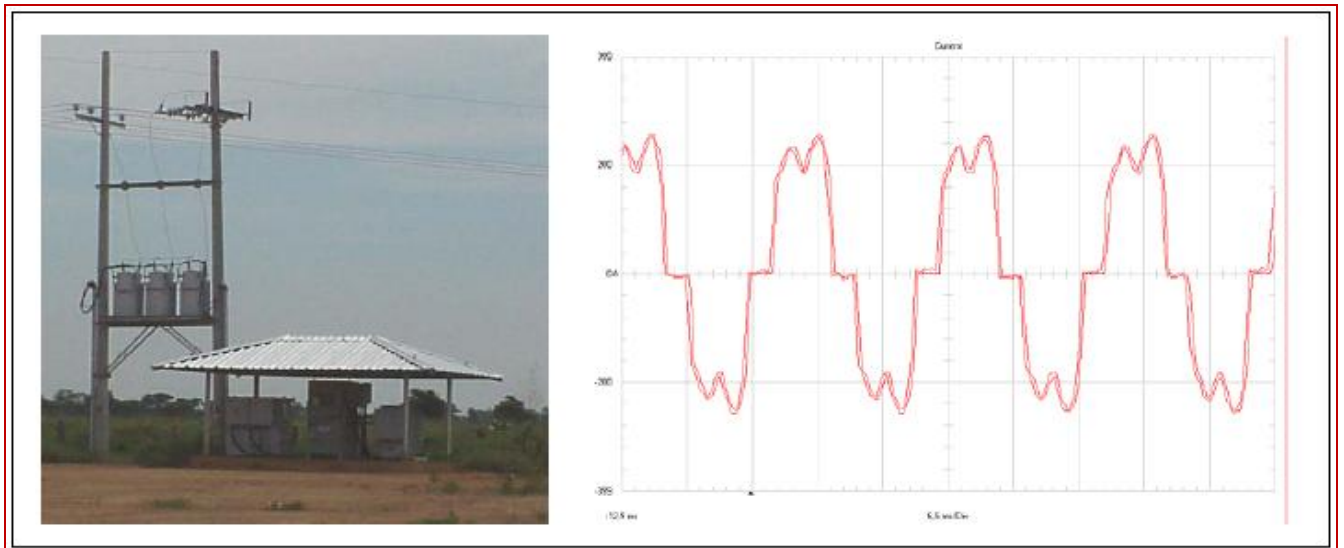


Figura 39. Niveles de armónicas de corriente en convertidores AC-AC de seis pulsos.

Hornos de Arco Eléctrico: La operación de los hornos de arco introduce severas perturbaciones en el sistema eléctrico de potencia, estas perturbaciones son de dos tipos, variaciones de tensión por discontinuidades de la potencia suministrada por el horno y contaminación armónica producto de la no linealidad entre la tensión y la corriente del arco, la cual se propaga a todos los puntos de la red eléctrica.

En la imagen (Ver figura 40), se ilustra el contenido de armónico típico de corriente de un horno de arco para la producción de acero en dos fases del ciclo de fundición.

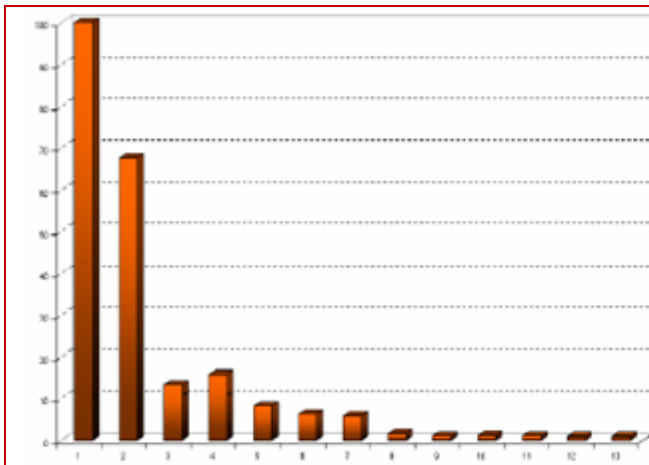


Figura V-26. Espectro de Armónicos de Corriente en un Horno de Arco de 18 MVA.

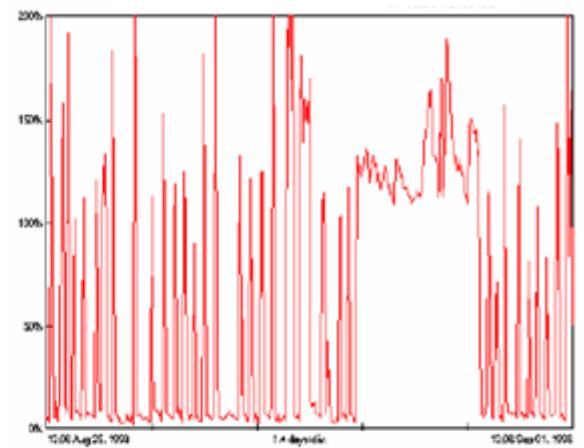


Figura V-27. THDi en un Horno de Arco de 18 MVA.

Figura 40. Niveles de armónicas de corriente de arco eléctrico.

Resumen de otras cargas: En la siguiente grafica se ilustra los niveles de armónicas con su respectiva grafica de diferentes cargas no lineales (Ver tabla 4).

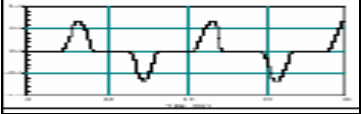
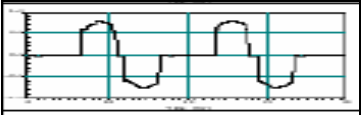
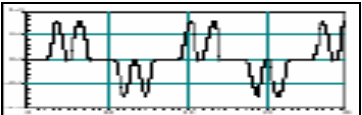
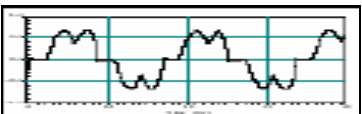
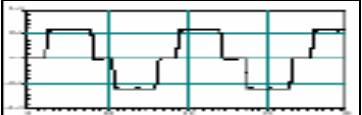
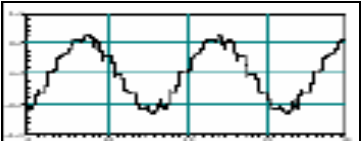
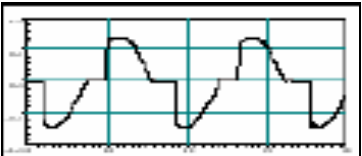
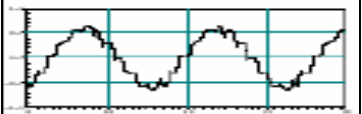
Tipo de carga	Onda típica	Distorsión de corriente
<i>Equipo monofásico Ejemplo: Computadoras.</i>		80%
<i>Semiconvertidores.</i>		Valores altos de segundo, tercer y cuarto grado.
<i>Convertidores de 6 pulsos sin inductancia en serie.</i>		80%
<i>Convertidores de 6 pulsos con inductancia > a 3% en serie.</i>		40%
<i>Convertidores de 6 pulsos con inductancia grande.</i>		20%
<i>Convertidores de 12 pulsos.</i>		15%
<i>Regulador de tensión AC.</i>		Varía con el ángulo de disparo.
<i>Luminaria fluorescente.</i>		20%

Tabla 4. Niveles de armónicas de corriente de diferentes cargas no lineales.

4.7.5 Secuencia de las armónicas: En la siguiente grafica se realiza una secuencia de armónicas (Ver tabla 5).

Armónica	Frecuencia (Hz)	Secuencia
0 (DC)	0	
1 (Fundamental)	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	0
10	600	+
11	660	-

Tabla 5. Secuencia de armónicas.

4.7.6 El Factor de potencia.

Denominamos Factor de Potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el seno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la onda sinusoidal es pura.

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principal de equipos de refrigeración, motores etcétera. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia reactiva (KVAR) las cuales en su conjunto determinan el funcionamiento operacional de dichos equipos y motores.

Se define como el coseno del ángulo que forman la potencia aparente (P_a) y la potencia real (P_o) (Ver figura 41).

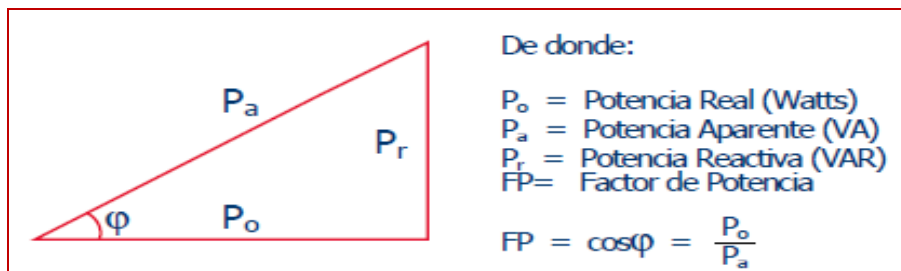


Figura 41. Triángulo de potencias.

Tomando como ejemplo el siguiente caso, tenemos que:

$$P_a = 1000 \text{ VA}; \quad P_o = 700 \text{ W}$$

por lo tanto, F.P. = $\frac{700}{1000} = 0,7$;

$$\varphi = \text{arc.cos} \frac{700}{1000} = 45,6^\circ$$

La relación de fase entre la tensión y la corriente es como se muestra a continuación (Ver figura 42).

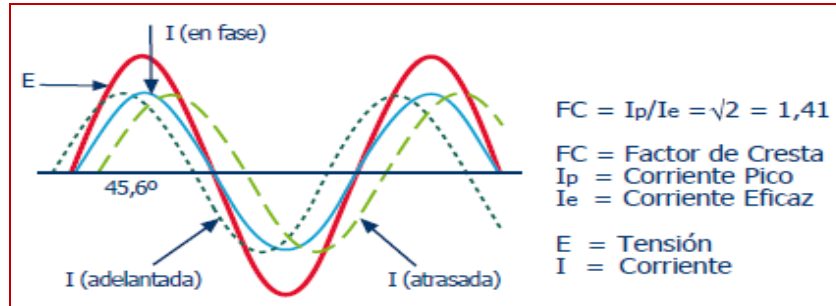


Figura 42. Relación de voltaje versus corriente para una carga lineal reactiva.

4.7.7 Importancia del factor de potencia.

El factor de potencia de una instalación puede definirse como el grado de eficiencia con el que se utiliza la energía eléctrica de un inmueble, a mayores valores de FP los niveles de pérdidas por efecto Joule son menores y por lo tanto se obtiene un alto beneficio en el uso de la energía.

La compañía suministradora de energía, aplica diferentes cargos por el uso de la energía y en caso específico, se destacan los siguientes aspectos:

1. Consumo de energía (En horarios base, intermedio y punta).
2. Demanda máxima (En horarios base, intermedio y punta). De estos valores se obtiene la demanda facturable.
3. Cargo o bonificación por factor de potencia.

En el caso del factor de potencia existe un límite mínimo el cual los consumidores de energía tienen que cumplir para evitar penalizaciones y este valor es 90%.

La compañía suministradora de energía eléctrica penaliza a todos aquellos usuarios que cuenten con factores de potencia menores a 90%, aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Penalización por bajo FP} = (\text{Facturación}) \left(\frac{3}{5}\right) \left[\left(\frac{90}{FP}\right) - 1\right]$$

Donde:

Facturación: Es la suma de todos los cargos antes de IVA.

FP: Factor de potencia real medido mensualmente.

Ejemplo: Suponiendo una instalación que cuenta con un factor de potencia de 0.80 y con una facturación mensual de \$ 30,000.00 (antes de IVA) pagaría un extra del 7.5%, que correspondería a \$ 2,250.00 mensuales.

Si por el contrario el mismo usuario contará con un factor de potencia mayor de 90, por ejemplo 96 obtendría un beneficio económico que calcula por medio de:

$$\text{Bonificación por un FP mayor a 90} = (\text{Facturación}) \left(\frac{1}{4}\right) \left[1 - \left(\frac{90}{FP}\right)\right]$$

El beneficio en este caso sería de 1.5%, que correspondería a \$ 450.00 mensuales, si pensamos que este usuario paso de 80 a 96 del factor de potencia entonces tendría un beneficio económico total mensual de \$ 2,700.00 mensuales, es decir, no tan sólo se quitaría de la multa sino que recibiría una bonificación mensual.

El cargo económico por factor de potencia bajo se debe a que las compañías suministradoras necesitan invertir más dinero en equipamiento para poder proporcionar energía a este tipo usuarios, y por el contrario los consumidores con factor de potencia altos significan una ayuda al sistema eléctrico nacional.

Para comprender el efecto de un bajo factor de potencia en un sistema supongamos que tenemos un circuito eléctrico que demanda 60 kVA con un factor de potencia de 0.6 atrasado, solo estará aprovechando 36 kW de potencia real efectiva, si a este mismo sistema se le mejora el FP a un valor de 0.95, entonces la potencia real efectiva disponible será ahora de 57 kW, que corresponde a casi un 60% más de potencia inicial.

O bien, visto de otra perspectiva si la misma carga de 36 kW le mejoramos el FP a 0.95, liberaríamos aproximadamente 22 kVA de la potencia inicial del circuito.

¿Por qué existe un bajo factor de potencia?

La potencia reactiva la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas etcétera. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia.

¿Por qué resulta perjudicial y caro mantener un bajo factor de potencia?

El hecho de que exista un bajo factor de potencia produce los siguientes inconvenientes:

Al suscriptor:

- *Aumento en la intensidad de corriente.*
- *Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.*
- *Incremento de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.*
- *La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida su aislamiento.*
- *Aumento en las facturas por consumo de energía eléctrica.*

A la empresa distribuidora de la energía eléctrica.

- *Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía eléctrica adicional.*
- *Mayores capacidades en líneas transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.*
- *Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.*

¿Cómo se puede mejorar el factor de potencia?

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico por medio de la instalación de capacitores eléctricos estáticos, o utilizando motores síncronos disponibles en la industria.

El consumo de KW y KVAR en una industria se mantienen inalterables antes y después de la compensación reactiva (instalación de los capacitores), la diferencia estriba en que al principio los KVAR que esa planta estaba requiriendo, debían ser transportados, distribuidos y entregados por la empresa de distribución de energía eléctrica, lo cual produce consecuencias negativas.

4.7.8 Norma recomendada para armónicas.

A nivel internacional existen normas recomendadas para evaluar los efectos de las armónicas en las redes eléctricas y en los equipos industriales, en donde a través de una comparación del % THD de voltaje y de corriente y de las magnitudes de las armónicas individuales, se determina si existen o no problemas potenciales debido a la circulación de armónicas. Las normas se aplican dependiendo del voltaje de alimentación y del tamaño de la red eléctrica en estudio. A continuación se presentan los límites recomendados por la norma 519 del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) la cual es una de las de mayor aceptación en el ramo eléctrico a nivel internacional (Tabla 6 y 7).

Estas normas se refieren y aplican para la relación entre el suministrador de energía eléctrica y el consumidor.

Límites de Corrientes Armónicas Recomendados en %.

Orden de las Armónicas.

Isc / IL	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	THD %
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 6. Límites de corrientes armónicas.

Límites de Voltajes Armónicos recomendados en %.

	Voltaje de alimentación		
	Baja Tensión < 69 kV	69 < 138 kV	≥ 138 kV
Máximo para armónicas individuales	3.0	1.5	1.0
Distorsión Armónica Total	5.0	2.5	1.5

Tabla 7. Límites de voltajes armónicos.

La relación I_{sc}/I_L es la razón de la corriente de corto circuito disponible en el punto de acoplamiento común para la máxima corriente de carga fundamental.

Para una mejor comprensión de la aplicación de la norma IEEE 519 se muestra un ejemplo a continuación. Supongamos que tenemos un sistema de baja tensión con los siguientes datos:
Distorsión Armónica Total de Corriente (THDI) = 18 %

Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) = 6 %

Corriente de Corto Circuito (Isc) = 36,600 A.

Corriente de Carga (IL) = 1,000 A.

Con estos datos obtenemos que: $I_{sc}/I_L=36.60$

Por lo tanto, para este caso la norma establece que el THD de corriente no debe exceder del 8% y el THD de Voltaje no debe ser mayor del 5%.

Como podemos observar y aplicando exclusivamente las tablas anteriores los valores que tenemos están fuera de los límites permitidos; de tal manera que sería necesario tomar alguna alternativa para mitigar los niveles de distorsión armónica. Sin embargo, la filosofía e interpretación de la norma son más amplias que la simple aplicación de estas tablas, por lo que se requiere que cada caso sea analizado con profundidad y conocimiento amplio de la norma.

4.7.9 Impacto de las armónicas en instalaciones Industriales.

Las cargas industriales son consumidoras por excelencia de reactivos, debido a la utilización de motores de inducción. La posibilidad de las empresas eléctricas de penalizar económicamente estos bajos factores de potencia hace más económico para los industriales instalar bancos de condensadores, llevando el factor de potencia casi a la unidad y disminuyendo su facturación por demanda. Esta situación ha cambiado con el incremento de la productividad de los clientes industriales, debido a la proliferación del uso de la electrónica de potencia en sus procesos (control de motores DC y AC, carga no lineal), los cuales producen armónicos de tensión y especialmente de corriente.

4.7.10 Impacto de las armónicas en instalaciones comerciales.

La evaluación de la distorsión armónica en edificios comerciales está cobrando importancia por las siguientes razones:

- *El aumento del uso de equipos electrónicos, alimentados por fuentes conmutables, como computadores, circuitos cerrados de televisión, luces fluorescentes, sistemas de sonido, etc. La mayoría de los cuales aunque de baja potencia, generan altos niveles de distorsión armónica.*

- *La iluminación fluorescente de alta eficiencia que usa balastos electrónicos, genera una distorsión armónica superior a la producida por las luminarias fluorescente con balastos magnéticos convencionales.*
- *Gran parte de la carga de los sistemas de aclimatación de los edificios (ventilación y aire acondicionado) está migrando hacia el uso de convertidores estáticos en el control de motores para mejorar la eficiencia total de la instalación; los cuales producen cantidades significativas de armónicos de corriente.*

La contaminación eléctrica producida por estos equipos puede resultar en altos contenidos de corrientes por el conductor del neutro, causando recalentamiento del transformador y eventualmente interferencias con sistemas de comunicación. Los efectos acumulativos de las diferentes fuentes dependen de la configuración del sistema.

4.7.11 Impacto de los armónicos en instalaciones residenciales.

En el caso residencial los niveles de distorsión armónica permisibles son relativamente bajos y por su baja carga no han sido tomada en cuenta, sin embargo en la actualidad, debido al incremento progresivo de las cargas no lineales en el sector residencial, en ciertos casos es necesario su evaluación. En la mayoría de las redes de distribución, se suministra el servicio a varias residencias desde el mismo transformador de la red de distribución. En esta configuración, el PCC para determinar el grado de contaminación armónica, debe estar a la entrada del servicio de cada instalación residencial (punto de medición de energía). El nivel de armónicos de tensión, estará en función de la impedancia del sistema y la combinación de las corrientes armónicas inyectadas por cada una de las residencias que están conectadas al mismo transformador

4.7.12 Impacto de las armónicas en las instalaciones de media tensión.

Las características de respuesta de frecuencia de los sistemas de distribución son dominadas por la interacción entre los condensadores en paralelo y las inductancias del sistema (Ver figura 43). La amortiguación proporcionada por las cargas del sistema es importante. Cerca de los bancos de condensadores, y la capacitancia de los cables aislados puede influir en la resonancia del sistema.

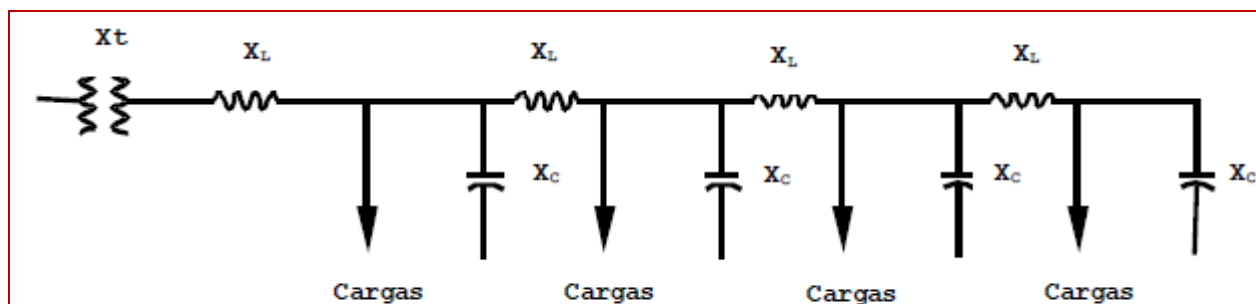


Figura 43. Características del sistema de distribución. Típico.

Las más severas condiciones de resonancia ocurren cuando un solo banco de condensadores grande es el principal medio de compensación paralela en el sistema (un banco de condensador grande en una subestación, por ejemplo). En este caso, este es un punto de resonancia en el sistema, y distorsión de tensión significativa y aumento de corrientes armónicas pueden ocurrir si esta resonancia corresponde a una corriente armónica generada por cargas no lineales. Es completamente común para esta resonancia ocurrir cerca del quinto armónico, como es el caso para las características de respuesta de frecuencia (Ver figura 44).

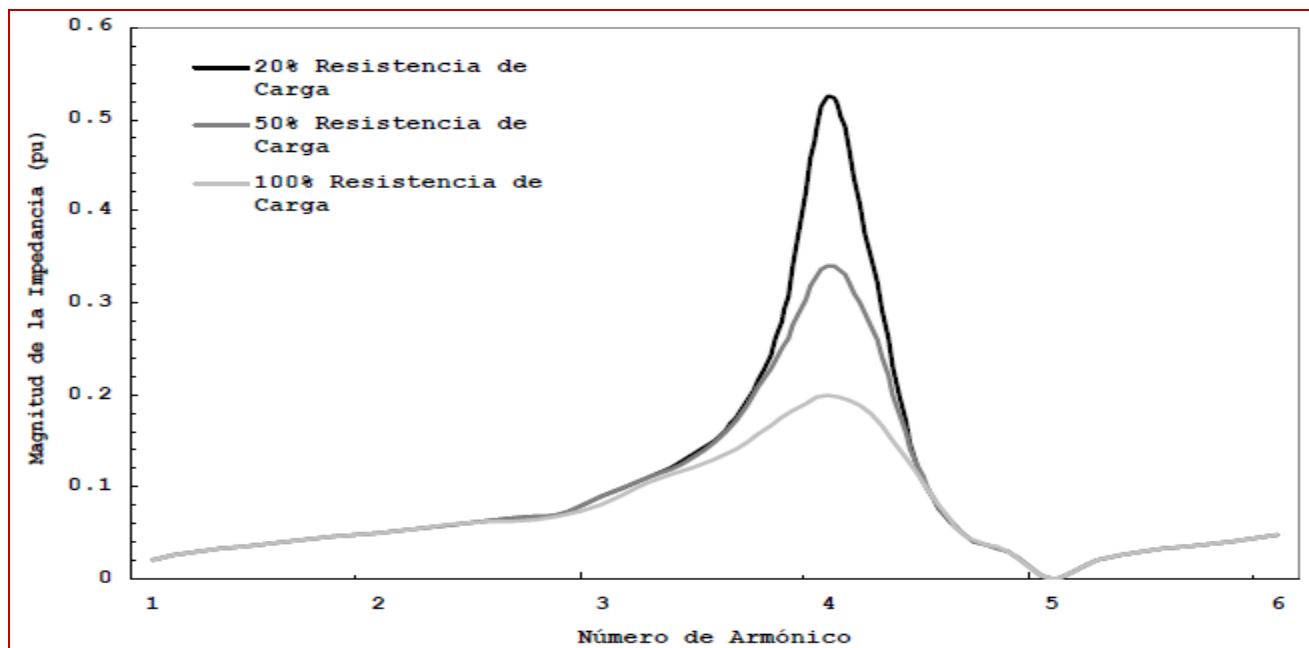


Figura 44. Características de respuesta de frecuencia para diferentes porcentajes de carga.

4.8 Muecas (Notch).

4.8.1 Definición.

Las muescas "Notch" también conocidas como hendiduras, son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión que causan una distorsión de pequeños huecos (Ver figura 45), el notch se puede definir como una conmutación o disturbio en la forma de onda de voltaje del sistema con duración menor a medio ciclo la cual es inicialmente opuesta en polaridad a la forma de onda normal, siendo por lo tanto substractiva en términos de la amplitud. Incluye la pérdida completa de voltaje por medio ciclo.

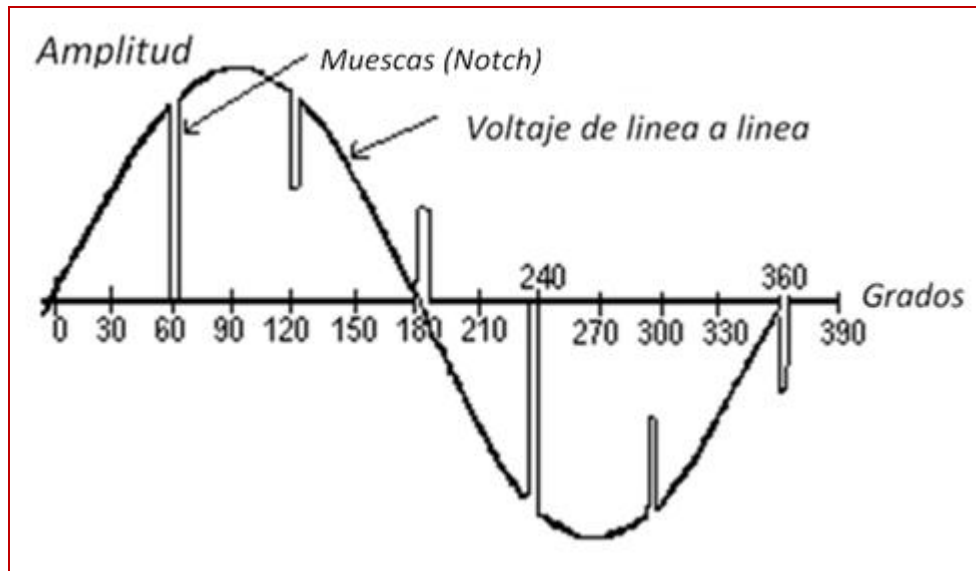


Figura 45. Representación de Una Muesca o Notch en la Onda de Voltaje.

4.8.2 Causas y efectos.

➤ Causas.

Las muescas o notch son causadas principalmente por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Durante el proceso de operación la corriente es conmutada de una fase a la siguiente, creando un cortocircuito fase a fase momentánea.

Otra causa común es a defectos en la red eléctrica o en la propia instalación del usuario. Pueden producir mal funcionamiento en cargas muy sensibles y errores en las computadoras.

➤ Efectos.

Altera las formas de onda y puede afectar a otras cargas y principalmente a los controladores de dichas cargas. Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos.

Genera armónicos de alta frecuencias que pueden circular por el sistema y producir resonancias: lo que también puede afectar a los sistemas de control de los dispositivos en barra adyacentes.

Si la profundidad del Notch es tal que realice un cruce por cero, esto puede causar la operación errática de cargas basadas en electrónica.

La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo (Ver figura 46).

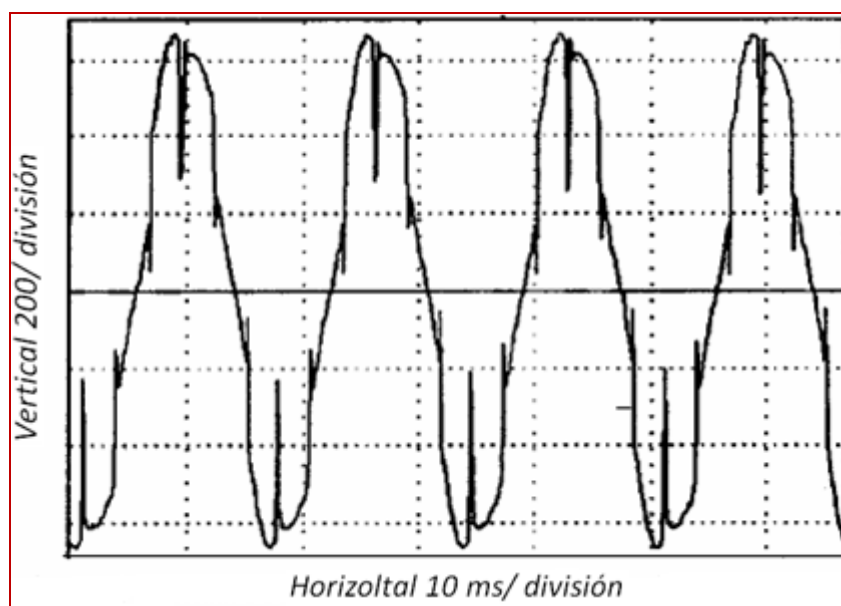


Figura 46. Ejemplo de Una Medición Real de Onda con Muecas Fuera de Límite.

4.9 Íter Armónicos.

4.9.1 Definición.

Los interarmónicos son voltajes o corrientes que tienen componentes con frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, es decir 60 Hz. Pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda ancha (Ver figura 47). Las interarmónicas pueden encontrarse en redes de todas las clases de voltaje. La frecuencia de la componente interarmónica viene dada por la frecuencia de una línea espectral.

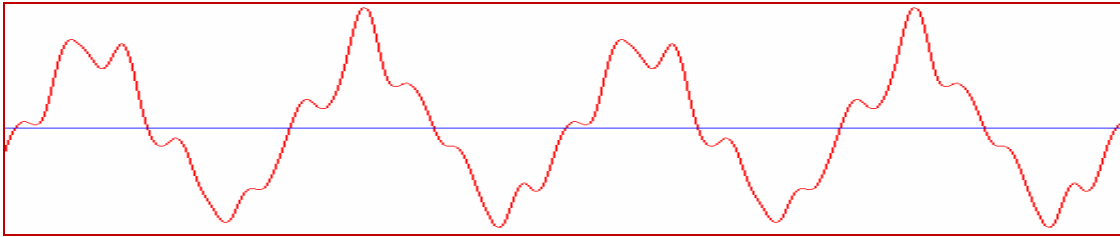


Figura 47. Ejemplo de una onda con Contenido Interarmónico.

4.9.2 Causa y Efectos.

➤ **Causas.**

Las principales fuentes de distorsión de forma de onda por inter-armónicos son hornos de arco. Cambios rápidos en la corriente demandada (fluctuaciones de tensión), conmutación asíncrona de dispositivos semiconductores en convertidores estáticos, cargas de arco variable (hornos de arco), motores de inducción, convertidores estáticos de frecuencia, motores asíncronos.

➤ **Efectos.**

Fluctuaciones de tensión y parpadeo, oscilaciones de baja frecuencia en sistemas mecánicos, interferencia con señales de control y protección, interferencia con señales de telecomunicaciones, saturación de transformadores de corriente.

4.10 Desplazamiento de la Onda AC (DC Offset).

4.10.1 Definición.

La presencia de una tensión o corriente directa (DC) en un sistema de corriente alterna (AC) de potencia se denomina corrimiento DC (DC offset) (Ver figuras 48 y 49).

Esto puede ocurrir debido al efecto de la rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes. Este tipo de controlador, por ejemplo, puede consistir en diodos que reducen el valor R.M.S. de la tensión de alimentación por rectificación de media onda.

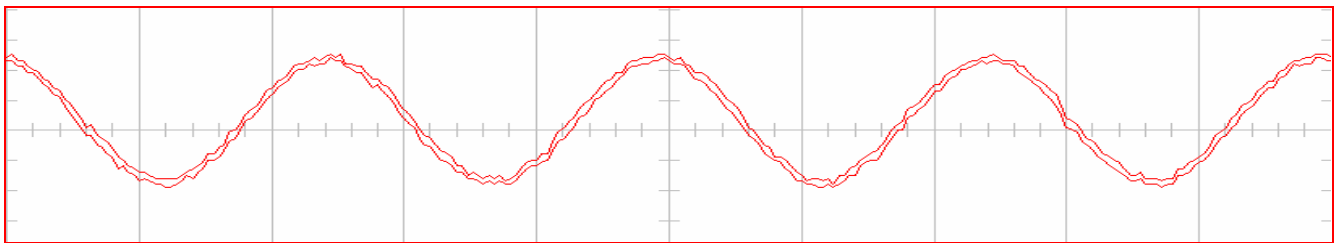


Figura 48. Ejemplo de una Onda con Desplazamiento de su Eje.

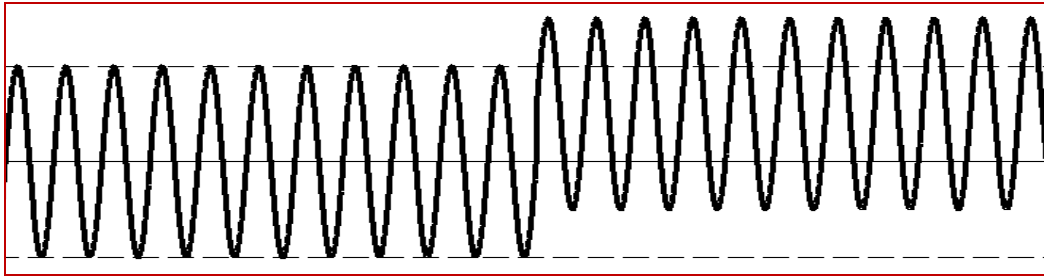


Figura 49. Otro Ejemplo de la Desplazamiento de la Onda AC (DC Offset).

4.10.2 Causas y efectos.

➤ Causas.

Este desplazamiento puede ocurrir como el resultado de una perturbación geomagnética o debida a problemas en la rectificación de onda de los equipos de electrónica de potencia.

Esto puede ocurrir debido al efecto de la rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes.

➤ Efectos.

La corriente directa en redes de corriente alterna produce efectos perjudiciales al polarizar los núcleos de los transformadores de forma que se saturan en operación normal causando el calentamiento y la pérdida de vida útil en estos equipos.

La corriente directa es una causa potencial del aumento de la corrosión en los electrodos de puesta a tierra y en otros conductores y conectores.

4.11 Fluctuaciones Rápidas de Tensión (Flicker).

4.11.1 Definición.

Las cargas que puedan exhibir variaciones continuas y rápidas en la magnitud de la corriente de carga, pueden provocar variaciones en el voltaje que se refieren frecuentemente como “flicker” (parpadeo). Ese término, parpadeo, se deriva del impacto de las fluctuaciones de voltaje en lámparas de forma tal que ellas se comportan y son percibidas por el ojo humano como una especie de “parpadeo”. Para ser técnicamente correctos, la fluctuación del voltaje es un fenómeno electromagnético, mientras que el “flicker” es un resultado indeseable de la fluctuación de voltaje en algunas cargas.

Es una variación rápida de tensión de forma repetitiva, similar a la modulación de amplitud de una onda de alta frecuencia por una onda de baja frecuencia, (Ver figura 50). Produce en las lámparas un parpadeo visible y molesto (de aquí el nombre); se debe principalmente al funcionamiento de hornos de arco y equipos de soldadura.

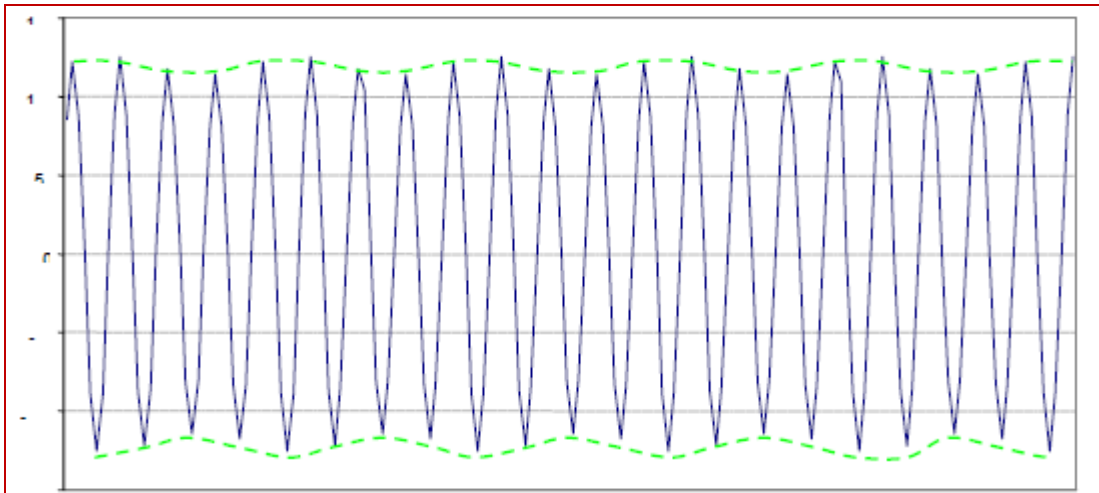


Figura 50. Ejemplo de una Onda de Tensión con Fluctuaciones Rápidas de Tensión.

Índices:

Severidad del parpadeo: intensidad de la molestia causada por el parpadeo definida por IEC 61000-4-15 y evaluada mediante los índices Pst y Plt.

Donde:

P_{st} : Severidad del parpadeo de corta duración (medida en un período de 10 minutos) utilizando un "flickermeter".

P_{lt} : Severidad del parpadeo de larga duración (calculada a partir de una secuencia de 12 valores de Pst en un intervalo de 2 horas.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{st,i}^2}$$

A su vez, las variaciones de tensión se definen como cambios en el valor eficaz o valor de pico de tensión entre dos niveles consecutivos que se mantienen durante un tiempo finito no especificado. Su duración va desde varios milisegundos hasta unos 10 segundos y con una amplitud que no supera el $\pm 10\%$ del valor nominal, En la siguiente imagen se puede observar una grafica entre valores de las diferentes perturbaciones de variación de tensión (Ver figura 51).

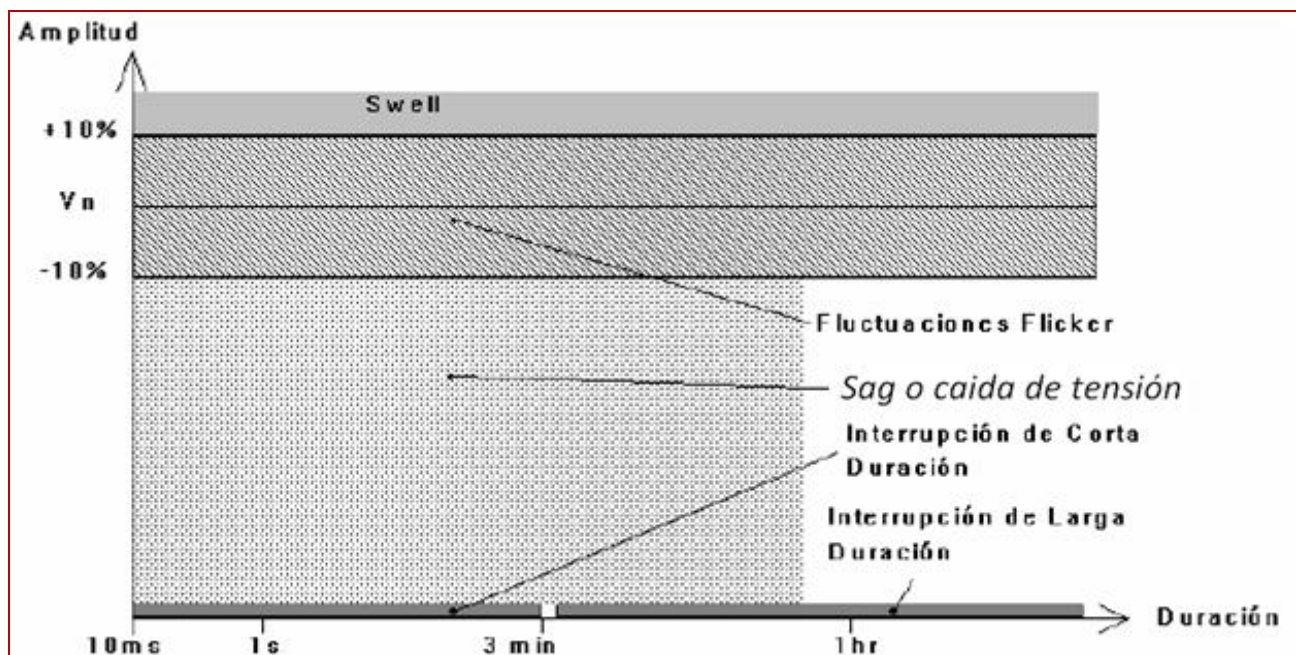


Figura 51. Diferencia entre Flicker, Sags, Swell e interrupciones.

4.11.2 Causas y efectos.

➤ Causas.

Este fenómeno por lo general es causado por variaciones continuas y bruscas de la magnitud de la corriente de carga que genera la fluctuación rápida de tensión, y causa un efecto de titilación o Flicker (ingles).

La mayor causa de Flicker proviene de equipos que utiliza el usuario bien sea residencial, comercial o industrial. De estos equipos los que más comúnmente provocan este tipo de perturbación son aquellos que funcionan con potencia intermitente o fluctuaciones muy rápidas, como lo son: hornos de arco, soldadoras eléctricas, arranque de motores, etc. En el caso de los hornos de arco y las soldadoras de arco las fluctuaciones de tensión causadas por ellos pueden ser pensadas también como componentes inter-armónicas de baja frecuencia.

➤ Efectos.

En general no produce daños en los equipos a menos que la variación sea muy pronunciada. Afectan especialmente a los sistemas de iluminación. El efecto de la variación rápida de tensión o Flicker causa variación en la luminiscencia de las bombillas incandescentes las cuales son percibidas por el ojo humano. Estas fluctuaciones pueden afectar el funcionamiento de equipos sensibles, como lo son: sistemas digitales de control, equipo de medicina, LC, instrumentación, etc.; que a su vez contribuyen a la contaminación de la red estableciendo un compromiso entre

la emisión e inmunidad que debe ser resuelto por la CEM. Otro efecto son las anomalías en los sistemas de Iluminación, en especial en lámparas incandescentes y de descarga.

4.12 Ruido.

4.12.1 Definición.

El ruido es un impulso repetitivo sobrepuesto en la onda senoidal de potencia (Ver figura 52). Se considera como ruido las señales eléctricas no deseadas que producen efectos indeseables en los circuitos de control en los que se presentan y que incluyen el equipo electrónico sensible en su totalidad o en alguna de sus partes, es una perturbación de tensión que tienen lugar entre los conductores activos de alimentación (fase y neutro en sistemas monofásicos; fases o fase y neutro en sistemas trifásicos). Si son frecuentes y de escaso valor (decenas de voltios más o menos), se llaman ruidos. Si son esporádicos y de valor elevado (cientos de voltios), se denominan impulsos, es decir, cuando su duración es inferior a 2 ms. El rango de frecuencia y la magnitud del ruido dependen de la fuente que lo produce y de las características del sistema. Una magnitud de ruido típica aceptable es menor al 1% de la tensión nominal.

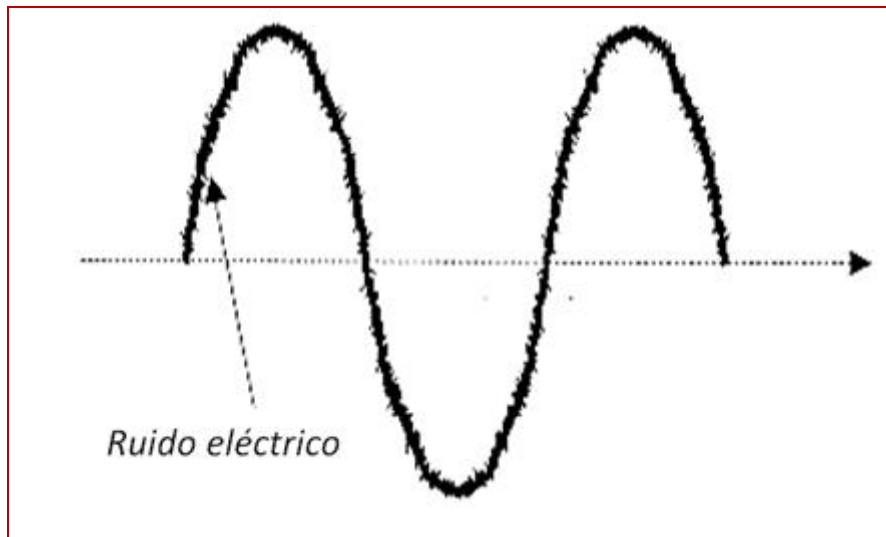


Figura 52. Representación de ruido Eléctrico en la Onda de Voltaje.

4.12.2 Causas y efectos.

➤ Causas.

Los ruidos eléctricos se producen debido al funcionamiento de máquinas eléctricas con escobillas, soldadoras de arco, timbres, interruptores, etc., los cuales se encuentran conectados en algún punto cercano a la carga utilizada.

Interferencia electromagnética de: aparatos electromagnéticos, microondas y radar de transmisiones, transmisiones de radio y televisión, aires acondicionados, impresoras láser, licuadoras, taladros, cables sueltos o tierra inapropiada. Es un disturbio que se presenta comúnmente en los sistemas de cómputo y se refiere a una variación de baja amplitud pero de muy alta frecuencia que se adiciona a la forma de onda fundamental.

➤ **Efectos.**

Perturbaciones de equipo eléctrico sensible, pero usualmente su efecto no es destructivo. Se pueden causar errores de procesamiento y la pérdida de datos por esta perturbación, Afecta a los sistemas de comunicación interfiriendo la transmisión y recepción de datos.

4.13.- Desbalance o asimetría de tensión.

4.13.1 Definición.

Desbalance de tensión: es la razón de la componente de secuencia negativa (o cero) respecto a la componente de secuencia positiva de la tensión, en otras palabras es la máxima diferencia, que existe entre una de las fases de tensión y el promedio, dividido por el promedio, expresado en porcentaje (Ver figura 53).

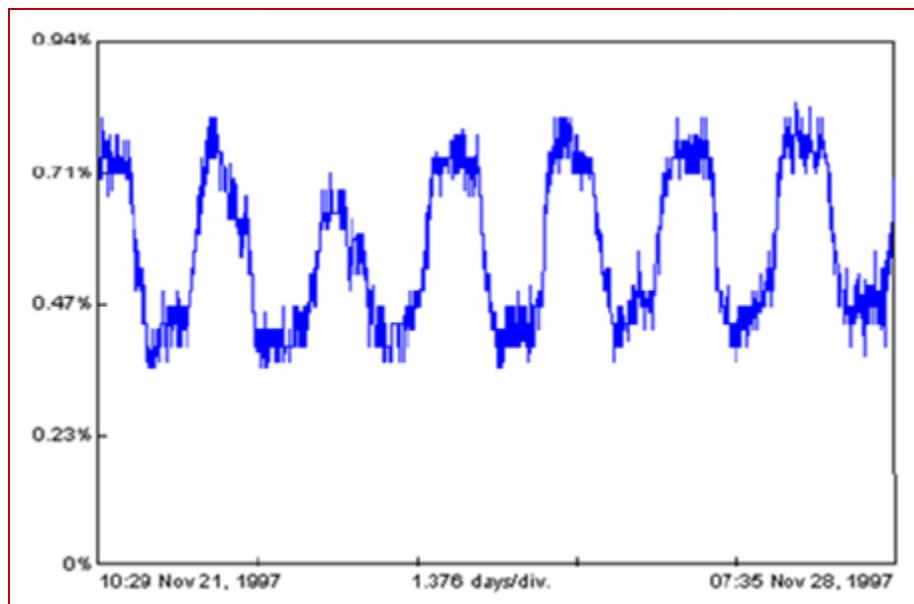


Figura 53. Representación de un Desbalance de Tensión.

La asimetría de tensión se representa mediante la relación entre la componente de secuencia negativa y positiva (V^- / V^+).

$$D_t = \frac{V^{(-)}}{V^{(+)}} \cdot 100 \%$$

Donde:

$V^{(-)}$: Componente de secuencia negativa.

$V^{(+)}$: Componente de secuencia positiva.

ANSI define el desbalance de tensión como: como la máxima desviación de tensión respecto al promedio de las tres fases, dividido entre el promedio de las tres fases (ANSI C84.1-1995).

Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2%.

4.13.2 Causas y efectos.

➤ **Causas.**

El desbalance de tensión en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales. Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

➤ **Efectos.**

Los efectos más comunes por desbalance de tensión son: Sobrecalentamiento de máquinas asíncronas trifásicas, reducción de capacidad de transformadores, cables y líneas.

4.14 Variación de la frecuencia fundamental.

4.14.1 Definición.

Son cambios en la frecuencia de señal senoidal proporcionada por la red, que en Europa es de 50 Hz y en América de 60 Hz, la frecuencia es un parámetro que depende del balance entre la producción de energía y su consumo. Cuando se producen desequilibrios repentinos entre el balance de generación y carga se producen cambios en la frecuencia del sistema (Ver figura 54). Normalmente resulta muy raro que se presente este problema en la red eléctrica en condiciones normales y puede llegar a ocurrir debido a la interconexión de los centros de generación de energía eléctrica.

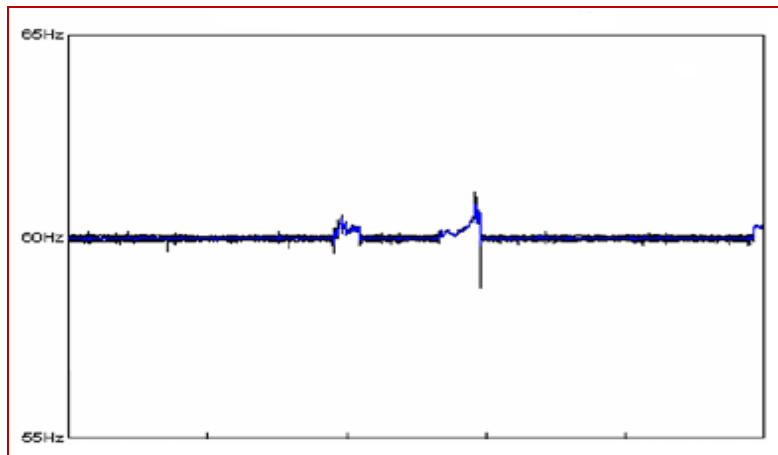


Figura 54. Registro de Variación de la Frecuencia fundamental.

4.14.2 Causas y efectos.

➤ **Causas.**

Frecuencias inestables provenientes del suministro eléctrico, mala operación de plantas de emergencia. Generalmente sólo se producen en centros con generación aislada de tensión como lo pueden ser redes eléctricas rurales aisladas que obtienen energía eléctrica a partir de generadores de combustión interna, paneles fotovoltaicos, generadores eólicos o en plataformas de explotación petrolera. Las variaciones de frecuencia que salen de los límites aceptados para el régimen casi estacionario del sistema eléctrico de potencia, pueden ser causadas por fallas en el sistema de transmisión cuando sale un gran bloque de carga, o cuando un grupo generador sale de servicio.

➤ **Efectos.**

Provoca un mal funcionamiento en equipos eléctricos y electrónicos como pueden ser pérdida de datos del disco duro de una computadora, el teclado se traba, fallas en programación, mal procesamiento de datos en computadoras.

5. Soluciones de problemas de calidad de energía eléctrica.

Para poder resolver problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica se debe tener en cuenta que para cada perturbación hay diferentes tipos de equipos y soluciones que ayudan a mejorar la calidad de la energía eléctrica, o también se pueden realizar estudios para dictaminar las mejores recomendaciones a instalaciones eléctricas o equipos para no tener efectos tan nocivos en instalaciones y equipo eléctrico.

A continuación se presenta una tabla donde describe las diferentes tipos de aparatos que ayudan a suprimir o controlar las diferentes perturbaciones que se encuentran en la calidad de la energía eléctrica (Armónicas, Swell Huecos de tensión etcétera). En la tabla 8 se muestra un resumen en función de la perturbación y su solución. Como se aprecia en esta tabla existen soluciones que pueden contrarrestar varias perturbaciones al mismo tiempo.

Aparatos de control	Sags	Interrupciones	Swells	Transitorios	Subida de voltajes	Bajas de voltajes	Armónicas	Muecas o Notch	Fluctuaciones de voltaje
SA				✓					
BESS	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
DSTATCOM				✓	✓	✓			✓
DSC						✓			✓
DUPS	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
DVR	✓		✓	✓					✓
PFC					✓	✓	✓		
SMES	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
SETC	✓		✓		✓	✓			
SSTS/MTS	✓	✓	✓						
SSCB		✓							
SVC	✓		✓		✓	✓			✓
ICS				✓		✓			
UPS	✓	✓	✓		✓	✓			
APF (TF)				✓			✓	✓	

Tabla 8. Tipos de Aparatos que Ayudan a Corregir o Suprimir Diferentes Tipos de Problemas de Calidad de la Energía Eléctrica.

En la siguiente tabla se da la descripción de los aparatos antes mencionados.

SA	Surge arrester.	Sobretensiones.
BESS	Battery energy storage system.	Energía de la batería del sistema de almacenamiento.
DSTATCOM	Distribution static synchronous compensator.	Distribución sincrónica compensadora estática.
DSC	Distribution series capacitor.	Distribución de capacitores en serie.
DUPS	Dynamic uninterruptible power supply.	Alimentación dinámica ininterrumpida.
DVR	Dynamic voltage restorer.	Restaurador dinámico de tensión.

PFC	<i>Power factor controller.</i>	<i>Controlador de factor de potencia.</i>
SMES	<i>Superconducting magnetic energy system.</i>	<i>Sistema de superconductor de energía magnética.</i>
SETC	<i>Static electronic tap changer.</i>	<i>Cambiador de tomas electrónicas estáticas.</i>
SSTS/MTS	<i>Solid-state transfers witch. / Mechanical transfer switch.</i>	<i>De estado sólido transferencias bruja. /Mecánica interruptor de transferencia.</i>
SSCB	<i>Solid-state circuit-breaker.</i>	<i>Interruptor automático de estado solido.</i>
SVC	<i>Static VAR compensator.</i>	<i>Compensador estático en VAR.</i>
TCS	<i>Thyristor switched capacitor.</i>	<i>Thyristor conmutación de condensadores.</i>
UPS	<i>Uninterruptible power supply.</i>	<i>Sistema de alimentación ininterrumpida.</i>
APF (TF)	<i>Active power filter or tuned filter.</i>	<i>Filtro activo de potencia o un filtro sintonizado.</i>

Tabla 9. Descripción de Siglas de Aparatos Para Supresión de Problemas de Calidad de la Energía Eléctrica.

En seguida se dan técnicas más a fondo para corregir problemas más específicos.

5.1 Técnicas de control de armónicas.

Cuando se ha identificado que el problema es a causa de armónicos, la solución más adecuada, efectiva y más utilizada en la actualidad es proporcionar un camino de baja impedancia en la barra de la carga para absorber las corrientes armónicas inyectadas al sistema. También existen otras alternativas tales como:

- *Redistribuir las cargas y/o separar circuitos para aislar los equipos causantes de problemas o de los circuitos sensibles.*
- *Emplear transformadores y alimentaciones dedicadas.*
- *Duplicar al doble o más la sección de los conductores de neutro para el caso de instalaciones con cargas no lineales que contaminan con el tercer armónico.*
- *Aumentar el nivel de corto circuito del sistema eléctrico.*
- *Instalación de transformadores con factor K superior.*
- *Sobredimensionar condensadores (en tensión y en potencia), sobredimensionar transformadores de potencia, sobredimensionar conductores. (La sección del conductor neutro debe ser igual a la sección de las fases)*
- *Alimentar separadamente las cargas generadoras de corrientes armónicas del resto de la instalación.*
- *Estudiar cuidadosamente la posibilidad de resonancia entre baterías de condensadores y reactancias de transformador de potencia y de red.*

- *La presencia de una batería de condensadores en una instalación no genera armónicos, sin embargo, puede amplificar los armónicos existentes agravando el problema.*

Las soluciones anteriormente mencionadas no reducen la contaminación armónica, simplemente ocultan el problema haciendo más robusto el sistema eléctrico. A continuación se describen las técnicas que si ofrecen una reducción de la contaminación armónica.

Básicamente, los equipos de filtrado permiten resolver los inconvenientes planteados anteriormente. Para definir el tipo de equipo a instalar es necesario efectuar un minucioso estudio de armónicas, con mediciones de tensión y corriente, análisis mediante simulador y selección del equipo mas adecuado. Como el circuito de filtrado absorbe parte o la totalidad de las armónicas generadas por los convertidores, deberá ser adecuadamente diseñado. Los filtros pueden clasificarse en:

- **Filtros pasivos:** Solo utilizan condensadores, inductancias y resistencias.
- **Filtros activos:** Utilizan elementos semiconductores para el control.

Los filtros antes mencionados nos sirven para corregir los siguientes problemas:

- *Corrección de problemas de resonancia.*
- *Rechazo de armónicos en ciertas partes de la instalación.*
- *Absorción de armónicos para reducir el THD de la instalación.*
- *Limitación de potencia de cortocircuito en determinados puntos de la instalación.*
- *Filtrado de convertidores estáticos, en el lado de corriente alterna o de corriente continúa.*

La respuesta de los filtros se da generalmente en gráficos logarítmicos donde se representan impedancias en función de la frecuencia.

1) Filtros pasivos.

En la figura siguiente muestra el mecanismo de acción de un filtro pasivo, el que consiste en proveer un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas (Ver Figura 55). De este modo, la corriente por la fuente (i_S) es mucho más sinusoidal. En la fig. 8.1 i_L es la corriente de la carga no lineal.

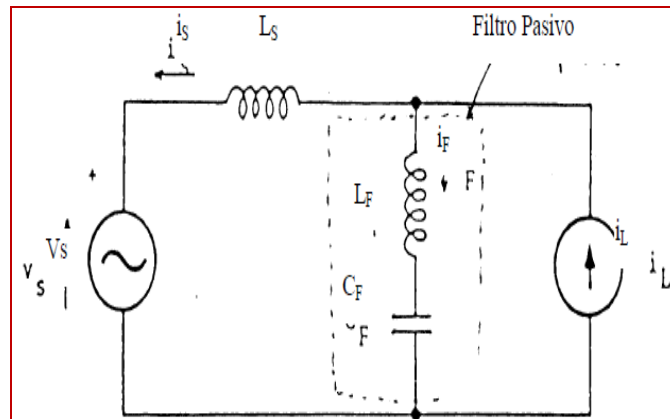


Figura 55. Representación de Funcionamiento de un Filtro Pasivo.

El uso de filtros pasivos de armónicas en sistemas de potencia tiene dos objetivos: el principal es prevenir la entrada de corriente y voltaje armónicos desde agentes contaminantes al resto del sistema; y proveer al sistema toda o parte de la potencia reactiva que éste necesita.

Descripción general de filtros pasivos.

- Sus características son restringidas (porque generalmente están sintonizados a una sola frecuencia).
- Tienen un menor costo el equipo y su mantenimiento comparado con los filtros activos.
- Pueden construirse utilizando condensadores de corrección del factor de potencia.
- Tienen buen rendimiento energético (pocas pérdidas), excepto en los filtros pasa banda u otros filtros complejos que incluyen resistencias.
- No requieren mantenimiento especial.

Principales conexiones para filtro pasivos.

Filtros serie (baja impedancia):

- La inductancia debe diseñarse para la corriente de carga.
- La inductancia y el condensador se deben aislar a la tensión de la red.

Filtros paralelos (alta impedancia):

- Se pueden incorporar al filtro los condensadores para corregir el factor de potencia a frecuencia fundamental.
- Pueden obtenerse arreglos para características múltiples de filtrado (puede filtrar más de una frecuencia).

Existe dentro de estas variantes un conjunto de variedades de filtros, los mismos que se instalarán en función de la frecuencia, el voltaje, la impedancia y las facilidades del sistema dentro del que va a actuar y filtrar.

El rectificador de 12 pulsos:

Un rectificador de 12 pulsos (Ver figura 56) consiste en la conexión de dos rectificadores de 6 pulsos alimentados mediante un transformador con dos secundarios o a través de dos transformadores. En ambos casos, la conexión de la alimentación del rectificador debe ser una “estrella” y el otro en “delta”. Esto produce un desfase de 30° en los voltajes de alimentación. La importancia de esta modificación se traduce en que se inyectan corrientes armónicas 5^a y 7^a de signo contrario. Por lo tanto, con un grado equivalente de carga en ambos rectificadores, se puede producir una cancelación completa de estas armónicas (las más importantes). Disminuyendo de esta forma, los niveles de distorsión armónica de voltaje en las barras de alta tensión.

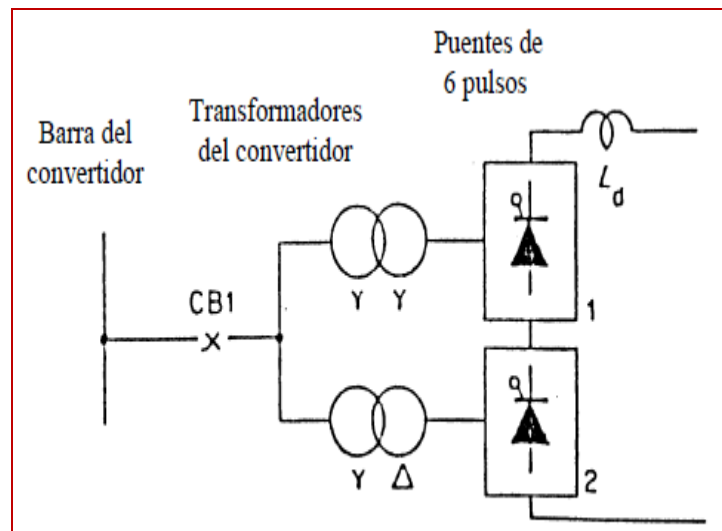


Figura 56. Representación de un Rectificador de 12 Pulsos.

Este rectificador debe su nombre al hecho de que, en un período de la tensión de alimentación, genera 12 pulsos en el voltaje de la carga. A través de esta conexión, es factible obtener más potencia en la carga, menos armónicas en la tensión de la carga y menos armónicas en las corrientes de entrada.

Factores a tomar en cuenta para la instalación de filtros pasivos.

- Definir el punto donde se instalara el filtro. Bien sea que se instalara en un punto común de acoplamiento o directamente en la carga contaminante.
- Ubicación y nivel de las cargas contaminantes.
- Presencia de condensadores de corrección de factor de potencia.
- Especificación de la capacidad de los condensadores de los filtros en rangos discretos.
- Espectro armónico a considerar.
- Variación de las cargas contaminantes. Se debe establecer si el filtro será fijo o deberá entrar por etapas en función del ciclo de carga.

II) Filtros activos.

Básicamente el concepto de filtro activo es aquel que usa la electrónica de potencia para producir componentes armónicos los cuales cancelan las componentes armónicas desde las cargas no lineales. Son aquellos que pueden estar compuestos por elementos filtrantes tanto paralelo como serie, pero adicionalmente tienen elementos de estado sólido que están sintonizados a la frecuencia de disparo de las armónicas que producen el problema en el sistema y los mismos se disparan cuando el armónico pasa por el cero provocando un armónico de polaridad y amplitud contraria al existente con el fin de anularla (Ver figura 57). Estos filtros comúnmente se instalan en bancos de condensadores que adicionalmente corrigen el factor de potencia, el control de estos es con relés de estado sólido, usualmente se hacen llamar **sistema de compensación de reactivo en tiempo real**.

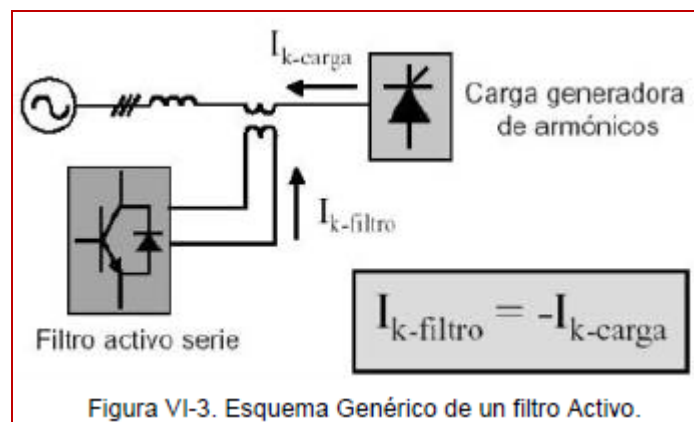


Figura 57: Representación de Funcionamiento de un Filtro Activo.

Descripción general de filtros activos.

- Sus características son muy flexibles (dentro de ciertos límites, se pueden adaptar a las frecuencias que deben ser filtradas).

- *Tienen un mayor costo comparado con los filtros pasivos.*
- *Es necesario protegerlos contra sobre tensiones en la red.*
- *Tiene necesidad de un mantenimiento especial.*
- *Es difícil la construcción de un filtro de grandes proporciones y una respuesta rápida.*

Ventajas de filtros activos.

En relación al desarrollo de los filtros activos es conveniente señalar:

- *Tienen un principio de funcionamiento diferente a los filtros pasivos.*
- *Compensan muy eficazmente las armónicas y la potencia reactiva.*
- *Son más caros que los filtros pasivos.*
- *Se pueden usar también en conjunto con filtros pasivos (filtros mixtos).*
- *Actualmente han sido ya empleados industrialmente hasta el rango de los mega-watts.*
- *Han tenido el mayor desarrollo en Japón.*

Diseños de filtros.

Para combinar las ventajas (y reducir las desventajas) de los filtros activos y pasivos, se han diseñado combinaciones de filtros para obtener:

- *Características independientes de la impedancia del sistema.*
- *Capacidad para reducir la resonancia entre la impedancia de la fuente y los filtros pasivos.*
- *Reducir los requerimientos de los dispositivos de potencia para construir el filtro activo, facilitando su implementación.*

Recomendaciones para disminuir el efecto de las armónicas.

Usualmente la solución al problema de armónicos es eliminar los síntomas y no el origen, los aparatos que crean los armónicos generalmente constituyen una pequeña parte de la carga, eliminar su uso no es posible, modificar esos equipos para que no causen armónicos tampoco es factible. Lo que nos queda es reducir los síntomas ya sea incrementando la tolerancia del equipo y del sistema a los armónicos o modificar los circuitos y los sistemas para reducir su impacto, atrapar, o bloquear los armónicos con filtros. Por supuesto hay excepciones. En casos de sobrecarga, daño de equipo o diseño inapropiado, estas causas que generan armónicos pueden ser corregidas, similarmente un aparato o equipo particular que produce un alto nivel de armónicos debe ser modificado o reemplazado.

Un aspecto que con frecuencia es mal evaluado, es que los armónicos han sido un problema reciente debido al efecto de adición y multiplicación de los mismos, la presencia de estos efectos es lo que causa problemas, individualmente ninguno es problemático por sí mismo.

Los filtros son elementos cuya impedancia varía con la frecuencia. También tienen el potencial de crear y amplificar el problema de las armónicas, a menos que cuidadosamente sean localizados y diseñados, en algunos casos un diagnóstico y diseño pobres, origina que el remedio sea peor que la enfermedad. Los filtros pasivos son los más simples, más económicos, pero menos flexibles y efectivos para filtrar armónicas. Son elementos puramente pasivos, usados por las empresas como circuitos en paralelo en la entrada de los servicios con problemas de generación de armónicas, evitando de esta manera que entren al sistema de distribución. También los filtros pueden instalarse directamente en un equipo particular donde existe un grave problema de generación de armónicas, evitando de esta manera que circulen en la propia instalación eléctrica del usuario.

5.2 Técnicas de control de Flicker.

Se pueden considerar diversas soluciones:

Modificación de la carga perturbadora.

Las fluctuaciones rápidas de tensión se pueden atenuar modificando el ciclo de trabajo de la carga perturbadora: el ritmo de soldadura en las soldadoras, la rapidez de rellenado de los hornos de arco, el modo de arranque de un motor cuando es directo y frecuente puede ser llevado a un tipo de arranque que disminuya la sobre intensidad.

Elección del sistema de iluminación.

Ya que existen fuentes luminosas más o menos sensibles al flicker, la solución evidente y la primera que hay que considerar es elegir bien estas fuentes. Las lámparas fluorescentes tienen una sensibilidad a las variaciones de tensión dos o tres veces menor que las lámparas de incandescencia.

- *Como remedio local, se puede considerar “limpiar” la línea de salida para la iluminación por medio de la instalación de un regulador de tensión o de un ondulator.*
- *Diseño correcto de la maquinaria reduciendo al máximo las puntas transitorias de corriente. En algún caso esto puede conseguirse mediante la inserción de reactancias en serie o, en otros, mediante sistemas de acumulación de energía.*
- *Alimentación eléctrica independiente de la maquinaria que requiera corrientes transitorias importantes.*

- *Evitar la coincidencia de las puntas de corriente consumidas por las cargas.*
- *Utilización de compensadores estáticos que, mediante interruptores electrónicos y reactancias, permiten compensar las fuertes oscilaciones de corriente en las cargas.*

Modificación de la red.

Según el contexto de la red, se consideran dos métodos:

- *Distanciar (aislar) la carga perturbadora de los circuitos de iluminación.*
- *Aumentar la potencia de cortocircuito de la red decrementando la impedancia en el punto de acoplamiento común (PCC).*

Para aplicar estas técnicas de control se pueden considerar los siguientes esquemas:

- *Conexión de los circuitos de iluminación lo más cerca posible del transformador que lo alimenta.*
- *En BT, aumento de la sección de los conductores.*
- *Conexión de la carga perturbadora a una red de tensión mayor.*
- *Alimentación de la carga por un transformador independiente.*

5.3 Técnicas de control de Sag, Swell y Transitorios.

Los sobrevoltajes transitorios pueden originarse por maniobras de conexión o desconexión, descargas atmosféricas y descargas electrostáticas. Los transitorios eléctricos más severos son los ocasionados por las descargas atmosféricas. Éstas pueden dañar el aislamiento de transformadores, motores, capacitores, cables y ocasionar fallas en líneas de transmisión por la ionización del aire. La protección del aislamiento del equipo eléctrico se ha llevado a cabo tradicionalmente con apartarrayos y capacitores.

Primero será necesario conocer el tipo de disturbio potencial o presente en el Sistema, para lograr esto se debe realizar una medición con un analizador de Calidad de Energía (Power Quality). Dependiendo del tipo de disturbio y magnitud, es como se procede a dar la recomendación más adecuada. Será necesario un análisis a fondo del sistema y los parámetros encontrados para poder solucionar cada uno de los problemas encontrados. Alguna de las soluciones puede ser solo operacionales y otras con la implementación de equipos de protección de disturbios, reactores, transformadores de aislamiento, etc.

Una solución común a este problema (Sags) es alimentar a los controladores electrónicos con un transformador de tensión constante u otro dispositivo de mitigación, para proporcionar la señal

adecuada al controlador durante una caída de tensión. En general los dispositivos electrónicos que cuentan con una batería de respaldo no deben ser afectados por las reducciones de tensión de corta duración.

Compensador de Serie Estático (SSC).

El propósito de un compensador estático en serie (SSC) es mitigar los efectos que los huecos de tensión y las interrupciones que se le producen a un cliente de carga sensible. El dispositivo se basa en electrónica de potencia, debido a que se conecta en serie directamente al circuito de distribución primario (Ver figura 58). El principio básico de funcionamiento es la inyección de energía al sistema capaz de compensar los efectos de las perturbaciones descritas. La limitación de este equipo es que solo es capaz de mitigar huecos de hasta 50% de la tensión nominal.

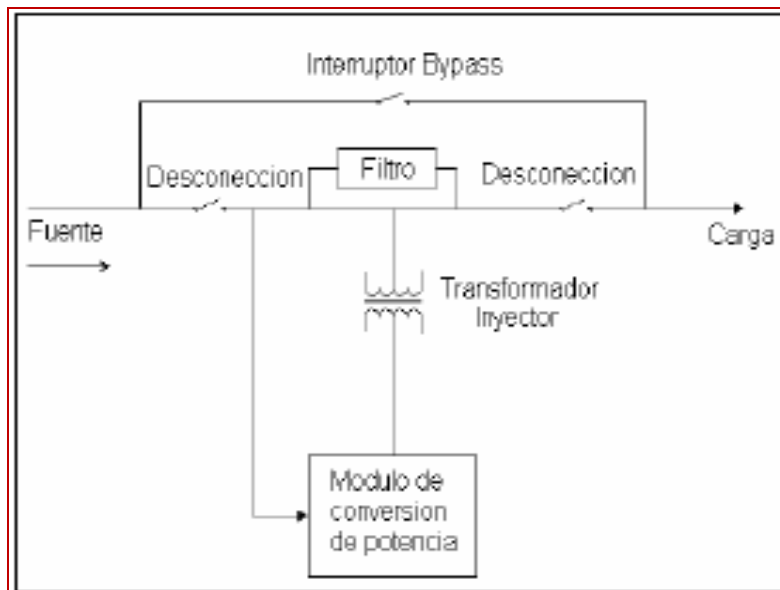


Figura 58. Configuración Básica del SSC Utilizando Energía Afectada de la Línea.

Switch de Transferencia (TS).

Este equipo es diseñado para proteger las cargas críticas de las perturbaciones en los sistemas de distribución, esto se logra transfiriendo la carga crítica hasta otro sistema en mejores condiciones, en ese instante de tiempo donde esté presente la perturbación, dentro de este equipo de protección se encuentran 2 variaciones:

a) Switch de transferencia mecánica.

b) Switch de transferencia estático (a su vez dentro de este tipo se encuentran variaciones dependiendo de los elementos utilizados en su construcción).

b1) Tiristor (SCR).

b2) Tiristor apagable por compuerta (GTO).

b3) Switch de transferencia mecánico de alta velocidad (HSMTS).

b4) Switch de transferencia híbrido.

A continuación se muestra el diagrama característico de funcionamiento del equipo en su principio básico (Ver figura 59).

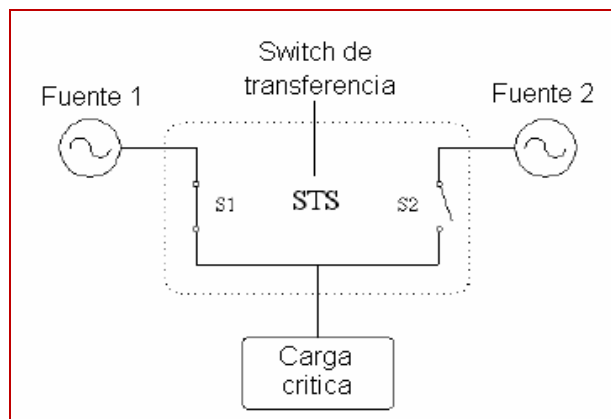


Figura 59. Configuración de la Conexión de un Switch de Transferencia.

Supresores de transitorios.

A los supresores de sobrevoltajes transitorios se les conoce como supresores de picos. La acción de estos protectores es exactamente ésta, la de recortar los sobrevoltajes transitorios, drenando corriente en el caso de los tipo paralelo, presentando una impedancia serie grande en el caso de los tipo serie. Como ya se mencionó, los apartarrayos y los supresores paralelos drenan corriente para sujetar los sobrevoltajes transitorios. Cuando el voltaje debido al disturbio excede cierto valor el dispositivo de protección permite el paso de la corriente ocasionando una caída de potencial en la impedancia de la fuente

Instalación de los supresores de sobrevoltajes y transitorios.

- *Es muy importante que el supresor de transitorios esté cerca de la carga a proteger. En caso de que el supresor esté retirado de la carga y se presente un transitorio con frente de onda muy pronunciado es posible que éste llegue al equipo sensible.*
- *Es importante respetar las categorías de ubicación para los supresores de transitorios en circuitos de alimentación de baja tensión.*
- *Es importante que los supresores cuenten con protección en modo diferencial y en modo común. La protección de modo diferencial es indispensable pero no es suficiente; se requiere de protección de modo común.*
- *Con el propósito de evitar distancias eléctricas importantes es necesario que los supresores de transitorios se conecten con conductores tan cortos como sea posible, sin lazos, sin trenzados y sin curvas pronunciadas.*
- *Los supresores de transitorios no realizarán su función si no se instalan en forma adecuada.*

Unidad de potencia ininterrumpible (UPS).

Se puede plantear en este punto una definición de UPS, una traducción literal del término aceptado mundialmente, UPS (Uninterrumpible Power Supply) sería, Fuente de poder ininterrumpido. Es un equipo o dispositivo capaz de suministrar potencia o energía frente a alguna interrupción de lo que sería el suministro normal de la misma. Además puede agregar otras funciones que terminan mejorando el suministro de energía eléctrica a los equipos sofisticados o de alto riesgo eléctrico que tiene conectados a ella. Entre las cosas que agrega puede contarse un estabilizado de la energía eléctrica entrante, aislación de la fuente de energía de eléctrica normal, filtrado de la energía entrante, corrección de la forma de onda, corrección de la frecuencia de línea, protección a periféricos de las CPU o incluso sus partes, como placas de red o módems, monitoreo de la energía de línea, para optimizar la protección, etc. Puede darse que el agregado de funciones genere distintos tipos o topología de construcción de estos equipos.

Estos pueden operar de dos formas: en línea o como respaldo. Garantizan la continuidad en la alimentación de cargas críticas, sin ningún tipo de transición. Con un inversor con PWM se puede obtener ondas de muy bajo contenido armónico hacia la carga (Ver figura 60).

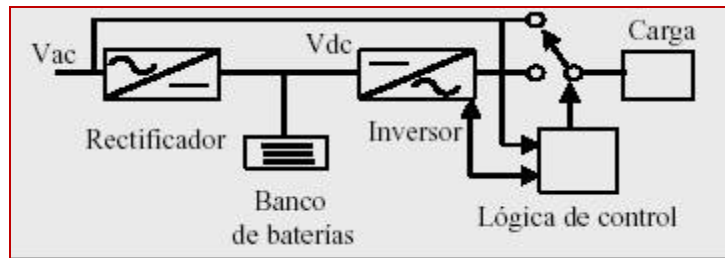


Figura 60. Esquema de un UPS.

El rectificador – cargador clásico del UPS (puente controlador) introduce armónicas hacia el sistema, de magnitudes dependientes de su carga (alimentación del inversor y carga de baterías). Los nuevos UPS están diseñados con rectificadores que emplean la técnica PWM, con baja inyección armónica de baja frecuencia al sistema.

Características y terminologías de las distintas UPS.

Como características importantes que se pueden destacar en nuestras UPS están las siguientes:

- *Estabilizador incluido de amplio rango y rápido tiempo de respuesta.*
- *Excelente capacidad de filtrado.*
- *Comunicación por puerto serie a PC.*
- *Distintas autonomías de acuerdo a las necesidades de cada usuario.*
- *Diseño compacto, ligero y moderno.*

¿Qué problemas soluciona y cuales previene?

Podemos enunciar entre los problemas que se resuelven:

- *Cortes, Cortes prolongados y micro-cortes de energía eléctrica.*
- *Voltaje fuera del especificado por norma.*
- *Caídas de Voltaje.*
- *Ruido.*
- *Sobre impulsos o picos.*
- *Sobre Voltajes o Tensiones elevadas.*

Supresores de transitorios (Transiente Voltaje Surge Supresor - TVSS).

Estos se tratan de un elemento conectado en paralelo con el receptor, que posee una impedancia muy elevada para valores cercanos a la tensión nominal de dicho receptor y muy baja, respecto de la de este, a partir de un valor determinado de tensión superior a la nominal.

Los interruptores termo magnéticos, presentes en todas las redes eléctricas, tienen como función primordial la protección contra sobrecargas, y su tiempo de respuesta se da en el rango de los milisegundos.

A diferencia de estos últimos, los supresores de transitorios (TVSS: Transient Voltage Surge Suppressor) más desarrollados hoy en día tienen un tiempo de respuesta <1 nanosegundo lo que permite que una sobrecarga de muy alta intensidad sea drenada de manera inmediata hacia tierra evitando con ello el daño al equipo conectado.

Características de los supresores de transitorios.

Los supresores de transitorios están hechos con materiales que se sacrifican cuando las condiciones de un transitorio sobrepasan la capacidad del sistema que protege. Estos componentes se dañan pero su costo es sustancialmente inferior al costo de reemplazar el dispositivo que se protege (Ver figura 61).

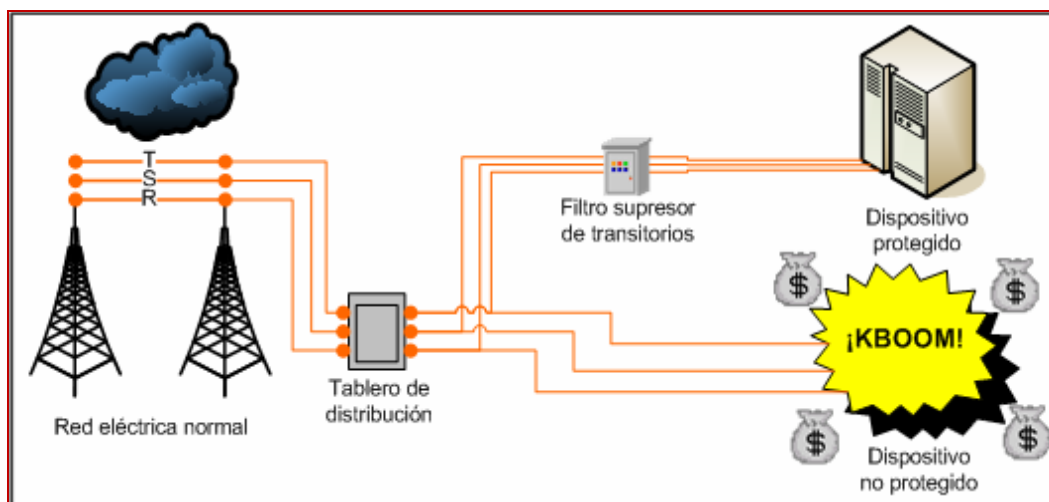


Figura 61. Representación Grafica de uso de Supresores de Energía Eléctrica.

5.4 Puestas a tierras eléctricas.

La red de tierras de una instalación proporciona un elemento de conexión a tierra para los neutros, tanques o carcasas de cada uno de los diferentes equipos ubicados dentro del área de la instalación, por consiguiente es necesario garantizar la seguridad del personal, asegurar la

adecuada detección y eliminar las fallas a tierra del sistema, así como limitar la elevación de potencial en el área de la red sobre el potencial natural del suelo, durante la ocurrencia de una falla a tierra.

Ahora bien, al conectar un electrodo de tierra al neutro de los elementos de la red, se inyectará la corriente a tierra a través de dicho electrodo, lo que producirá elevaciones de potencial dentro y fuera del área de la instalación. De aquí que los criterios básicos para el diseño de la red de una instalación se relacionen con estos potenciales, diferentes al potencial cero normal de la superficie del suelo.

Razones de seguridad para la conexión a tierra.

La razón más importante para la conexión a tierra es la seguridad y, para esto, hay tres aspectos importantes a considerar:

a) La seguridad del personal.

La seguridad del personal es la razón principal por la que todos los equipos deben tener una conexión efectiva a tierra, ésta debe ser diseñada para prevenir la posibilidad de voltajes de contacto o toque elevados cuando se presenta una falla en alguna parte del equipo.

El voltaje de toque, es el voltaje entre cualquiera de las dos superficies conductoras que pueden ser simultáneamente tocadas por un individuo. El cable de tierra puede ser una de estas superficies.

En la práctica no deberían de haber tableros o paneles flotantes en la vecindad de los circuitos eléctricos, en el evento de una falla de aislamiento cualquier carga eléctrica que se presente en el gabinete, tablero o canalización, debe ser drenado a tierra o a un objeto con una conexión a tierra confiable.

b) Conexión para asegurar la operación de los dispositivos de protección.

Una corriente de falla a tierra tiene una trayectoria de retorno al punto donde la fuente de potencial tiene su conductor de neutro aterrizado y es una acción esencial de seguridad. Una falla de aislamiento o alguna otra falla que permite que un conductor de fase haga contacto con un gabinete, por lo que debe de encontrar una trayectoria de baja impedancia de regreso al neutro de la fuente. La sobre corriente resultante producirá que el interruptor o fusible desconecten el circuito fallado en forma inmediata. De acuerdo con la norma para instalaciones eléctricas (NOM-001-SEDE-2005), una trayectoria eléctrica de tierra debe tener los siguientes atributos:

- *Permanente y continua.*
- *Tener capacidad para conducir en forma segura cualquier corriente de falla.*
- *Tener una impedancia suficientemente baja para limitar el voltaje a tierra y facilitar la operación de los dispositivos de protección del circuito.*
- *La tierra no se deberá usar como un conductor de tierra aislado.*

C) Control del ruido.

El objetivo principal de la conexión a tierra para el control del ruido es crear un sistema de tierra equipotencial, las diferencias de potencial entre diferentes puntos de tierra pueden producir esfuerzos dieléctricos en los aislamientos, creando corrientes de tierra circulante en los cables de baja tensión e interferencia con el equipo sensible, que puede ser conectado a tierra en puntos múltiples.

La igualación de las diferencias de voltaje a tierra entre las partes de un procesador de datos automático se hace cuando los equipos conectados a tierra están conectados al punto de tierra de una fuente de alimentación única. Sin embargo, si la longitud de los conductores de tierra es grande, es difícil lograr un potencial constante, particularmente para el ruido de alta frecuencia.

Clasificación de las redes de tierra.

Por lo general las normas internacionales dividen a las redes de tierra en las clases siguientes:

a) Puestas a tierra para protección.

Partiendo de la base de que es necesario conectar eléctricamente al suelo todas aquellas partes de las instalaciones eléctricas que no se encuentran sujetas a tensión normalmente, pero que pueden tener diferencias de potencial a causa de fallas accidentales, tales partes pueden ser: los tableros eléctricos, el tanque de los transformadores o interruptores, la carcasa de las máquinas eléctricas y en general todos los soportes metálicos de equipos y aparatos.

b) Puesta a tierra para funcionamiento.

En un sistema eléctrico es necesario establecer una conexión a tierra en determinados puntos de la instalación eléctrica con el fin de mejorar el funcionamiento, una mayor seguridad o una mejor regulación de voltaje, estos puntos del sistema por conectar a tierra pueden ser: la conexión a tierra de los neutros de los generadores, de los transformadores en los devanados

conectados en estrella, la conexión a tierra de los pararrayos de los hilos de guarda, de los transformadores de potencial y algunos otros.

c) Puesta a tierra para trabajo.

Con frecuencia durante las actividades de trabajo en una instalación eléctrica como son mantenimiento, ampliaciones, reparaciones, etc., es necesario realizar conexión a tierra temporales con partes de la instalación puestas fuera de servicio con el fin de que sean accesibles sin peligro para los trabajos a realizar.

La resistencia eléctrica de tierra debe ser tal que limite la máxima caída de tensión que puede aparecer entre una estructura y el suelo dentro de los límites de seguridad que se establezcan.

El valor de la resistencia que es necesario tener en la conexión a tierra debe resultar menor a medida que la corriente de falla a tierra resulte más grande.

Objetivos de la conexión a tierra.

- *Reducir el riesgo de choques eléctricos al personal.*
- *Proporcionar una trayectoria de baja impedancia para la corriente de falla a tierra, necesaria para garantizar la operación oportuna de los dispositivos de protección contra sobre corriente.*
- *Facilitar la operación del equipo eléctrico.*

Ventajas de un sistema eficazmente conectado a tierra.

- *Garantiza la seguridad del personal y del sistema eléctrico en general.*
- *Mínima radio interferencia.*
- *Facilidad de localizar fallas.*
- *Aplicación satisfactoria de relevadores.*
- *Niveles mínimos de aislamiento y estabilidad.*

6. Normas de la calidad de la energía.

El funcionamiento de los dispositivos y sistemas eléctricos, electrónicos y electromecánicos no eran generalmente sensibles, (en el pasado), a las perturbaciones electromagnéticas. Los problemas de susceptibilidad provenían en su mayor parte de los fenómenos de baja frecuencia como armónicos ó las interrupciones de tensión. Los componentes y equipos electrónicos utilizados actualmente, son mucho más sensibles a estas perturbaciones, particularmente a los

fenómenos transitorios. La considerable expansión en la utilización de los dispositivos y equipos eléctricos ha incrementado el impacto y el peligro derivado del mal funcionamiento, averías, entre otros, que pueden provenir de las perturbaciones electromagnéticas por lo cual en la década de los ochentas se han venido desarrollando a nivel mundial normativas técnicas en el área de la Calidad de la Energía Eléctrica para poder mitigar los efectos de las perturbaciones antes mencionadas o en su defecto poder controlarlas antes de que puedan causar grandes pérdidas económicas, ya que es un tema de gran importancia a nivel mundial.

Entre las instituciones de normalización reconocidos a nivel internacional están:

- *Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI).*
- *Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (IEEE).*
- *Comisión Internacional de Electromecánica (IEC).*
- *Conferencia Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE).*
- *Comité Europeo de Normalización (CEN).*
- *Consejo de Estándares de Canadá (SCC).*

En México la institución encargada de llevar a cabo las normas necesarias para una buena calidad de la energía eléctrica en el país.

- **Comisión Reguladora de Energía (CRE).**

Por lo general cada país desarrolla sus propias normas técnicas. Los casos más importantes a nivel mundial y que han servido de referencia a muchos países han sido la IEEE de origen Norte Americano y la IEC de origen Europeo. Desde que inicio el estudio de la calidad de potencia, hace 20 años cada organismo comenzó el desarrollo de sus normas con diferentes criterios que aún se mantienen aunque en algunos temas como el del Flicker, actualmente existe una unificación entre normativas donde la IEEE adoptó lo establecido por la IEC. En general en el resto de los temas de la calidad de potencia la IEEE se ha “aventurado” a dar Límites que todavía la IEC no ha asumido. La IEEE sugiere los límites mediante recomendaciones avaladas igualmente por la ANSI, enfocados a empresas de distribución de energía. La IEC define los requisitos de los productos que serán instalados en las redes, a cualquier nivel de tensión, pero fundamentalmente por parte del usuario final bien sea residencial, comercial o industrial en términos de emisión y de inmunidad. La IEC ha manejado la calidad de la energía eléctrica desde la causa. En cambio la IEEE plantea los límites de un sistema es decir, se maneja desde el lado opuesto.

6.1 Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (IEEE), ANSI.

<p>IEEE 1159-1995. "Monitoreo de la Calidad de la Energía"</p>	<p>Esta establece como, donde, por que, cuando etcétera monitorear los parámetros de la calidad de la energía eléctrica. Su sección mas referenciada es la tabla que clasifica o caracteriza fenómenos de calidad de la energía eléctrica.</p>
<p>IEEE 519-1992. "Recomendaciones Practicas y Requerimientos para el Control de Armónicas en Sistemas Eléctricos"</p>	<p>Esta recomendación establece límites de armónicas tanto de tensión como de corriente en un punto común de acoplamiento. Para la tensión se establecen límites en función del nivel y el de corriente en función del nivel de corto circuito y la máxima corriente de carga.</p>
<p>IEEE/ANSI C57-110-98. "Recomendaciones Practicas para el establecimiento de la capacidad de transformar Suministros de Corrientes de Cargas No-Sinoidales"</p>	<p>Esta norma establece el procedimiento para calcular el tamaño adecuado y factor K de transformadores para alimentar cargas no lineales.</p>
<p>IEEE Std 1100-1999 (Libro Esmeralda). "Recomendaciones Practicas para Impulsos Cargas Sensitivas"</p>	<p>Esta norma establece recomendaciones en el cableado y puesta a tierra para instalaciones con cargas sensitivas.</p>
<p>ANSI C84.1-1995. Sistemas Eléctricos Equipo y Posiciones de Voltaje</p>	<p>Esta norma ANSI establece los niveles de tensión normalizado y sus niveles de regulación desde baja tensión, media y alta tensión.</p>

Tabla 10. Resumen de las Normas IEEE Relacionadas con la Calidad de la Energía Eléctrica.

6.2 Comisión Internacional de Electromecánica (IEC).

La IEC ha abordado el tema de la Calidad de la Energía eléctrica (Power Quality) con la publicación de una serie de documentos, pero el que fungió principalmente en la década de los 80 fue la serie IEC-555 publicada en el año de 1982 la cual se enfocaba a limitar los niveles de Armónicos y Flicker a nivel de la carga. También estuvo la IEC 868 la cual presentaba la metodología de medición del Flicker. La evolución de este tema causó que estas normas sufrieran cambios a mediados de los 80 y finalmente publicadas en 1990, donde se establece la serie IEC 61000, denominada "Compatibilidad Electromagnética" la cual está conformada por seis títulos:

- Aspectos Generales.

- *Entorno Electromagnético.*
- *Límites de Perturbaciones.*
- *Pruebas y Técnicas de Medición.*
- *Guía de Instalación y Mitigación.*
- *Normas Genéricas.*

	Título	Documentos
IEC 61000-1-X	<i>Aspectos generales</i>	<i>IEC 61000-1-1 IEC 61000-1-2</i>
IEC 61000-2-X	<i>Entorno electromagnético</i>	<i>IEC 61000-2-1 IEC 61000-2-2 IEC 61000-2-4 IEC 61000-2-6 IEC 61000-2-10</i>
IEC 61000-3-X	<i>Límites de perturbaciones</i>	<i>IEC 61000-3-2 IEC 61000-3-4 IEC 61000-3-6</i>
IEC 61000-4-X	<i>Pruebas y técnicas de medición.</i>	<i>IEC 61000-4-7 IEC 61000-4-13</i>
IEC 61000-5-X	<i>Guía de instalaciones y mitigación.</i>	<i>IEC 61000-5-6</i>
IEC 61000-6-X	<i>Normas generales.</i>	<i>IEC 61000-6-1 IEC 61000-6-2 IEC 61000-6-3 IEC 61000-6-4</i>

Tabla 11. Estructura de la Serie IEC 61000.

IEC 61000-4-30:

Esta norma define el método de medida e interpretación de resultados para parámetros de calidad de energía eléctrica en sistemas monofásicos y trifásicos de 50/60 Hz. Es una especificación de desempeño, no una especificación de diseño, proporcionando métodos de medida sin umbrales. Los parámetros de calidad de la energía eléctrica incluidos en esta norma: Frecuencia, Desbalance en el suministro del voltaje, Magnitud del voltaje suministrado, armónicas en corriente y voltaje, Flicker, interarmónicos, Transitorios de Voltaje, Cambios rápidos de voltaje, Interrupciones de voltaje, Señalamientos principales, Disminución y aumentos en voltaje suministrado. Un instrumento Clase A dentro de la especificación medirá el voltaje y la corriente a la exactitud del 0.1 %. Este significa que la forma de onda de 50Hz debe ser medida en 256 muestras por ciclo. La exactitud dependerá del método de la medida y debe ser hecha a

través de 10 períodos de ciclo contiguos (en 50Hz) es decir una ventana de 200 mseg. Las medidas de mayor duración están basadas en conjuntos de medición cada 10 ciclos durante 3 segundos, 10 minutos y 2 horas. Los Sags (baja de voltaje) y Swells y duraciones de interrupción deben estar basados en mediciones RMS de medio ciclo. ¿A que se refiere un instrumento Clase A?. Exactitud Clase A significa que los instrumentos pueden ser usados para aplicaciones contractuales, verificando el cumplimiento con estándares, y resolviendo disputas. Cualquier instrumento que cumpla con la norma IEC 61000-4-30 Clase A, sin tener en cuenta el fabricante leerá las mismas medidas para el mismo parámetro.

6.3 Normas Técnicas Mexicanas (La Ley del Servicio Público de Energía).

En México está establecida La Ley del Servicio Público de Energía, en este reglamento se encuentran establecidos los lineamientos que se deben de seguir con todo lo relacionado a la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

En La Ley del Servicio Público de Energía nada más en el capítulo V hace referencia a datos técnicos de la calidad de la energía eléctrica, y los parámetros que señala solo son:

- Tensión eléctrica.
- La frecuencia.

A continuación presentamos textualmente lo que dictamina el capítulo V.

Capítulo V

Del Suministro y la Venta de Energía Eléctrica

Artículo 18.- El suministrador deberá ofrecer y mantener el servicio en forma de corriente alterna en una, dos o tres fases, a tensiones altas, media o baja, disponibles en la zona de que se trate, observando lo siguiente:

I. Que la frecuencia sea de 60 Hertz, con una tolerancia de 0.8 por ciento en más o en menos, y

II. Que las tolerancias en el voltaje de alta, media o baja tensión no excedan de diez por ciento en más o en menos y tiendan a reducirse progresivamente.

La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es la encargada de dictaminar la normatividad de la energía eléctrica en México, y también todo lo relacionado a la calidad de energía eléctrica.

La CRE lleva a cabo un proyecto que ha elaborado hasta el momento en la definición de calidad, posibles mecanismos regulatorios y su aplicación en marco legal vigente y bajo posibles modificaciones.

Como siguiente etapa será necesario realizar un diagnóstico fiable de la factibilidad de aplicación de los diferentes índices de calidad, de acuerdo con los sistemas de información y tecnologías de medición actualmente disponibles en las entidades prestadoras del servicio.

Se definirán los índices que aplicaran en cada uno de los rubros y las sanciones tomando en cuenta principio regulatorios bien definidos, un posible proceso de consulta con las entidades deberá definir de manera final los términos y condiciones de calidad en la prestación del servicio público de electricidad tanto para el marco legal vigente como posibles modificaciones.

La CRE espera contar con el valioso apoyo de la experiencia de miembros del ARIAE para el desarrollo exitoso de este proyecto.

7. Caso práctico de Estudio de Calidad de la Energía Eléctrica.

Reporte de Estudio de Calidad de la Energía Eléctrica, Realizado en la Maquina MAN y en el Secundario del Transformador Principal 225kVA.

Empresa: GRUPO FOGRA, S.A. de C.V.

Mayo, 2007. México, DF.

Antecedentes:

Atendiendo el requerimiento de Javier Van Cauwelaert, realizamos un estudio para evaluar la calidad de la energía.

Las actividades en campo consistieron en:

Sitio de la Medición	Duración	Fecha
Secundario del Transformador 225 kVA.	24 hrs.	Del 29 al 30 de Mayo 2007
Secundario del Transformador 175 kVA, Maquina MAN.	24 hrs.	Del 29 al 30 de Mayo 2007

Las mediciones eléctricas se realizaron con dos analizadores de redes trifásicos de la marca Dranetz-BMI, Power Guía 4400.

El equipo fue programado para capturar disturbios eléctricos de calidad de la energía, por ejemplo para determinar las caídas o subidas de voltaje se utilizaron umbrales de $\pm 10\%$ del valor nominal, por lo que si el voltaje excede alguno de estos valores el equipo registra e identifica el evento proporcionando el tipo de disturbio así como su magnitud y duración.

De manera similar se fijaron umbrales para voltajes transitorios, fallas en las formas de onda y distorsiones en voltaje.

7.1 Reporte de mediciones.

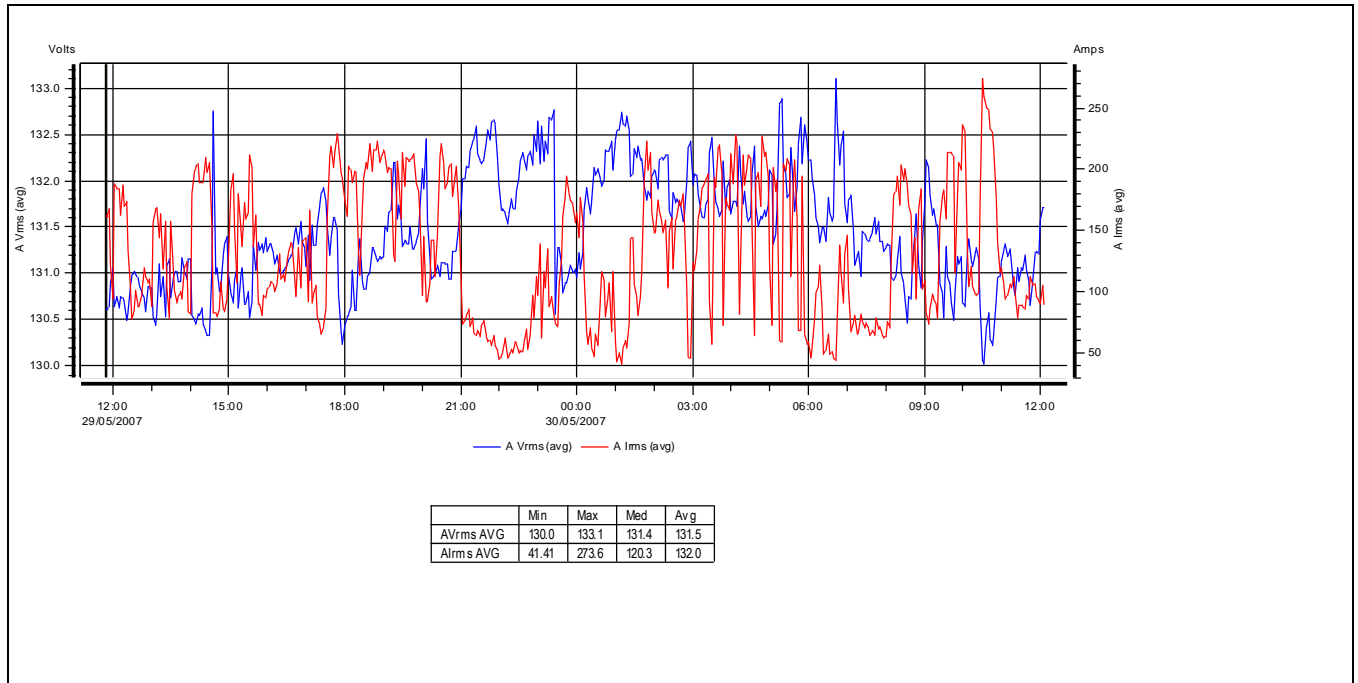
El reporte de las mediciones realizadas en cada uno de los sitios bajo análisis incluye:

- a) Gráficas del comportamiento del voltaje y la corriente por fase.
- b) Gráficas del comportamiento de la potencia real y del factor de potencia trifásicos.
- c) Gráficas del comportamiento de la potencia reactiva trifásica.
- d) Gráficas del comportamiento de la potencia aparente.
- e) Gráficas del comportamiento del factor de distorsión armónica de voltaje y corriente por fase.
- f) Formas de onda y espectros armónicos típicos de las señales de voltaje y corriente.
- g) Gráficas de los disturbios eléctricos más representativos en caso de haberse registrado alguno(s).
- h) Al final de las mediciones en cada punto, se incluyen una serie de observaciones y recomendaciones.

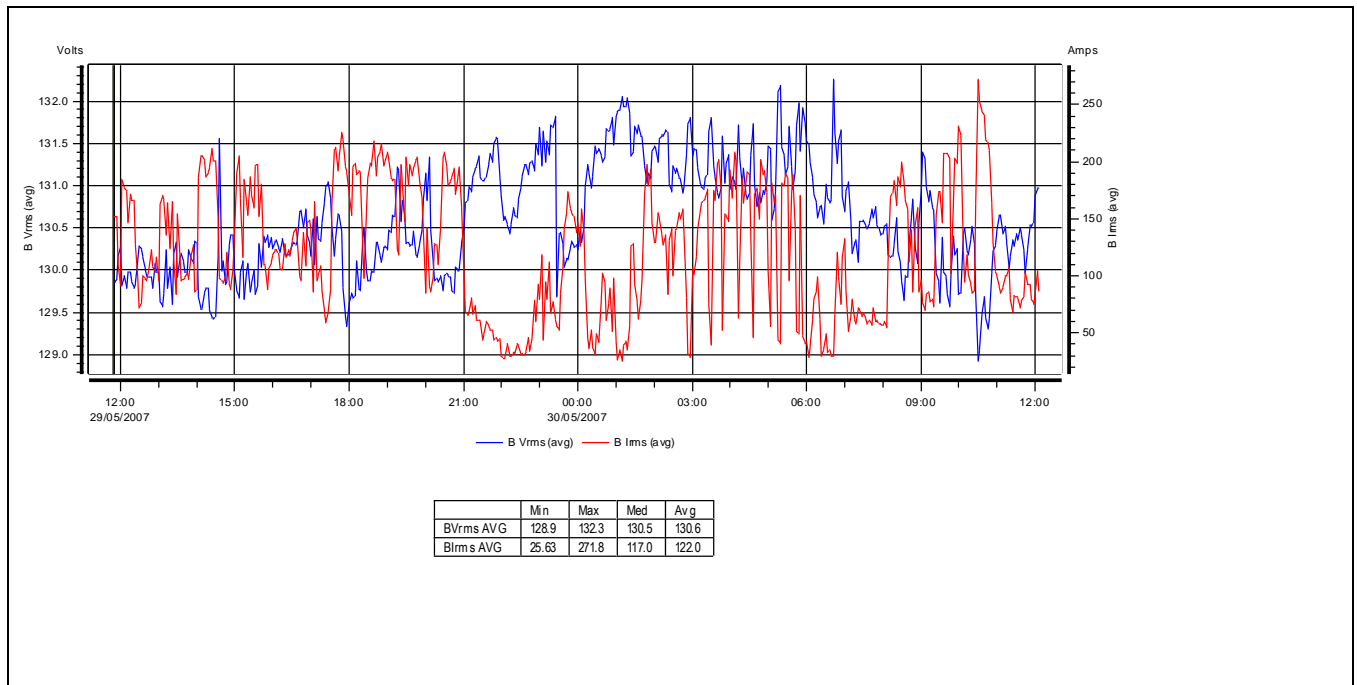
**7.2 Secundario Transformador Principal,
Marca ISSA, # 060106-1
225 kVA, Z%=4.1,
23,000/220-127 V.
Conexión Y- Δ**

(Del 29 al 30 de Mayo 2007)

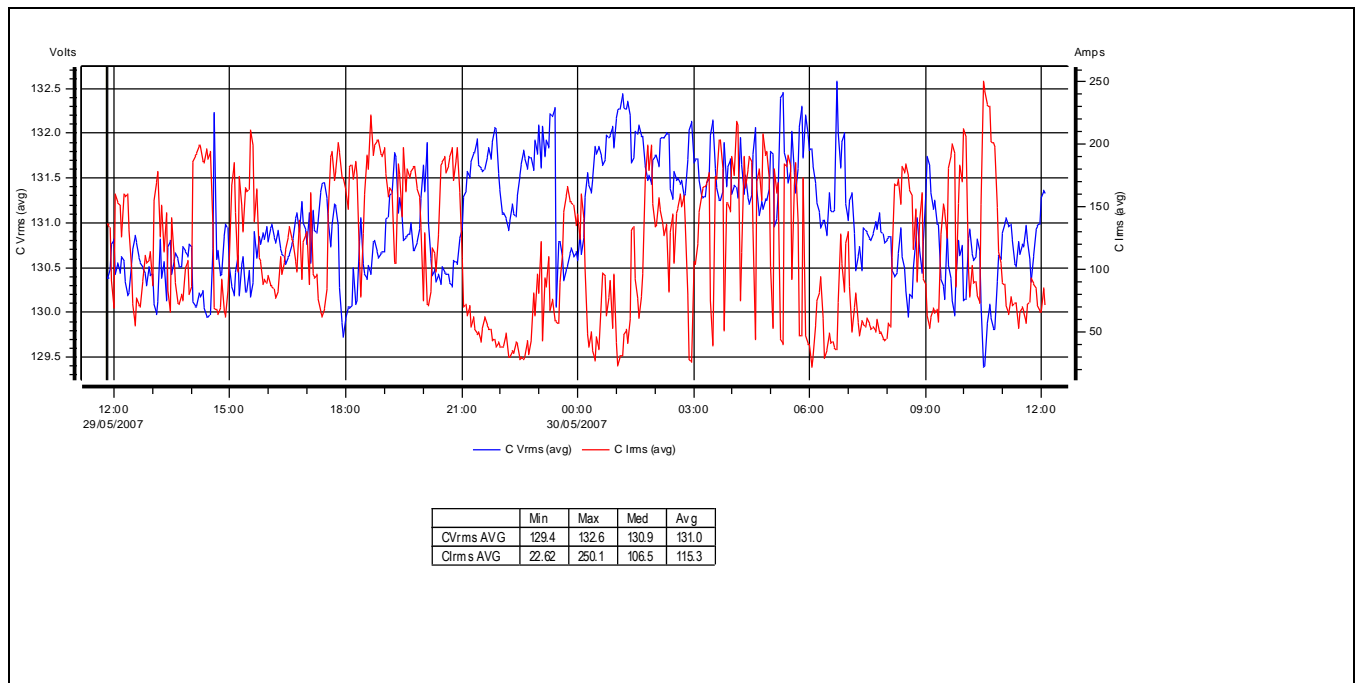
a) Comportamiento de la tensión de la fase A y la corriente de la fase A.



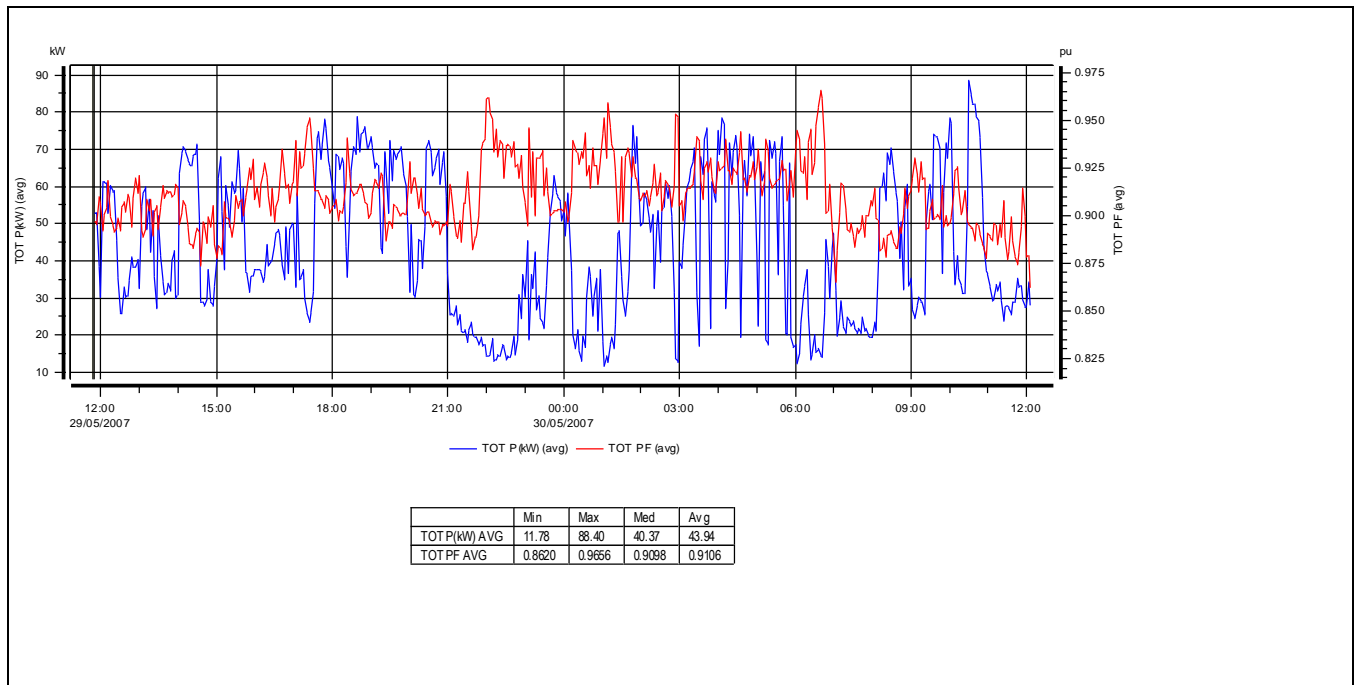
Comportamiento de la tensión de la fase B y la corriente de la fase B.



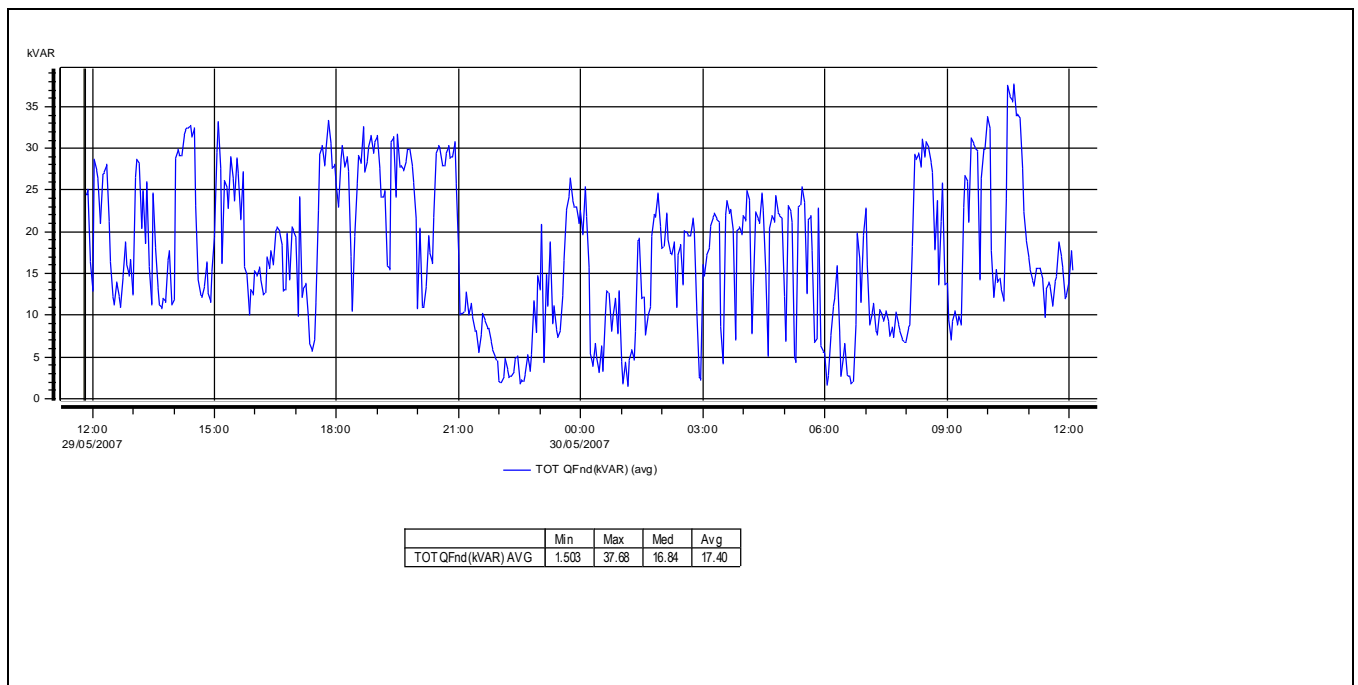
Comportamiento de la tensión de la fase C y la corriente de la fase C.



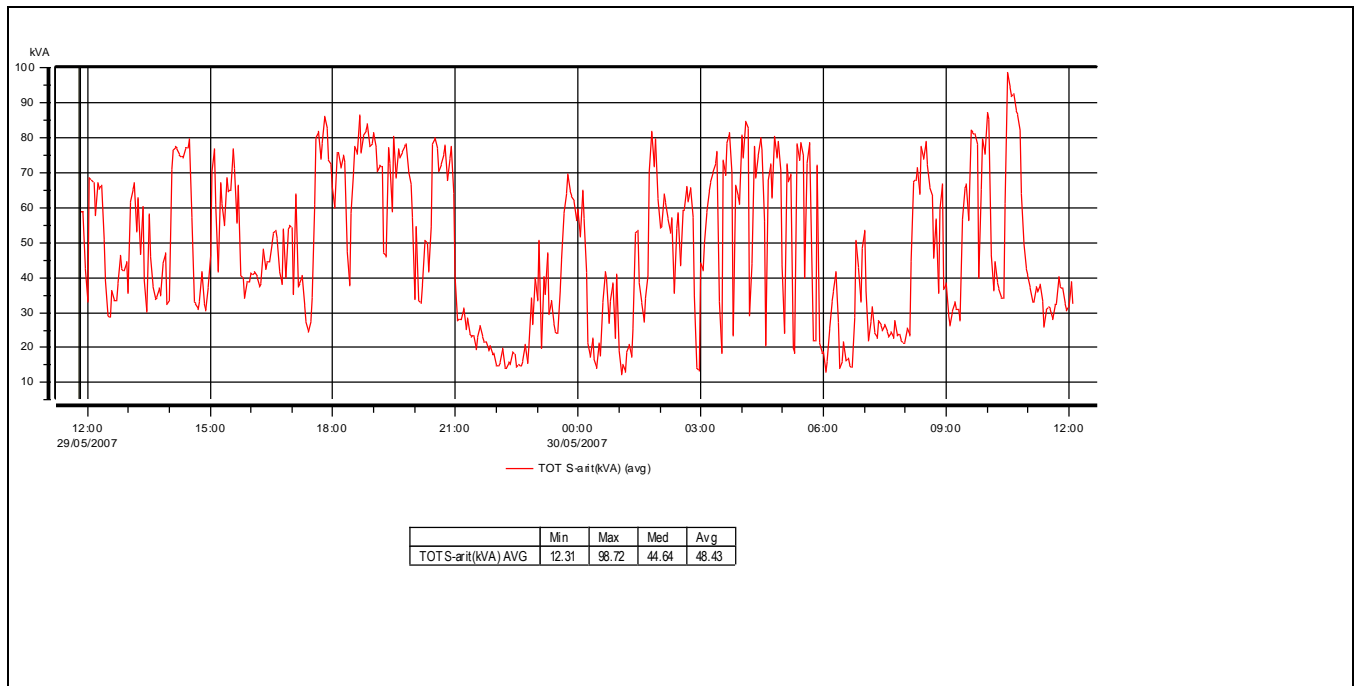
b) Comportamiento de la potencia real y del factor de potencia trifásicos.



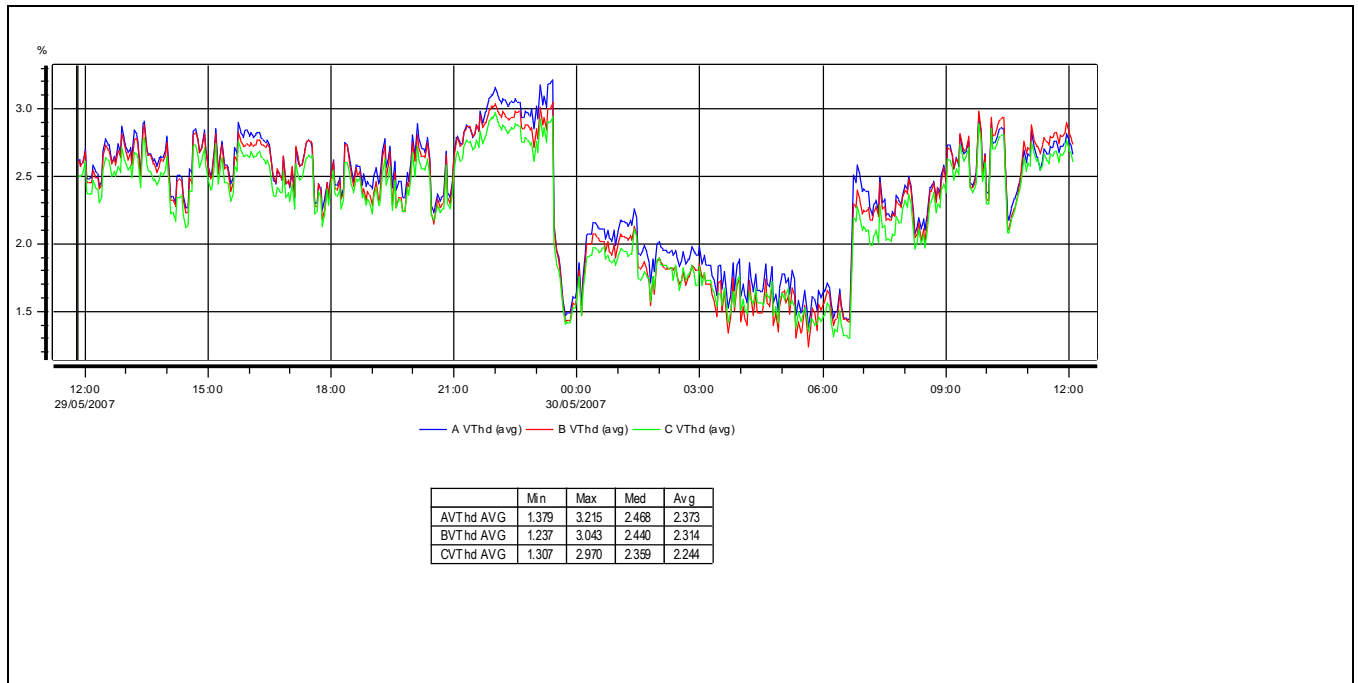
c) Comportamiento de la potencia reactiva trifásica.



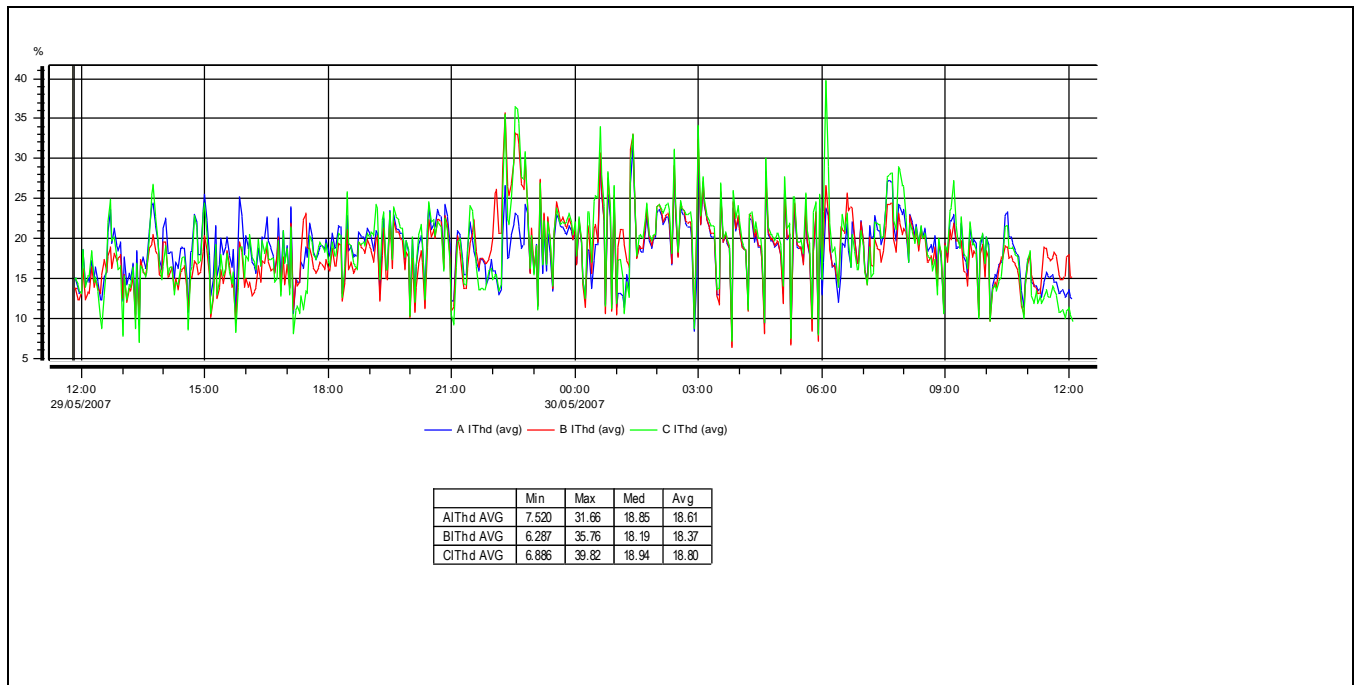
d) Comportamiento de la potencia aparente trifásica.



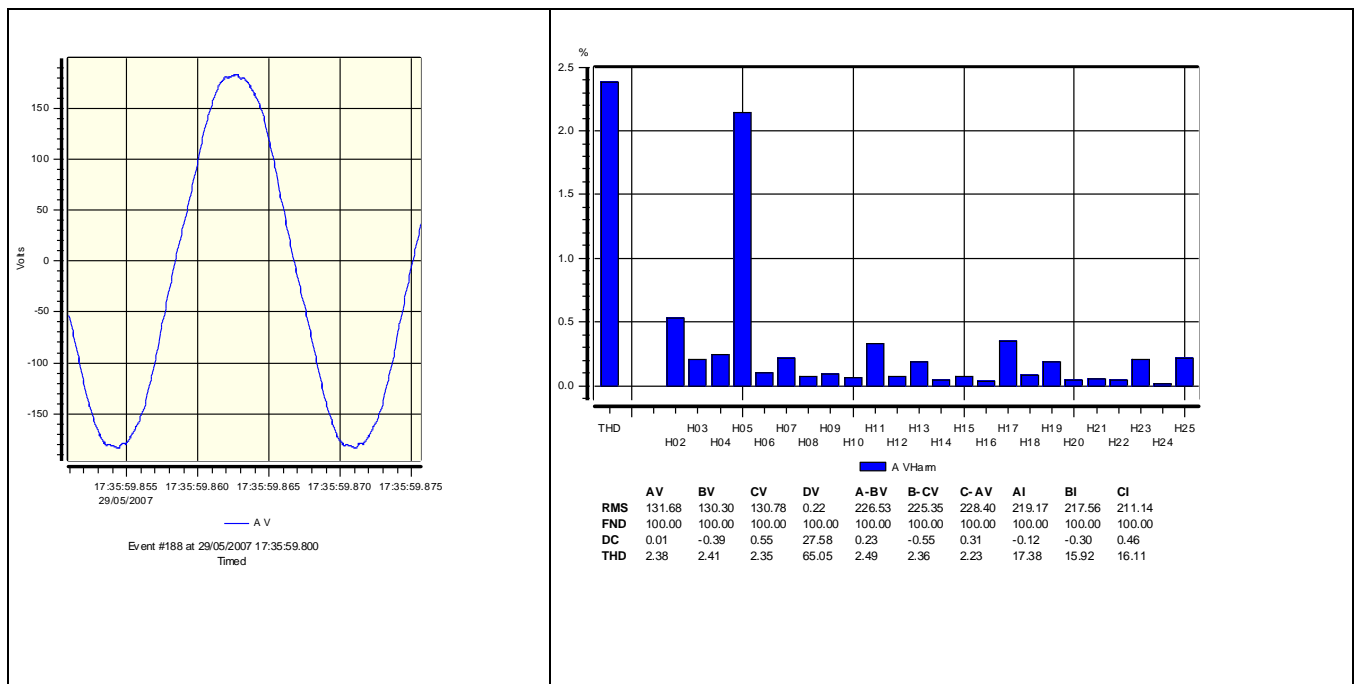
e) Comportamiento de la distorsión armónica de tensión por fase.



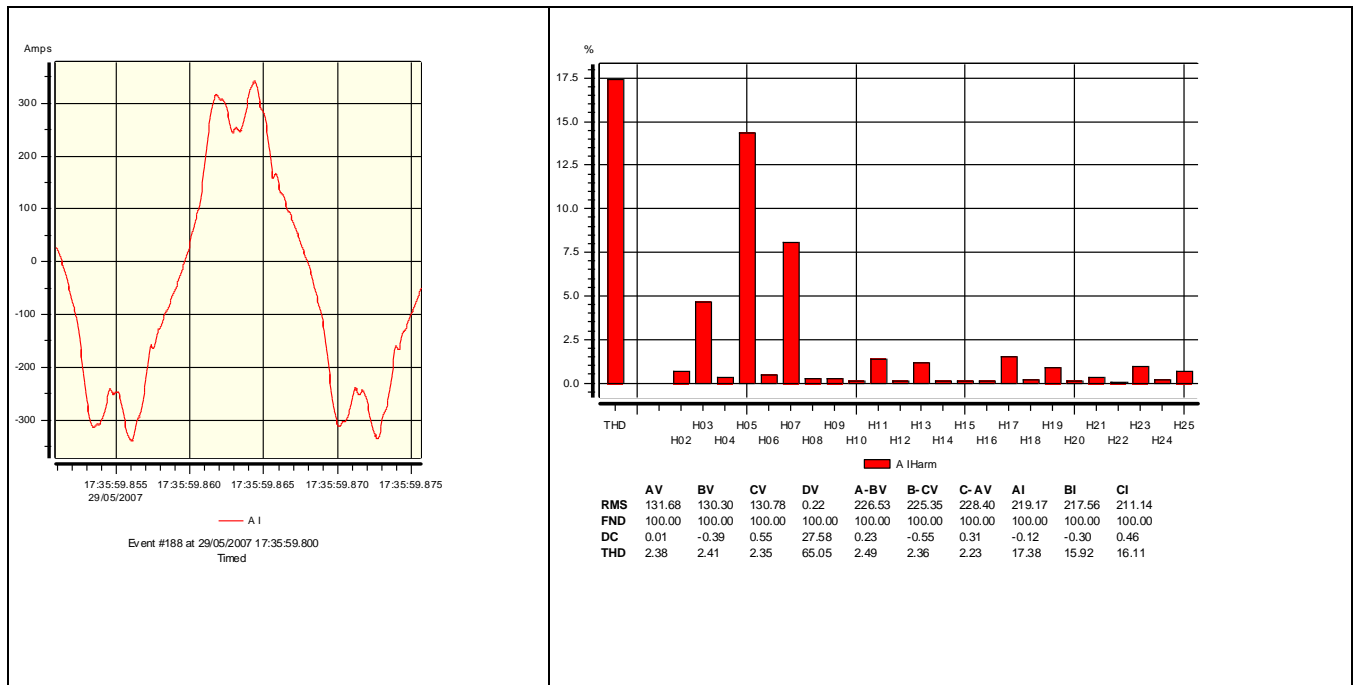
Comportamiento de la distorsión armónica de corriente por fase.



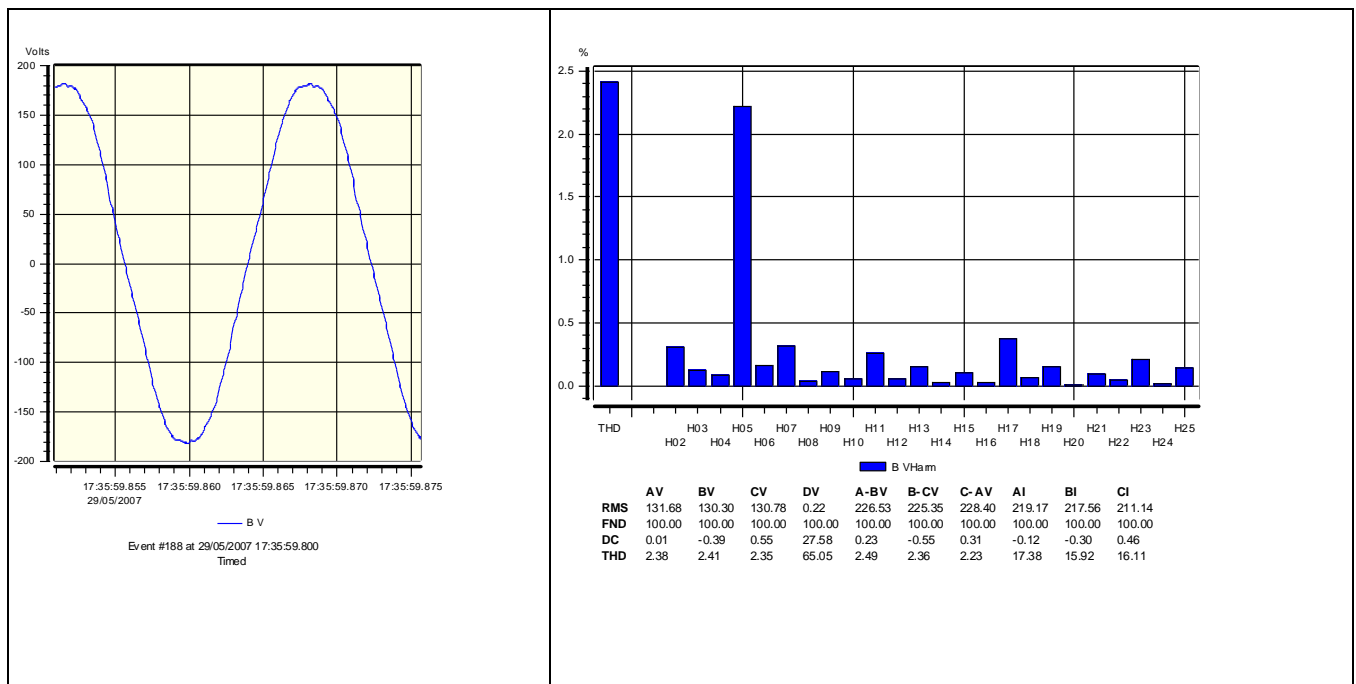
f) Forma de onda y espectro armónico en tensión de la fase A.



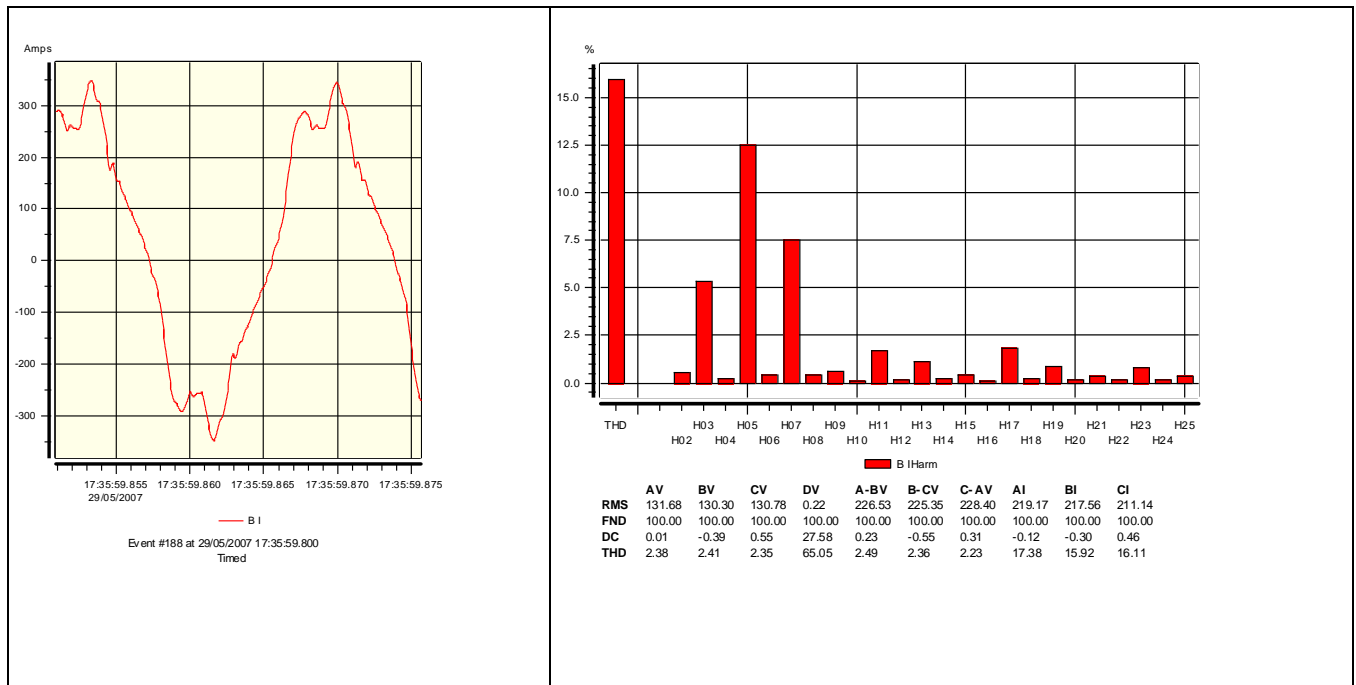
Forma de onda y espectro armónico en corriente de la fase A.



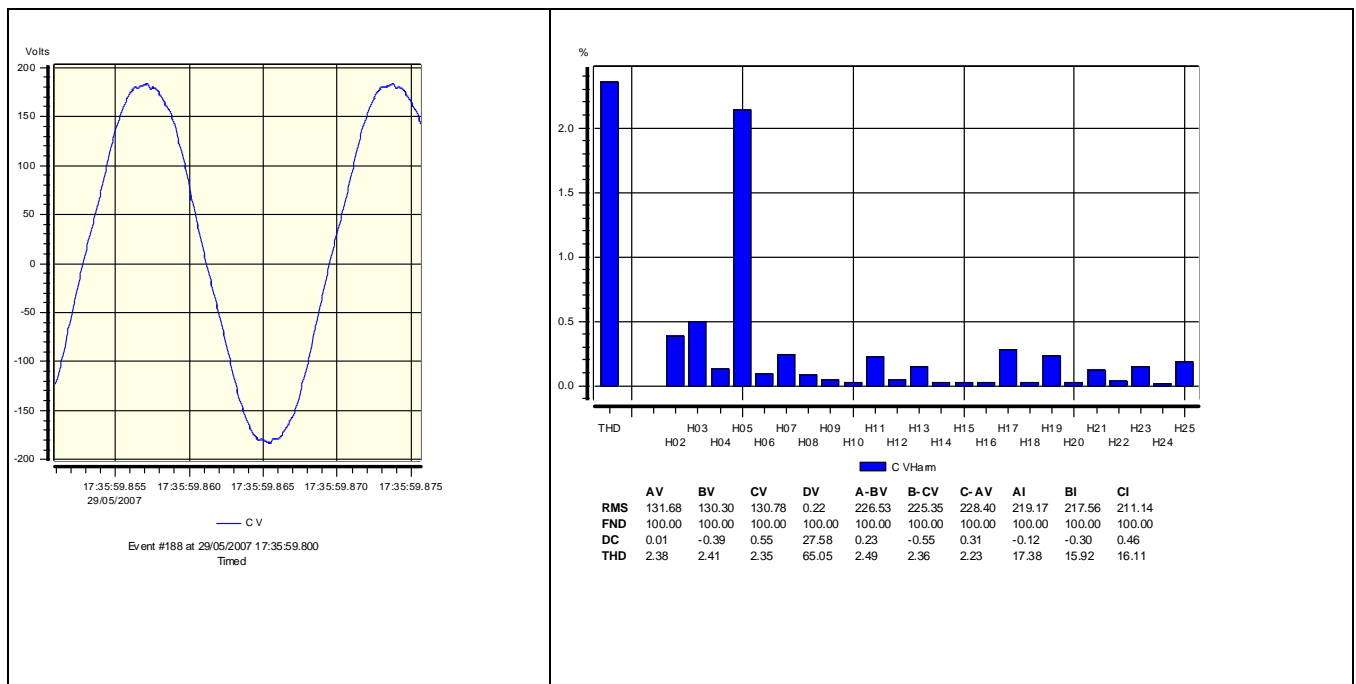
Forma de onda y espectro armónico en tensión de la fase B.



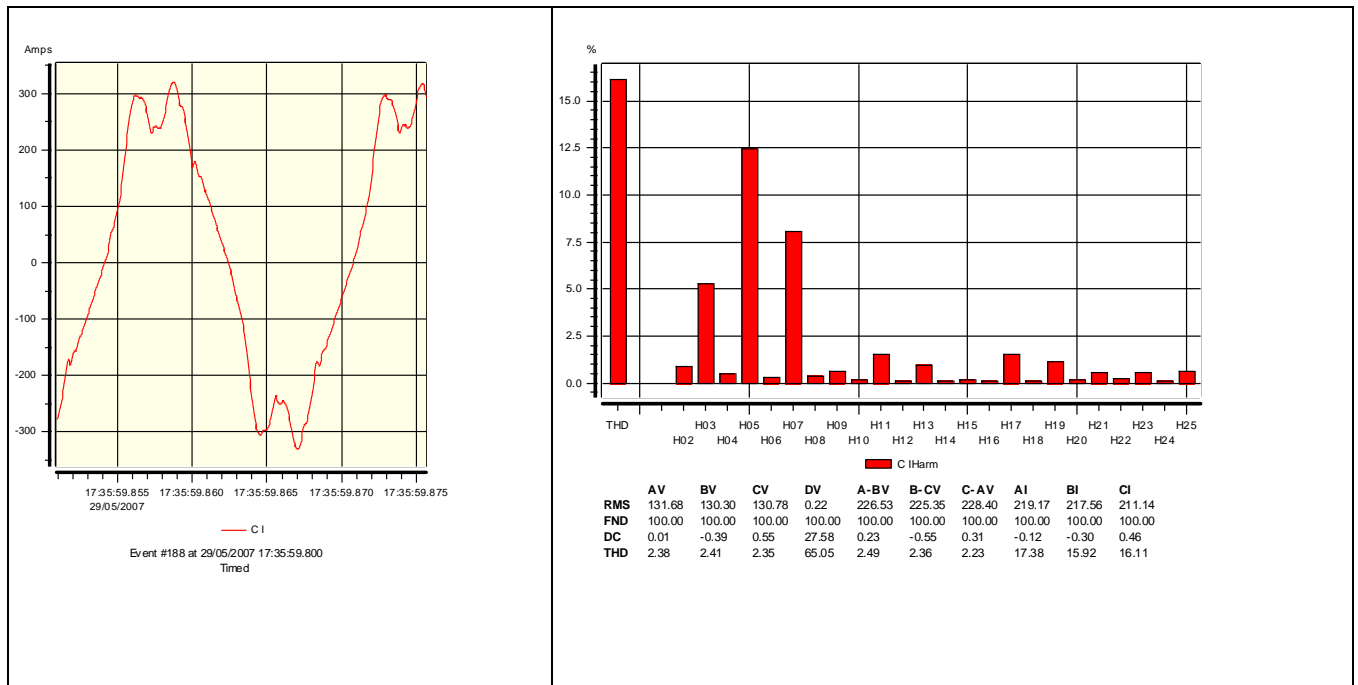
Forma de onda y espectro armónico en corriente de la fase B.



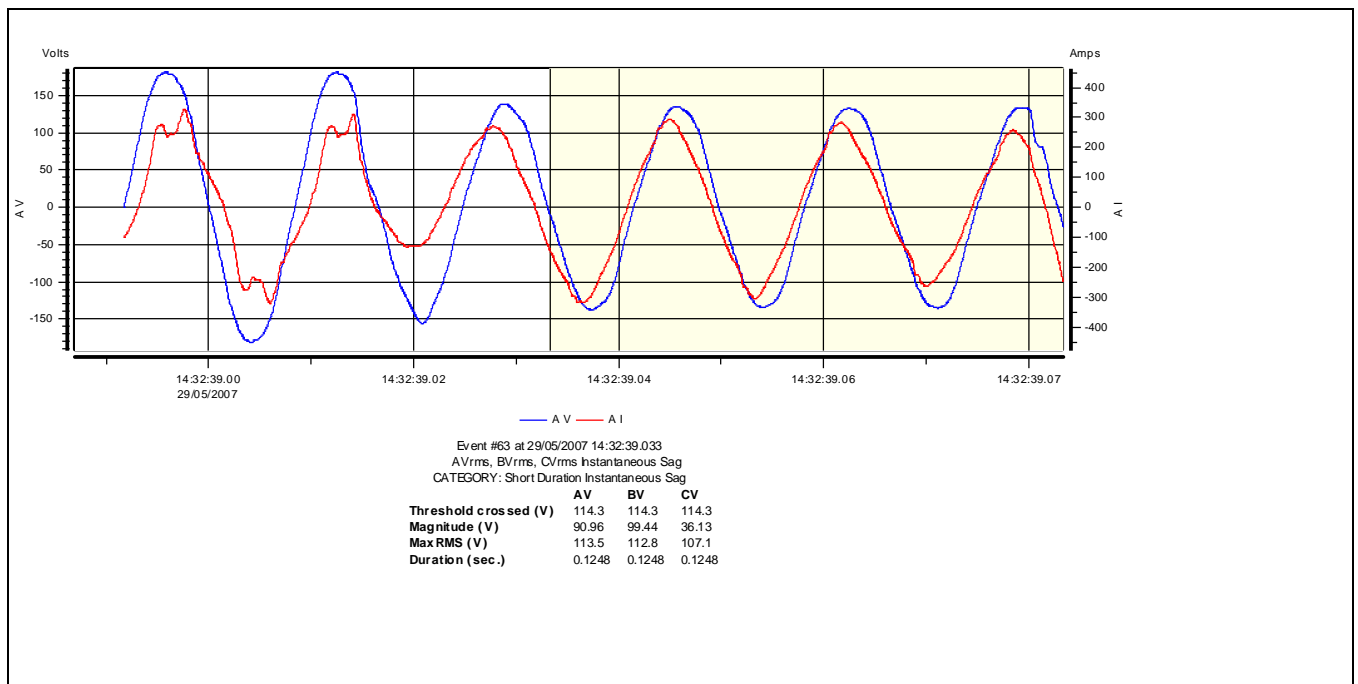
Forma de onda y espectro armónico en tensión de la fase C.



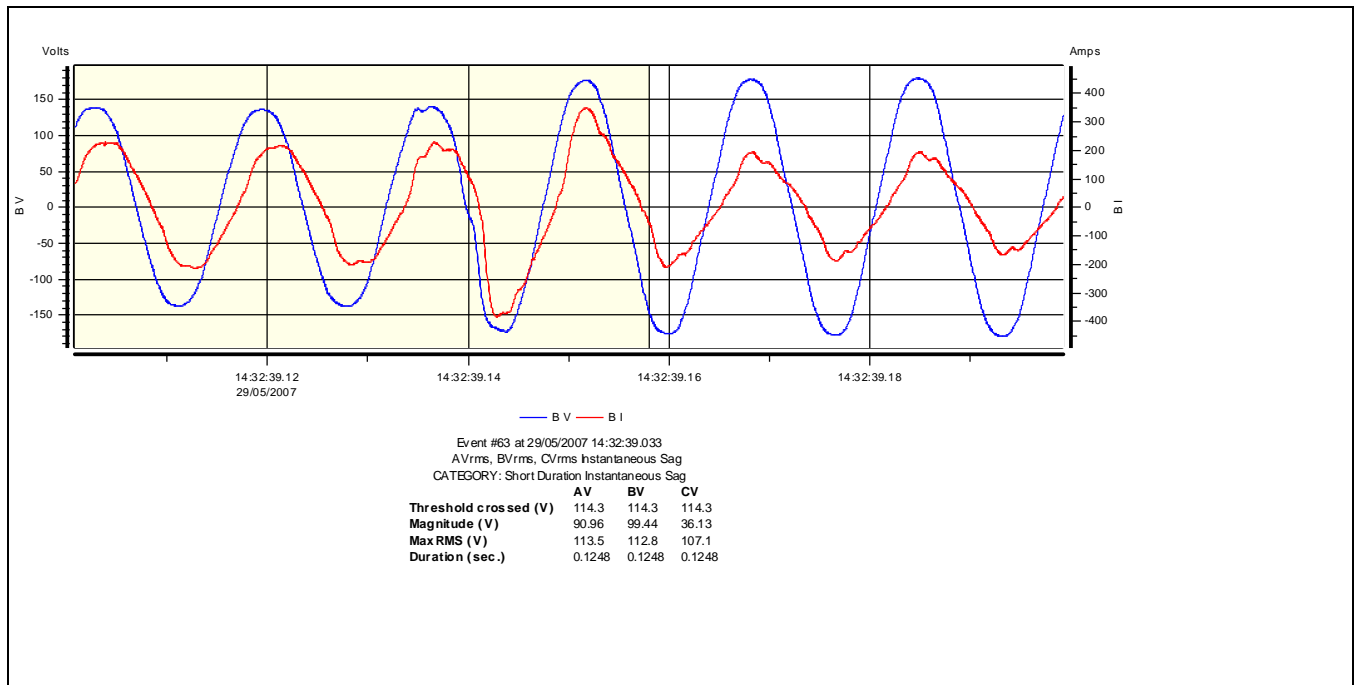
Forma de onda y espectro armónico en corriente de la fase C.



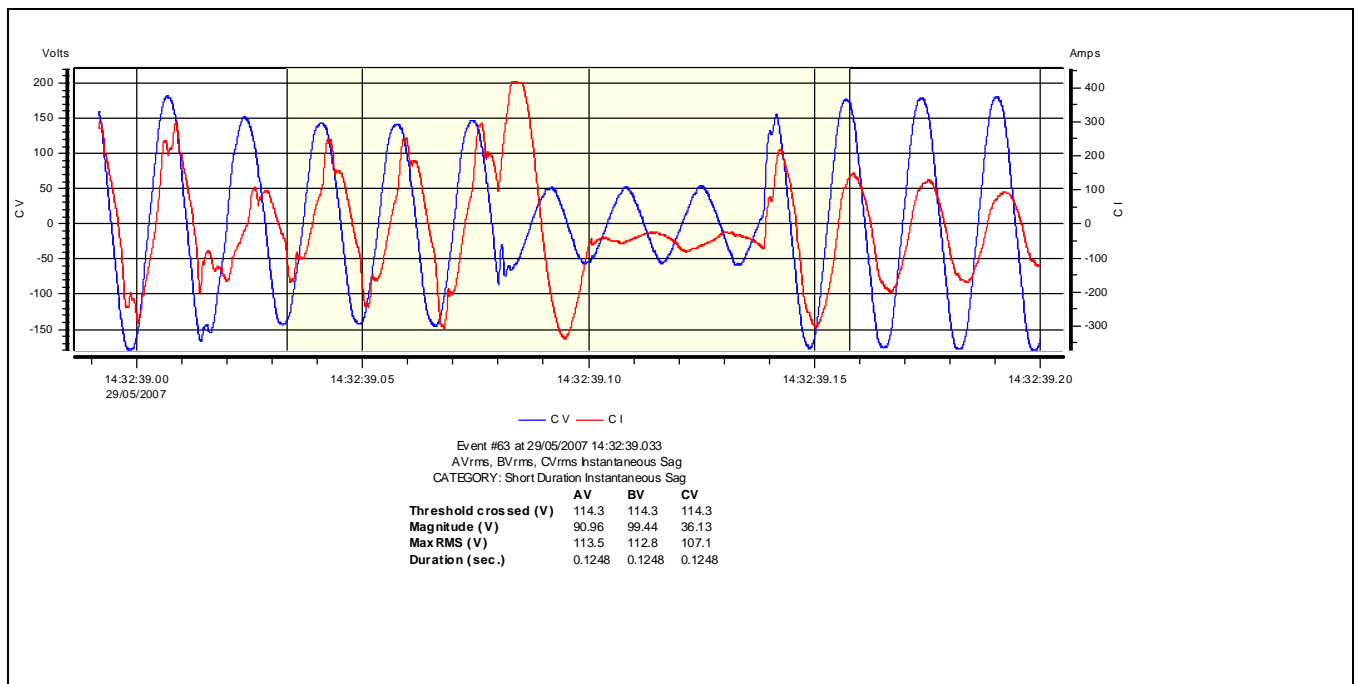
g) Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



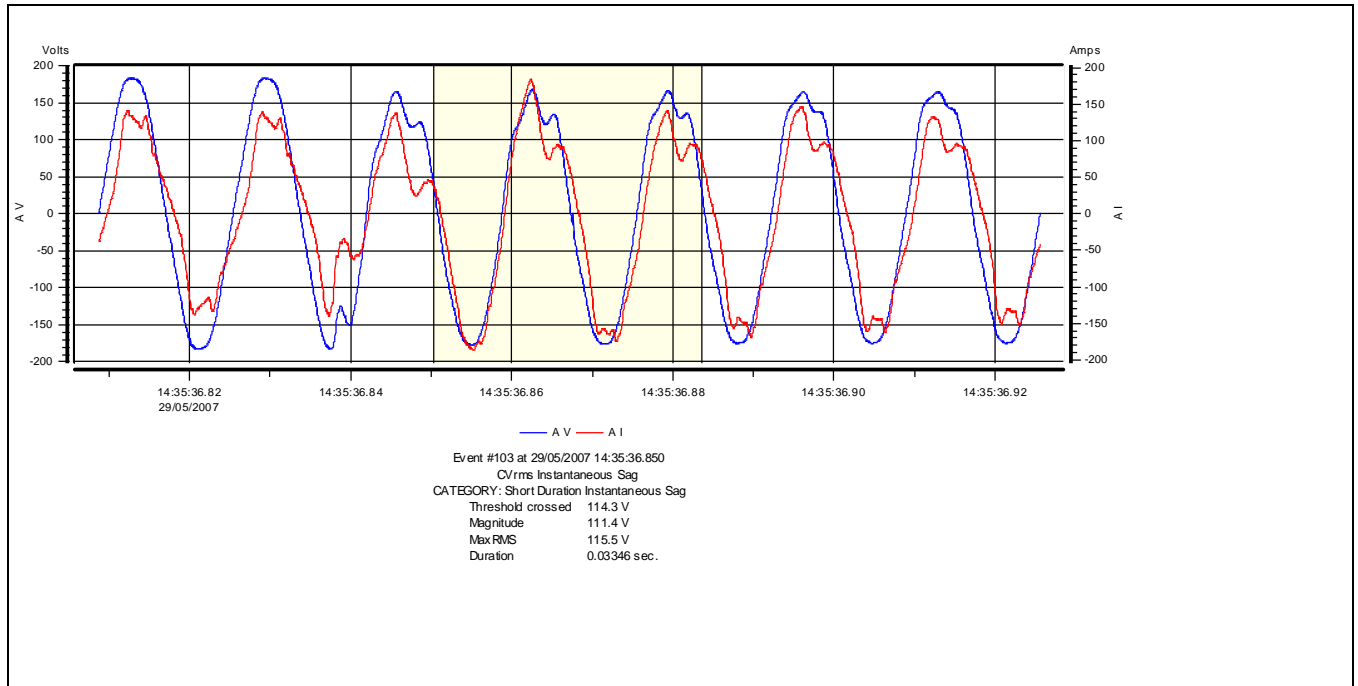
Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



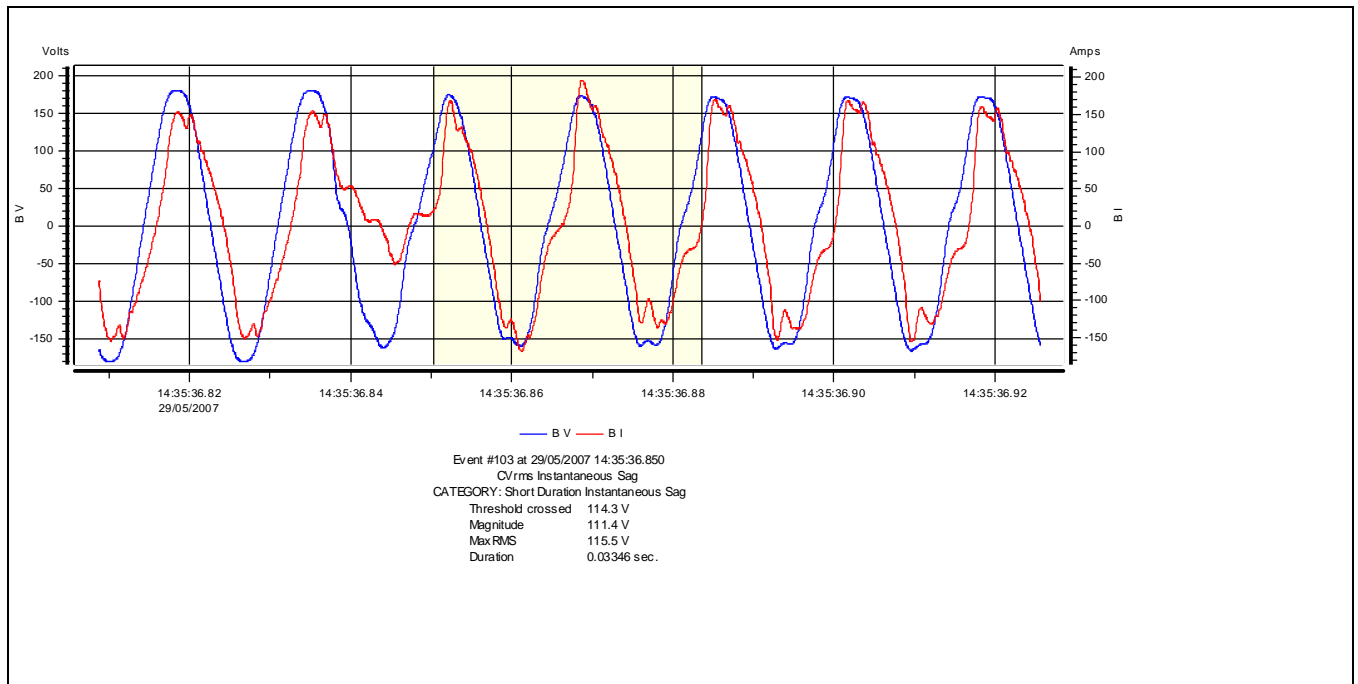
Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



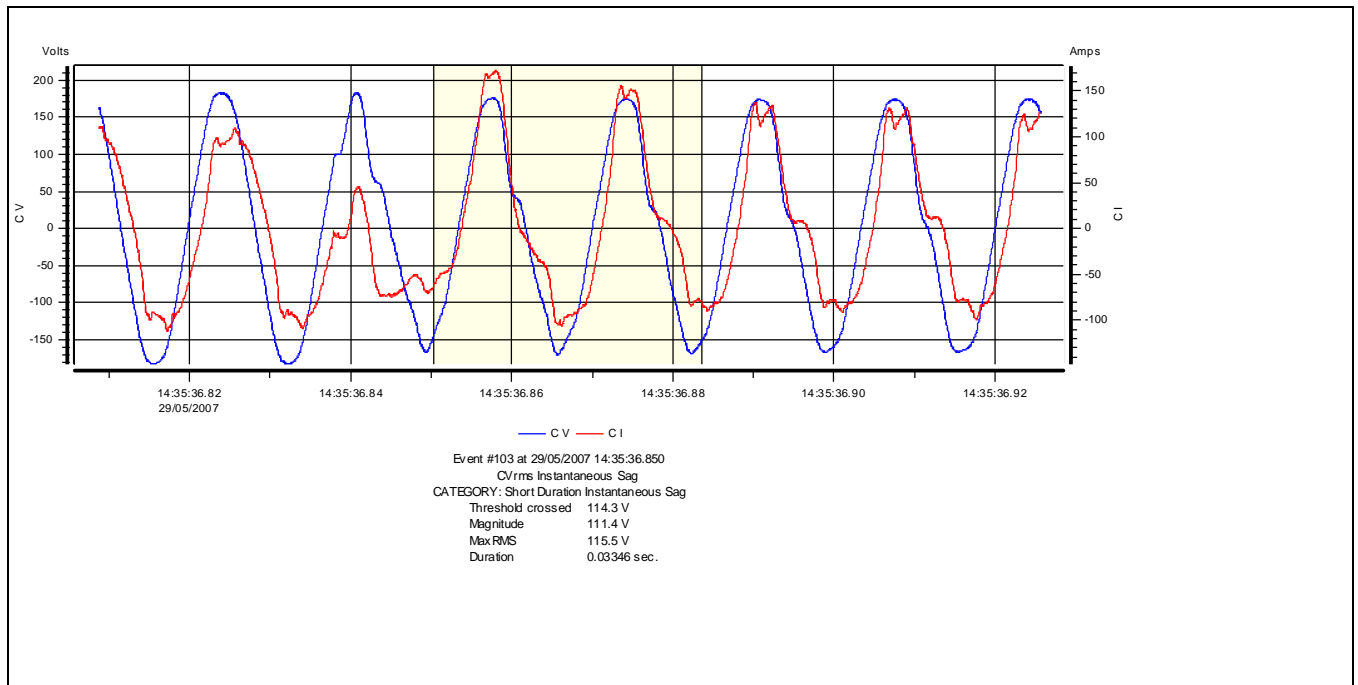
Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



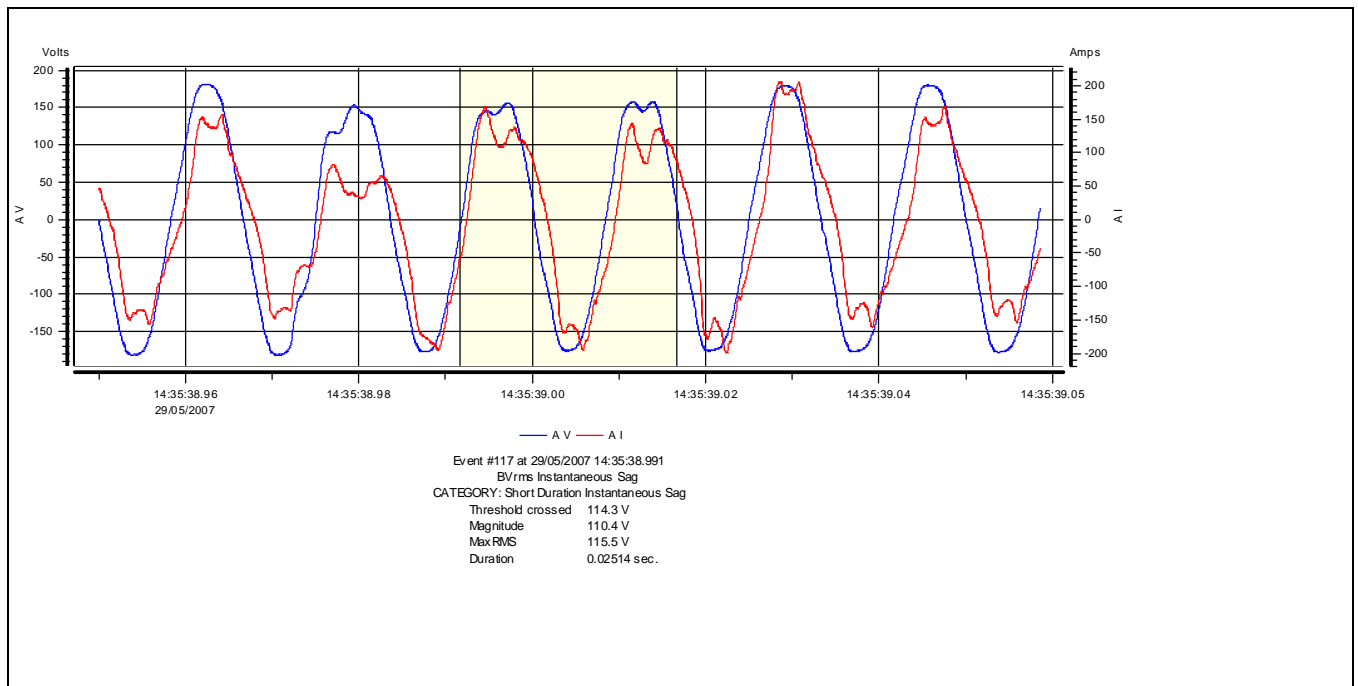
Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



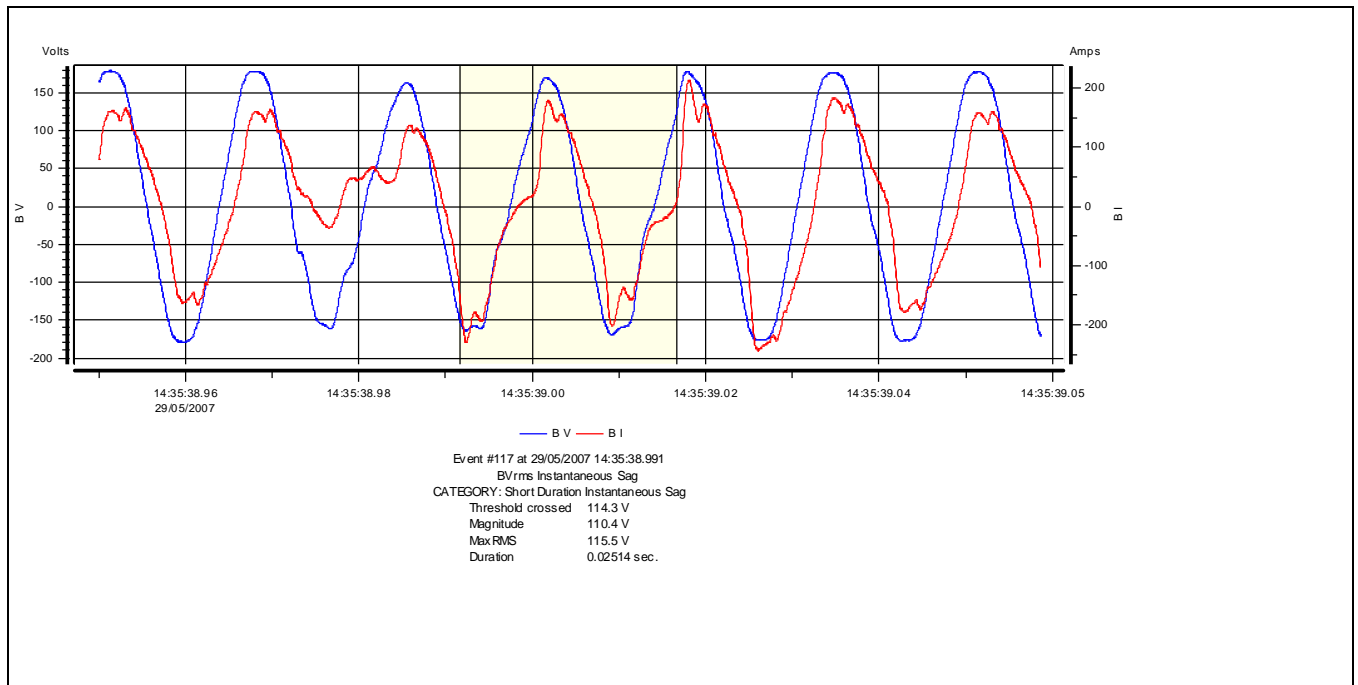
Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



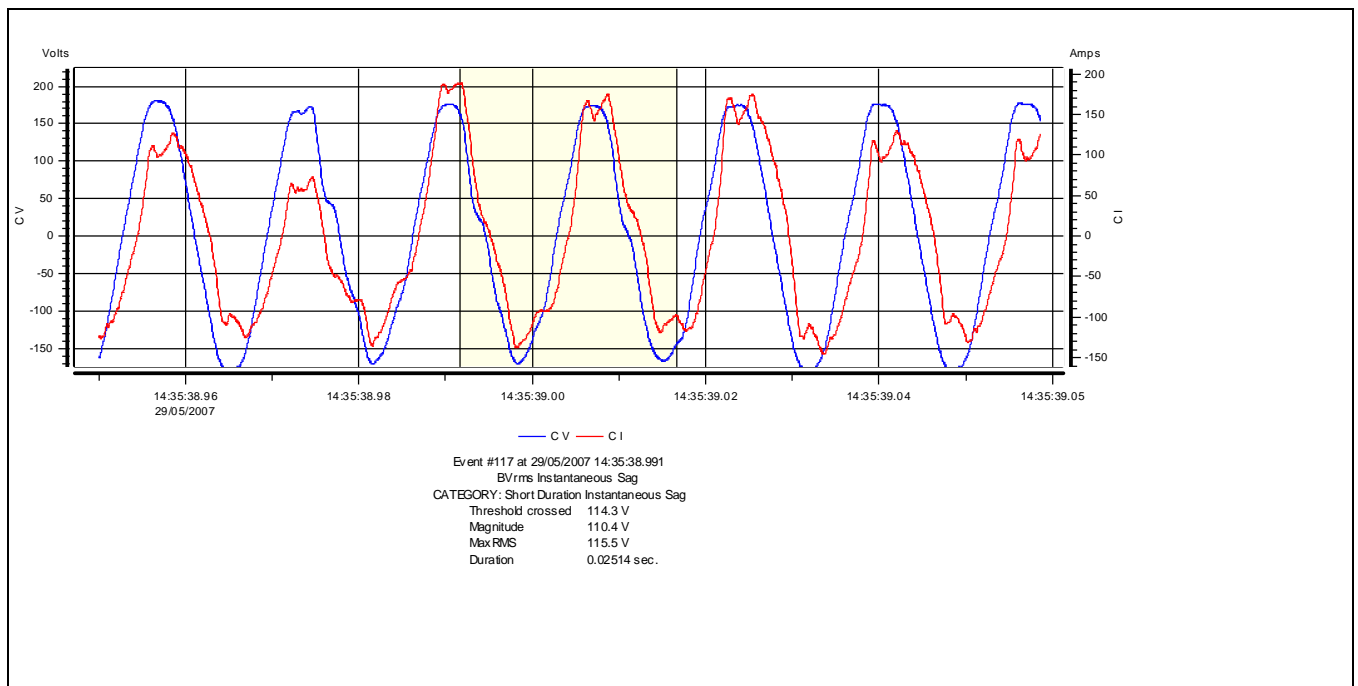
Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



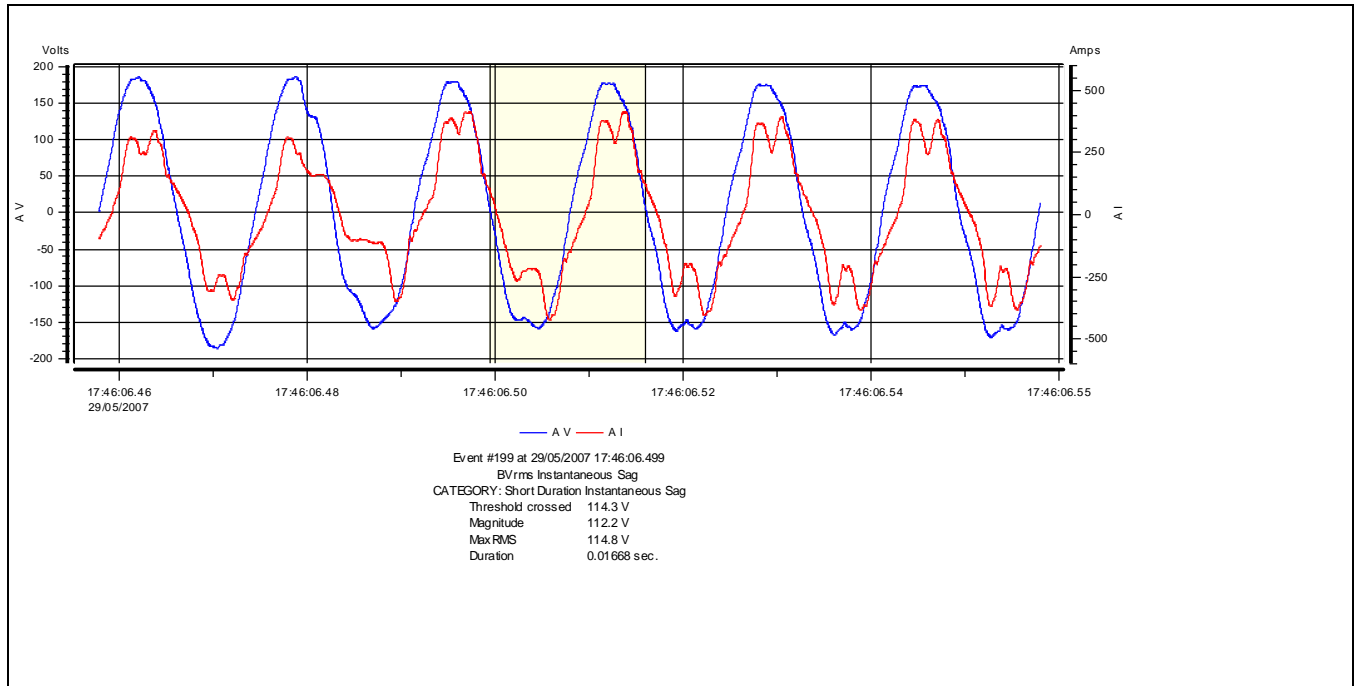
Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



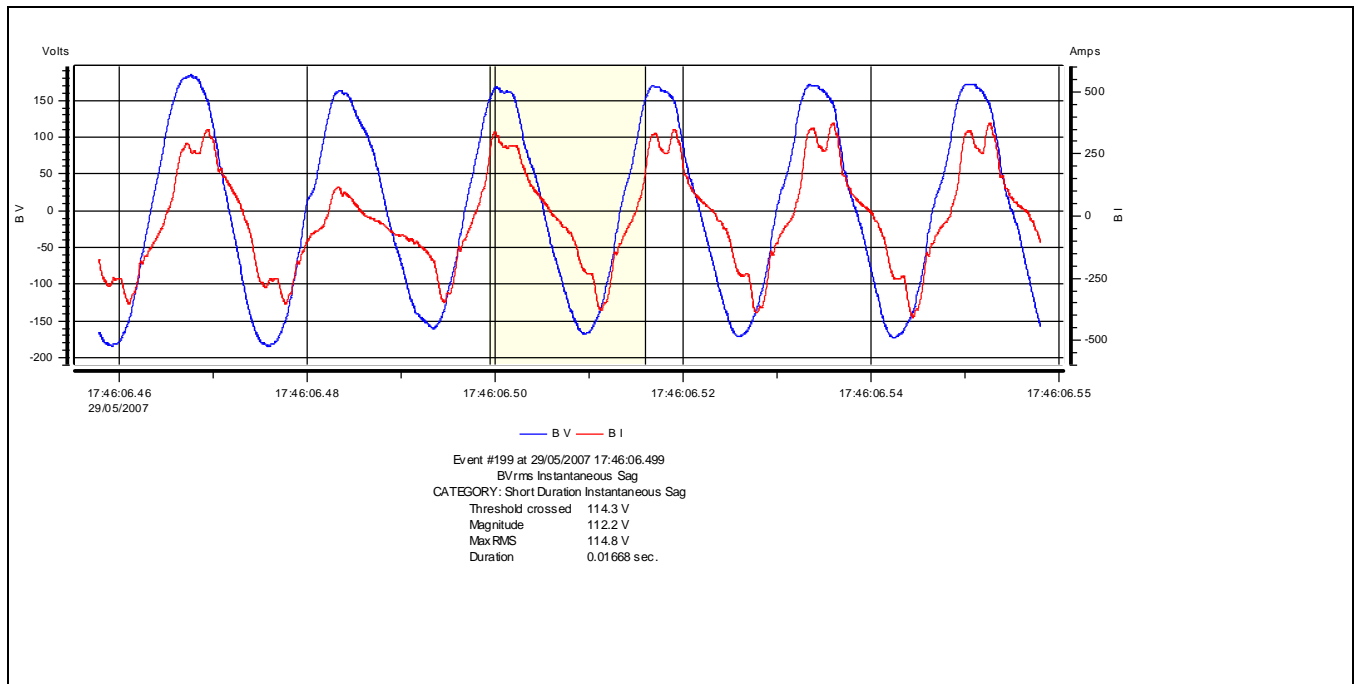
Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



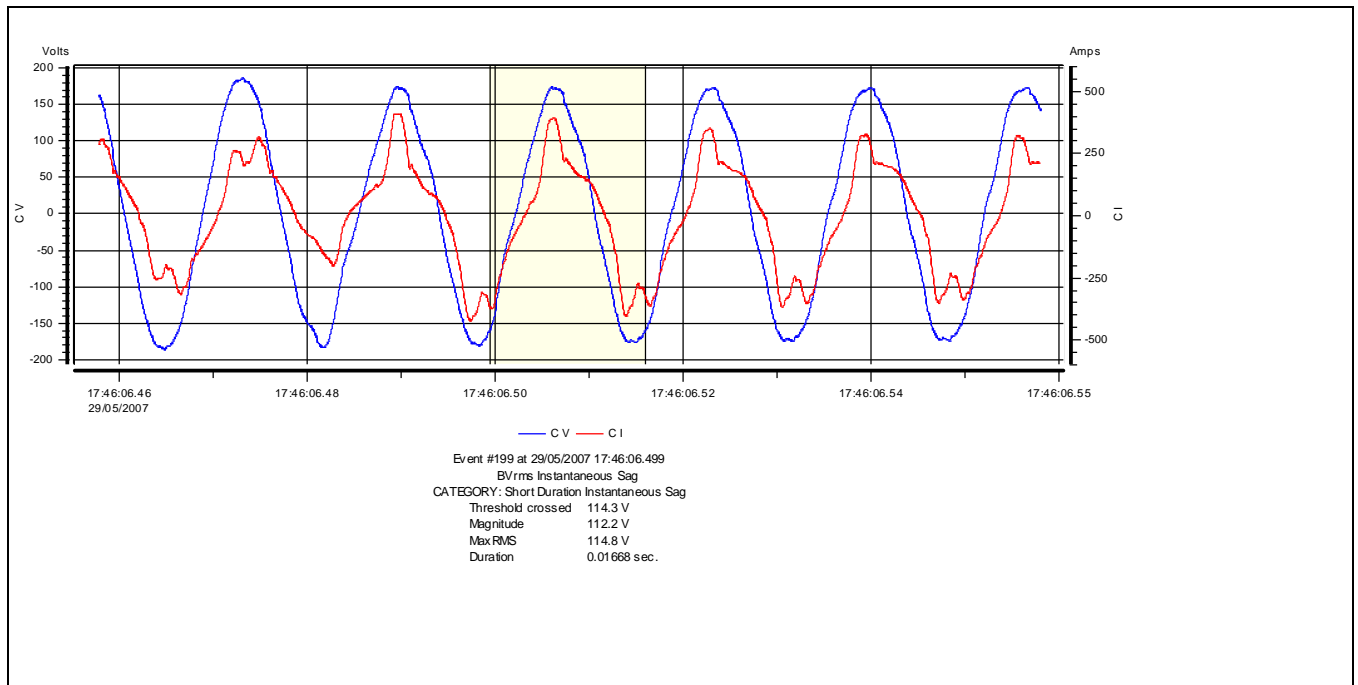
Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



7.2.2 Comentarios y recomendaciones.

De las mediciones realizadas en la salida de Transformador, de 225 kVA en 220 V, podemos comentar:

El equipo de medición se conectó en Estrella, por lo que en las gráficas de valores RMS se muestran los valores de tensión de fase a neutro.

- 1. Los niveles de tensión promedio de la medición en las tres fases, se encuentran en valores aceptables, con un promedio de 131.03 V de fase a neutro, mismo que corresponde a un 3.17% por arriba del voltaje nominal. El desbalance de voltaje entre las fases del sistema es de 0.68%.*
- 2. La corriente total promedio en el Transformador fue de 123.1 A, con un desbalance entre las fases A y C del 12.65%. Durante la medición se alcanzaron valores máximos promedio de 265.16A.*
- 3. La potencia real promedio trifásica en el Transformador fue de 43.94 kW. Durante la medición se alcanzaron valores máximos promedio de 88.40 kW.*
- 4. El factor de potencia promedio trifásico del Transformador fue de 0.9106 atrasado, durante la medición se registraron valores promedio de 0.8620 atrasado, cuando en el transformador aumenta la carga.*
- 5. La potencia reactiva promedio trifásica en el Transformador fue de 17.40 kVAR inductivos, durante la medición se alcanzan valores máximos promedio de 37.68 kVAR inductivos.*
- 6. La potencia aparente promedio trifásica en el Transformador fue de 48.43 kVA. Con valores máximos promedio de 98.72 kVA. Lo que implica que el transformador opera en promedio a un 21.52% y a un máximo de 43.87% de su capacidad nominal.*
- 7. La distorsión armónica total del voltaje de las tres fases promedio fue de 2.310%, valor que se encuentra dentro de las recomendaciones de la IEEE 519, que sugieren como valor máximo para circuitos en baja tensión no rebasar de un 5%. Las armónicas de voltaje de mayor importancia son la segunda y la quinta, con valores de 0.411% y 2.17%, respectivamente del voltaje a frecuencia fundamental.*
- 8. La distorsión armónica total de corriente de las tres fases promedio fue de 18.59%, si aplicamos las normas de la IEEE 519 en el PCC (Punto de Acoplamiento Común), tenemos que el valor registrado no cumple satisfactoriamente con las recomendaciones ya que para este circuito en específico el valor límite sugerido es del 15%. Las armónicas de*

corriente de mayor importancia son la tercera, quinta y séptima, con valores de 5.09%, 13.15% y 7.93%, respectivamente de corriente a frecuencia fundamental.

9. *Durante la medición se registraron algunos disturbios eléctricos, todos corresponden a Sag's o caídas de voltaje, a continuación se resumen las características de dichos eventos:*

- a. Sag instantáneo de alta importancia, del tipo trifásico (fases ABC), registrado el día 29 de Mayo a las 14:32 hrs, con una duración de 0.1248 seg. (7.5 ciclos), el voltaje mas desfavorable se registro en la fase C con una magnitud de 36.13 V, que corresponde a un 71.55% por debajo del voltaje nominal que es de 127 V. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la carga del sistema.*
- b. Sag instantáneo de baja importancia, del tipo monofásico (fase C), registrado el día 29 de mayo a las 14:35 hrs, con una duración de 0.03646 seg. (2 ciclos), el voltaje que se registro en la fase C tuvo una magnitud de 111.4 V, que corresponde a un 12.28% por debajo del voltaje nominal que es de 127 V. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la carga del sistema.*
- c. Sag instantáneo de baja importancia, del tipo monofásico (fase B), registrado el día 29 de mayo a las 14:35 hrs, con una duración de 0.0214 seg. (1.5 ciclos), el voltaje que se registro en la fase B tuvo una magnitud de 110.14 V, que corresponde a un 13.27% por debajo del voltaje nominal que es de 127 V. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la carga del sistema.*
- d. Sag instantáneo de baja importancia, del tipo monofásico (fase B), registrado el día 29 de mayo a las 17:46 hrs, con una duración de 0.0168 seg. (1 ciclo), el voltaje que se registro en la fase B tuvo una magnitud de 112.2 V, lo que corresponde a un 11.65% por debajo del voltaje nominal que es de 127 V. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la carga del sistema.*

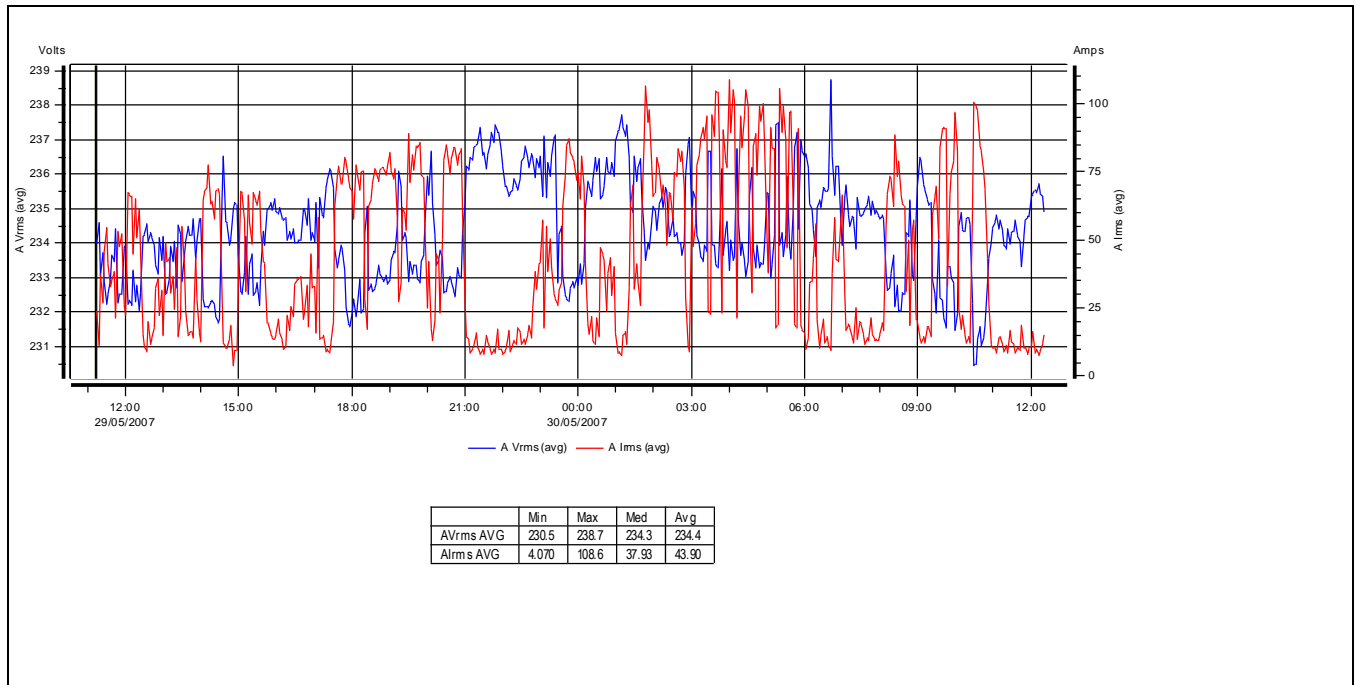
7.3 Secundario Transformador

Alimentador Máquina MAN

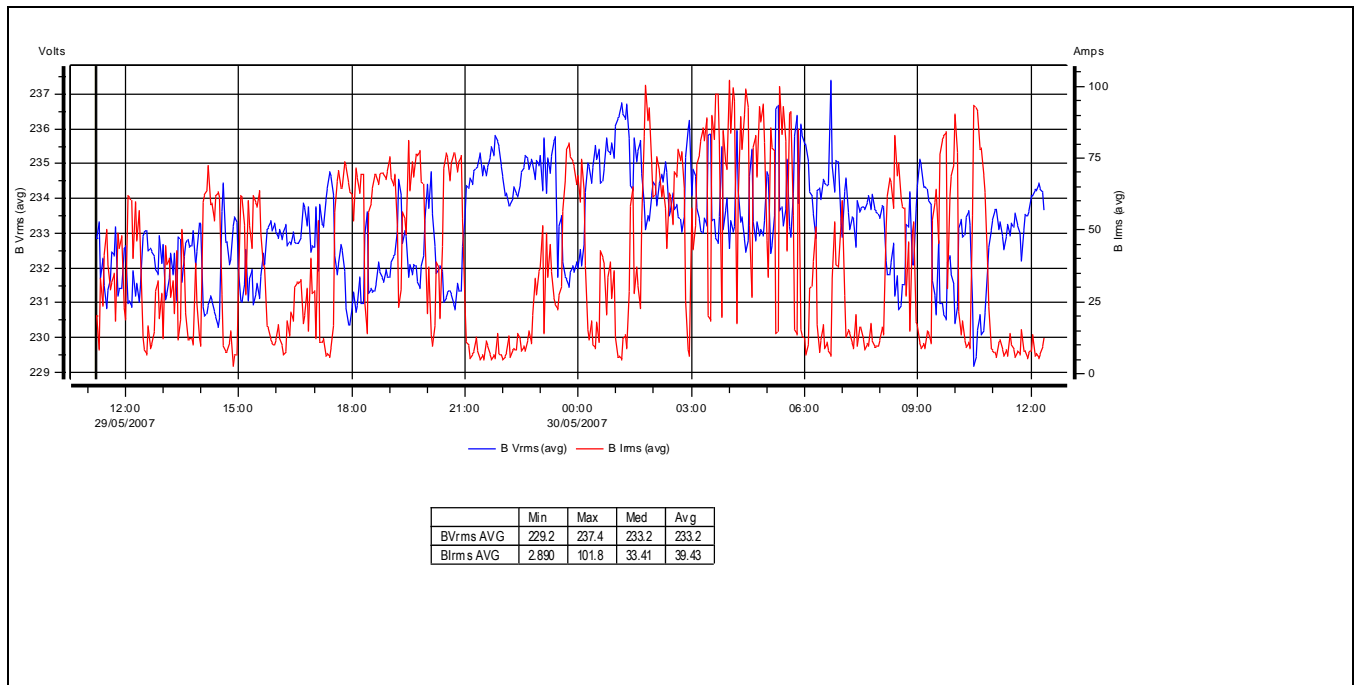
Marca ASA, # 061199

**175 kVA, Z%=0.9,
250/421-481 V.
Conexión Δ - Δ
(Del 29 al 30 de Mayo 2007)**

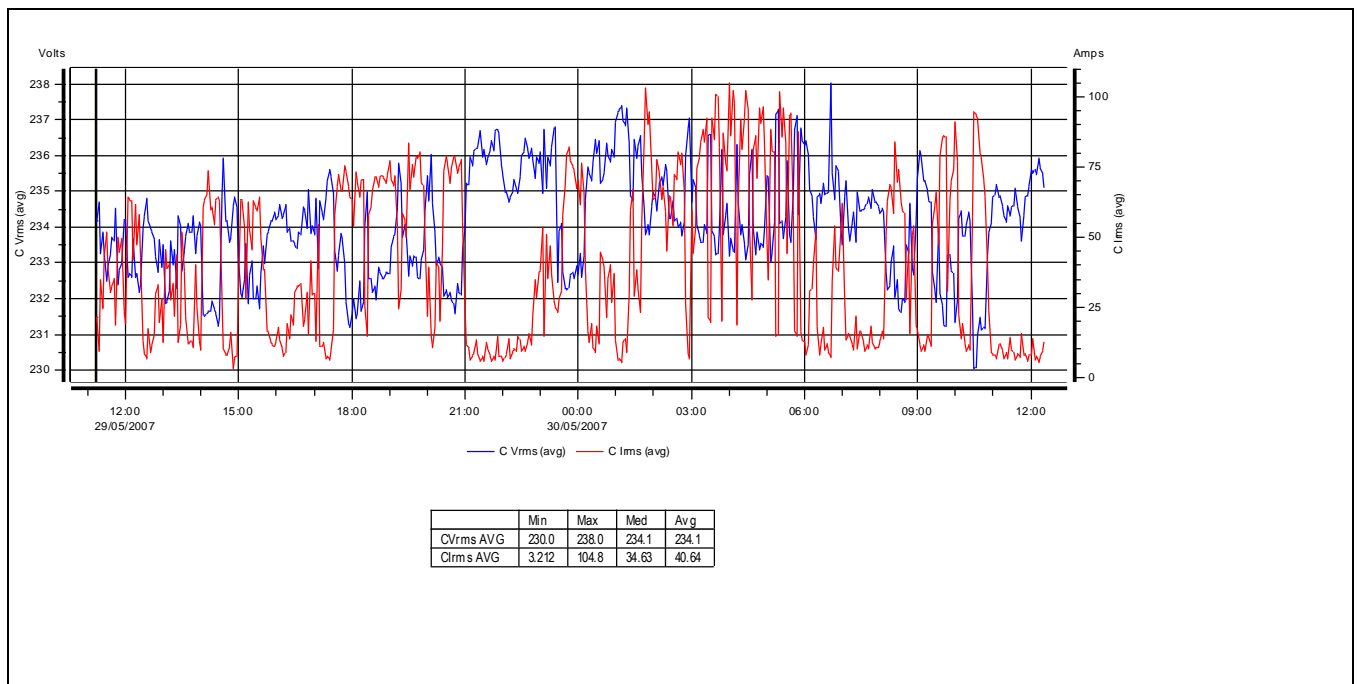
a) Comportamiento de la tensión de la fase A y la corriente de la fase A.



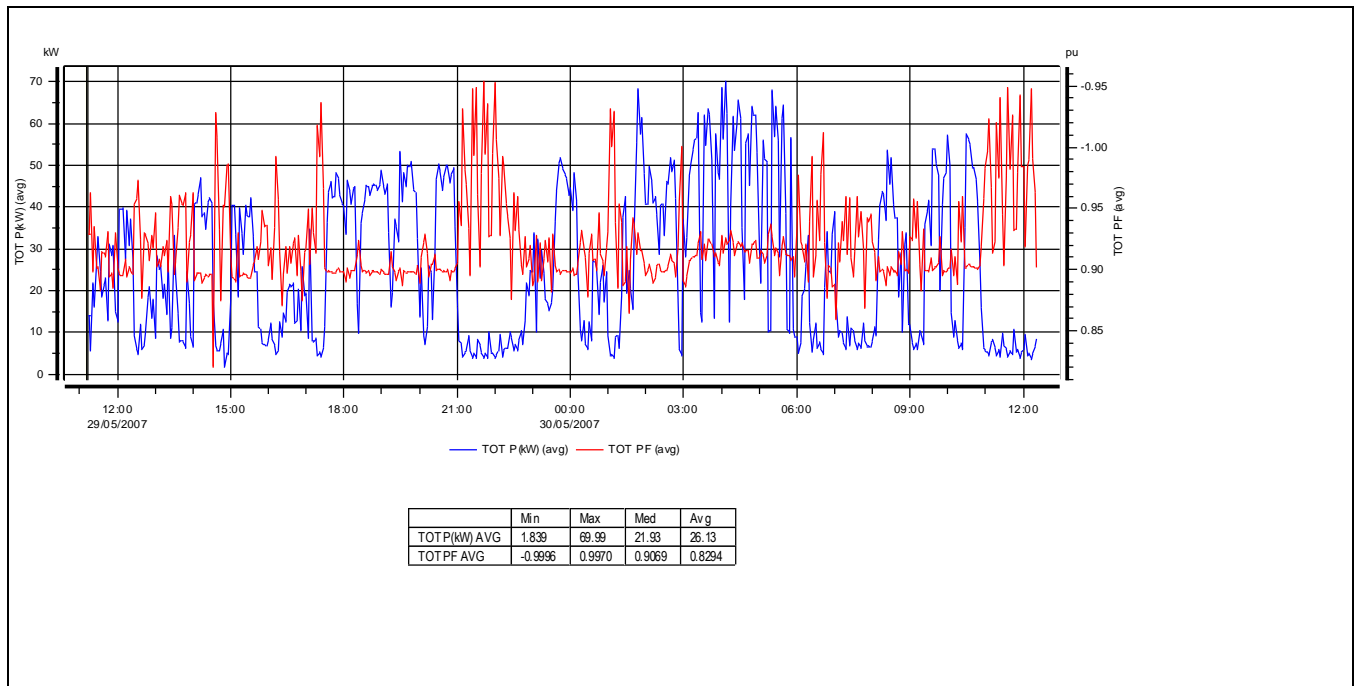
Comportamiento de la tensión de la fase B y la corriente de la fase B.



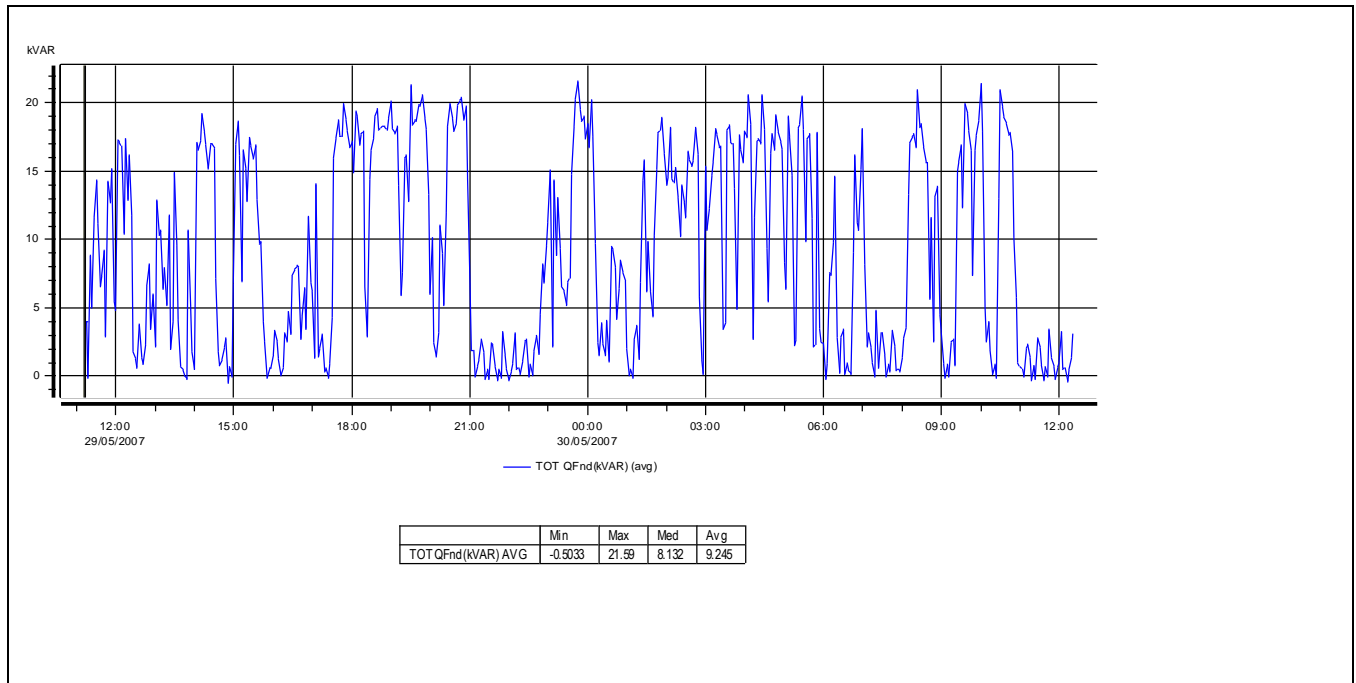
Comportamiento de la tensión de la fase C y la corriente de la fase C.



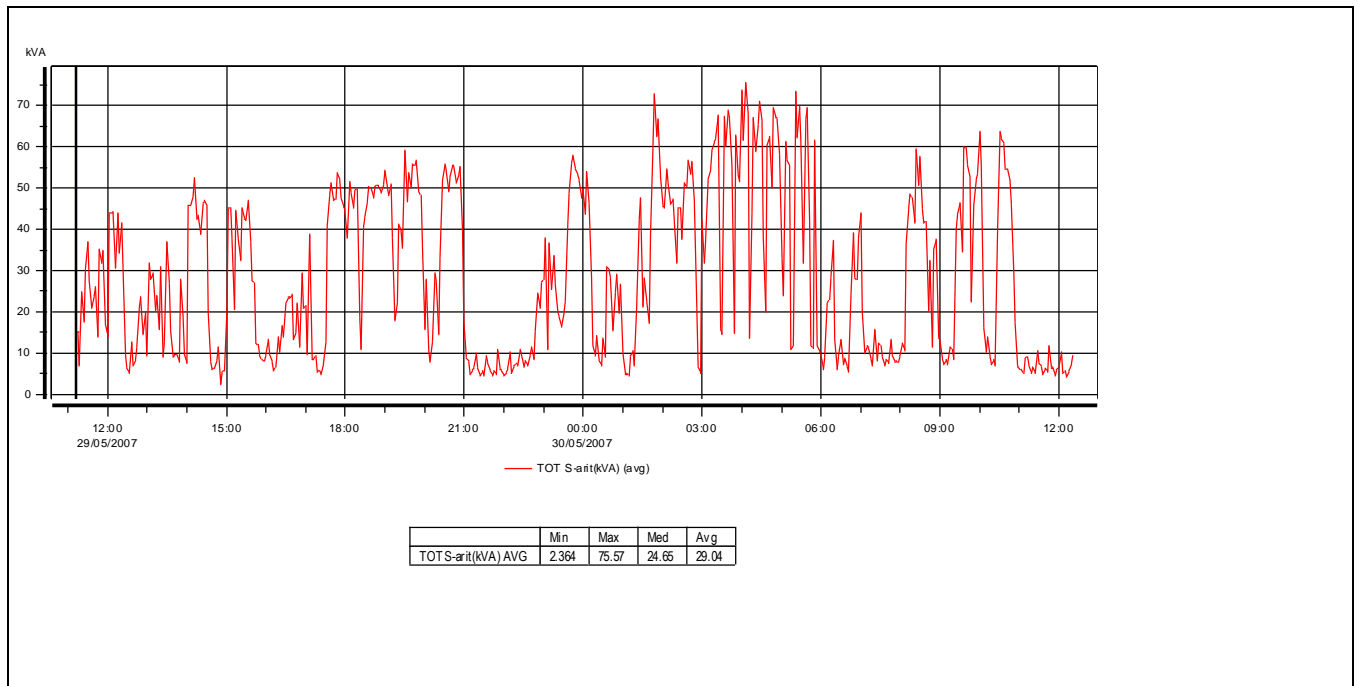
b) Comportamiento de la potencia real y del factor de potencia trifásicos.



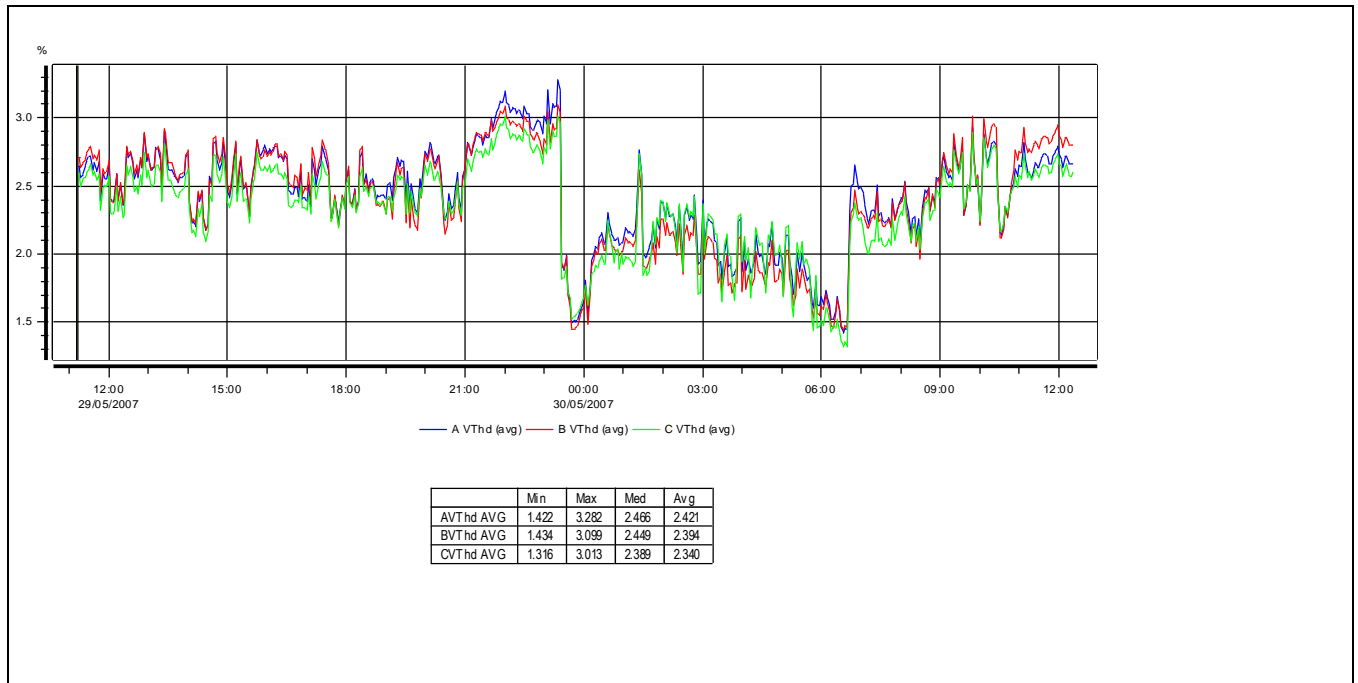
c) Comportamiento de la potencia reactiva trifásica.



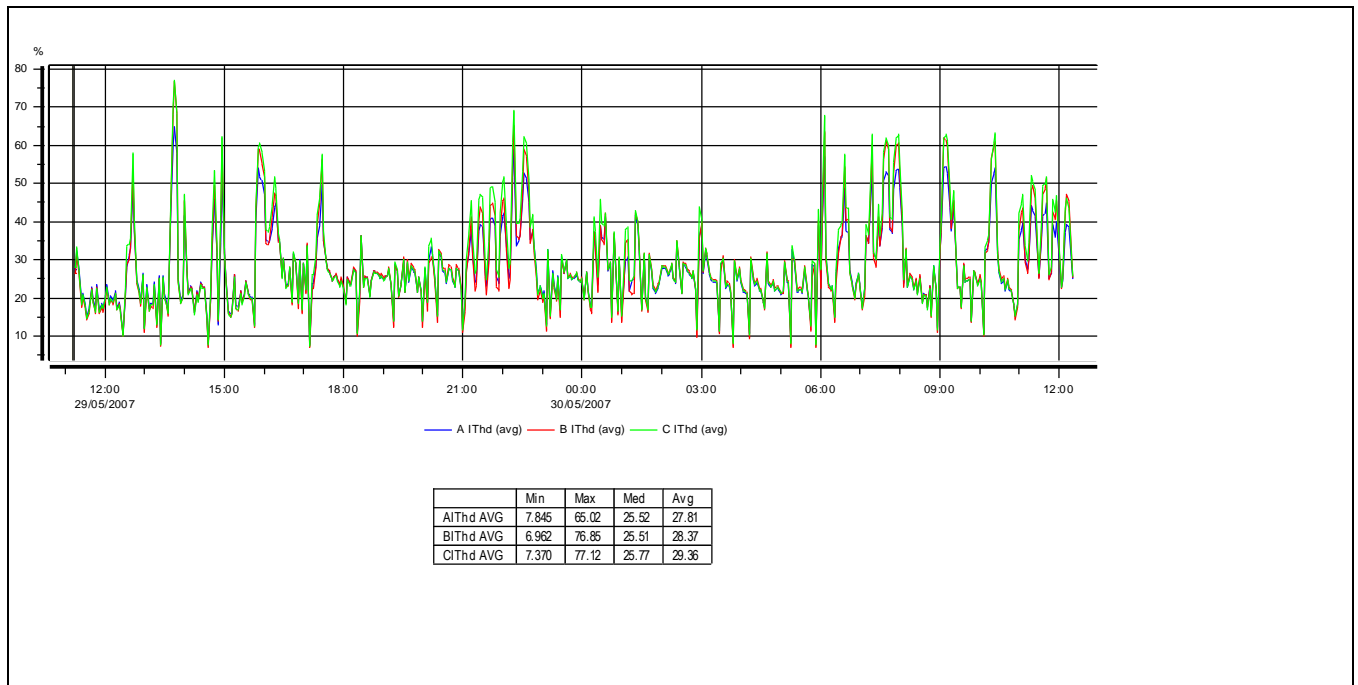
d) Comportamiento de la potencia aparente trifásica.



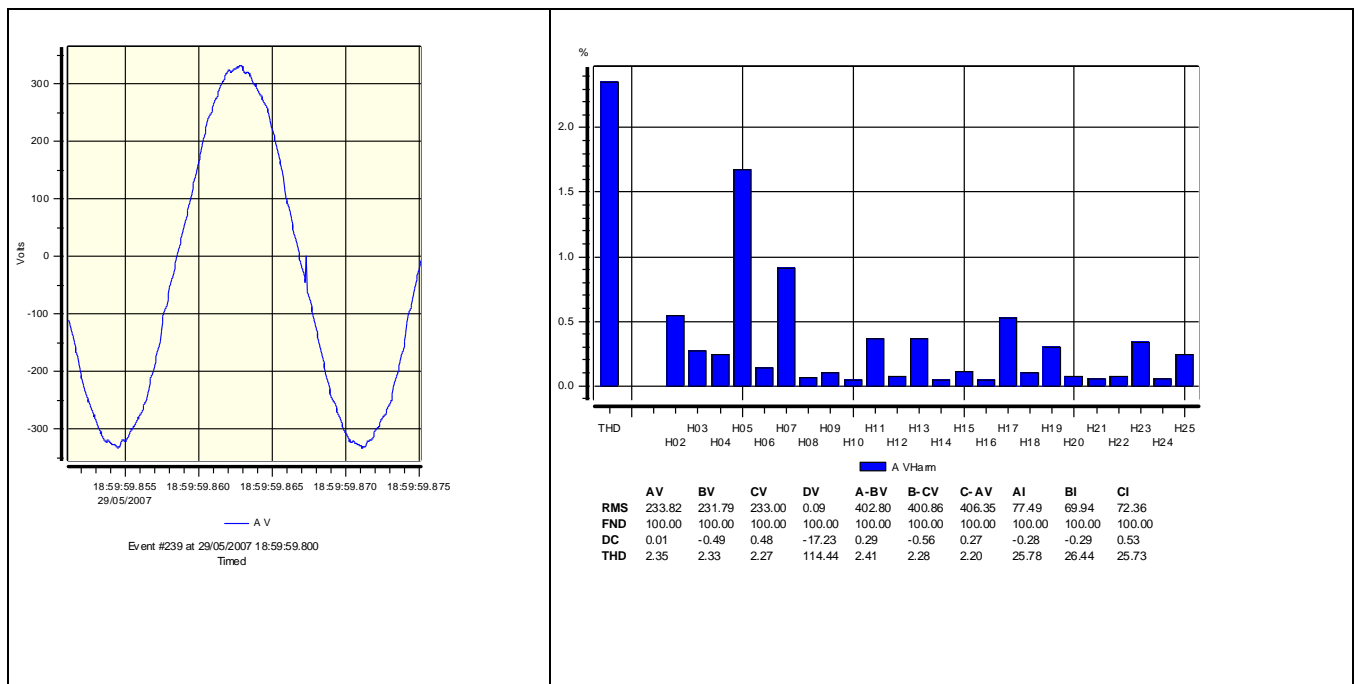
e) Comportamiento de la distorsión armónica de tensión por fase.



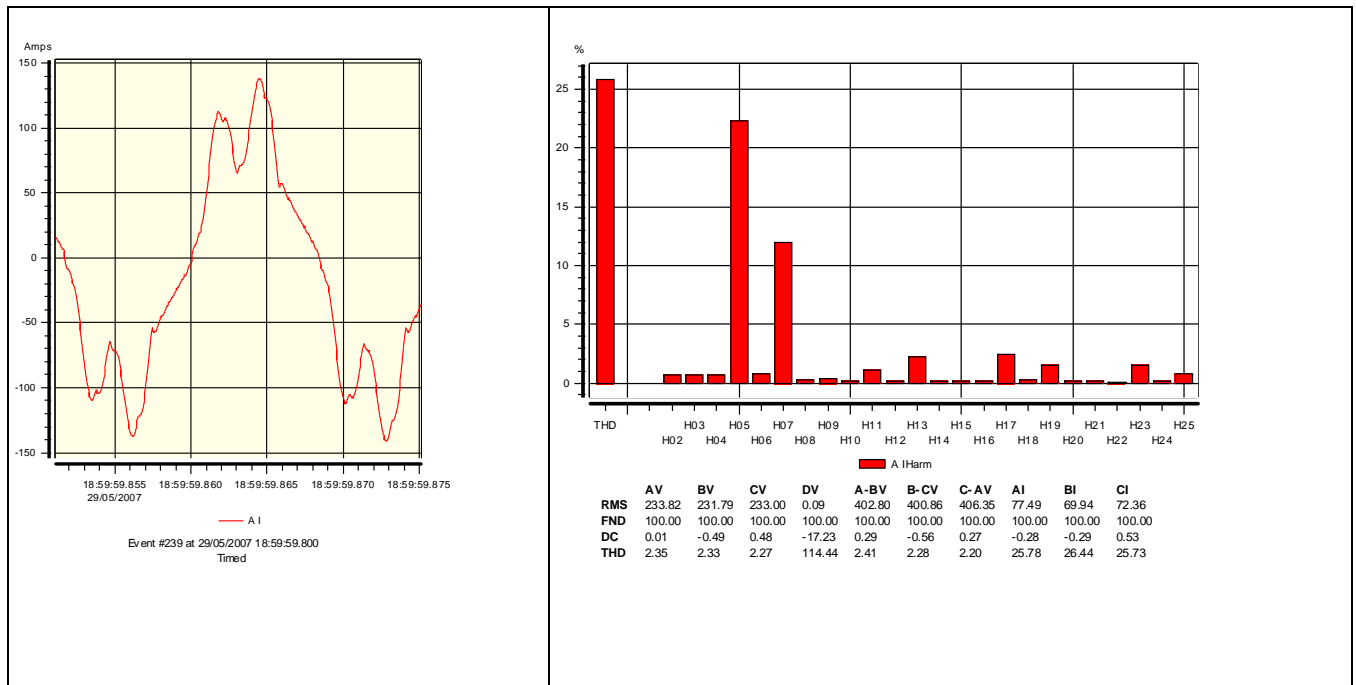
Comportamiento de la distorsión armónica de corriente por fase.



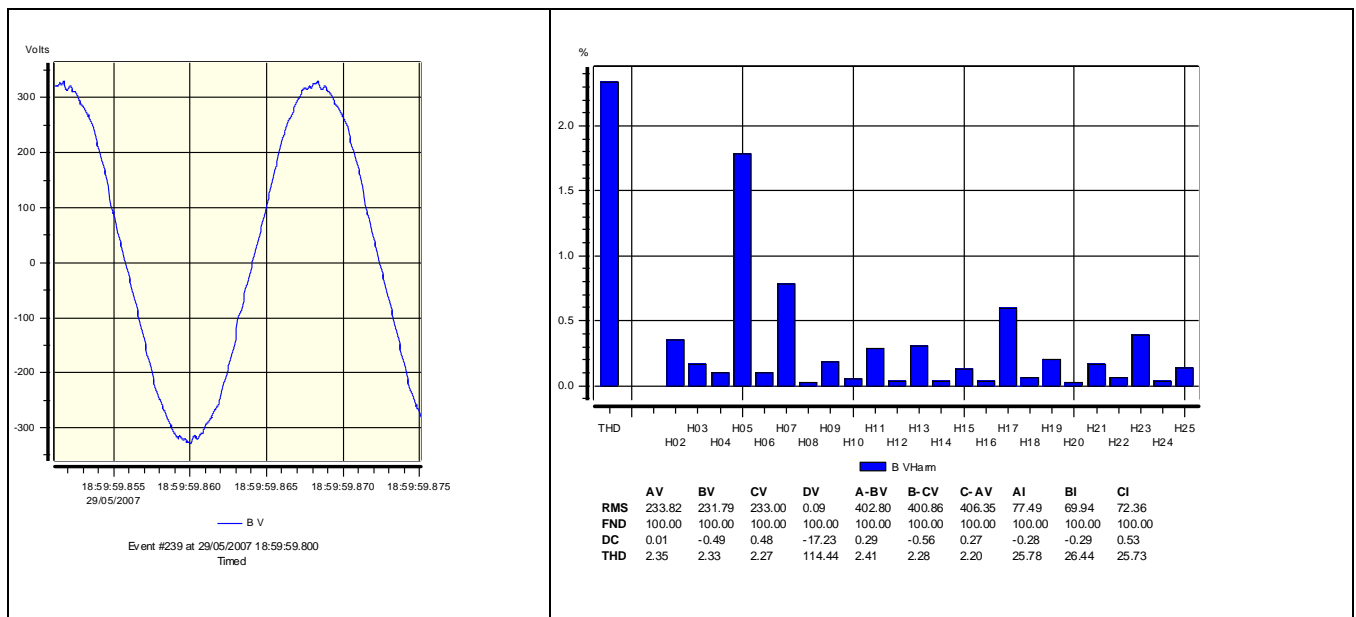
f) Forma de onda y espectro armónico en tensión de la fase A.



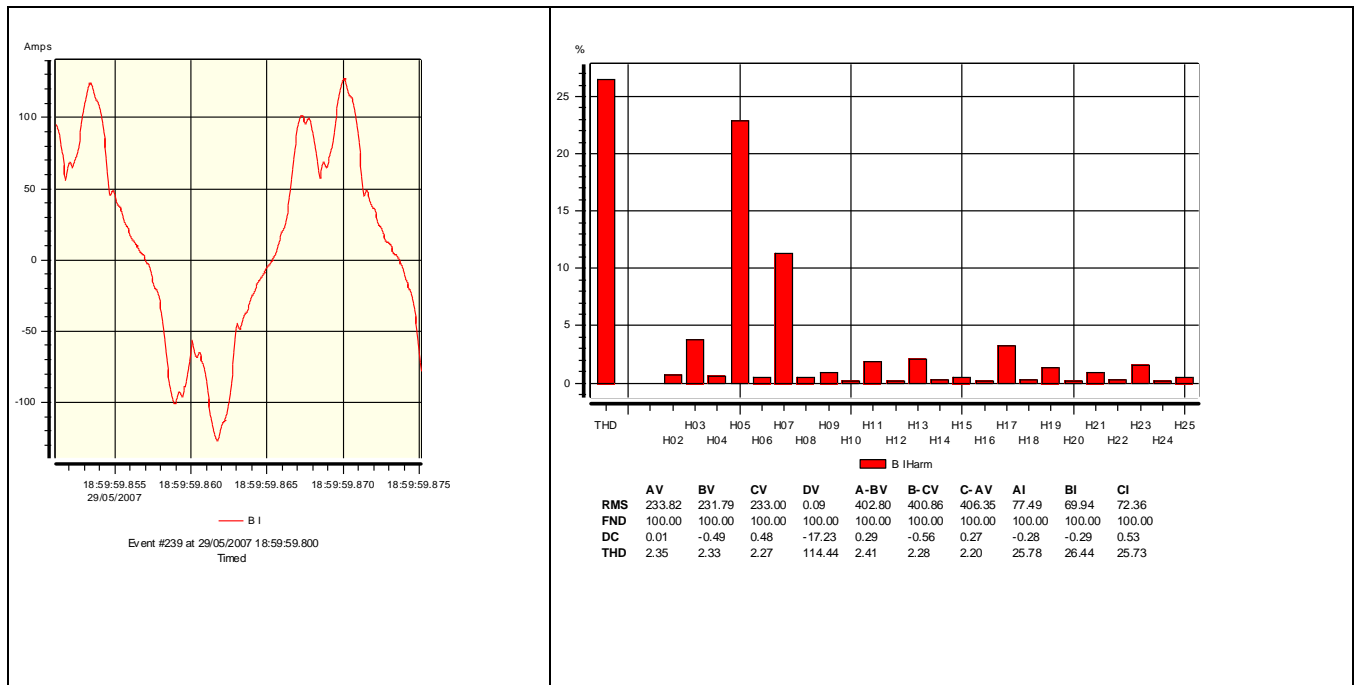
Forma de onda y espectro armónico en corriente de la fase A.



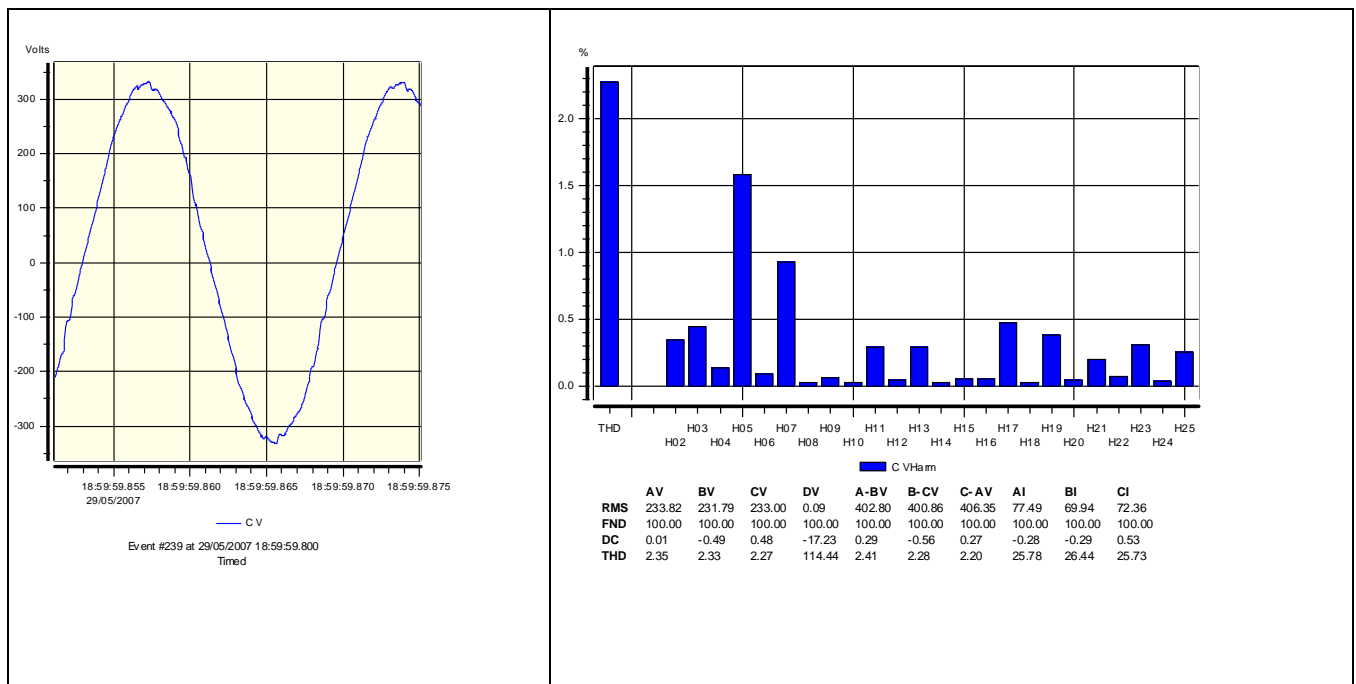
Forma de onda y espectro armónico en tensión de la fase B.



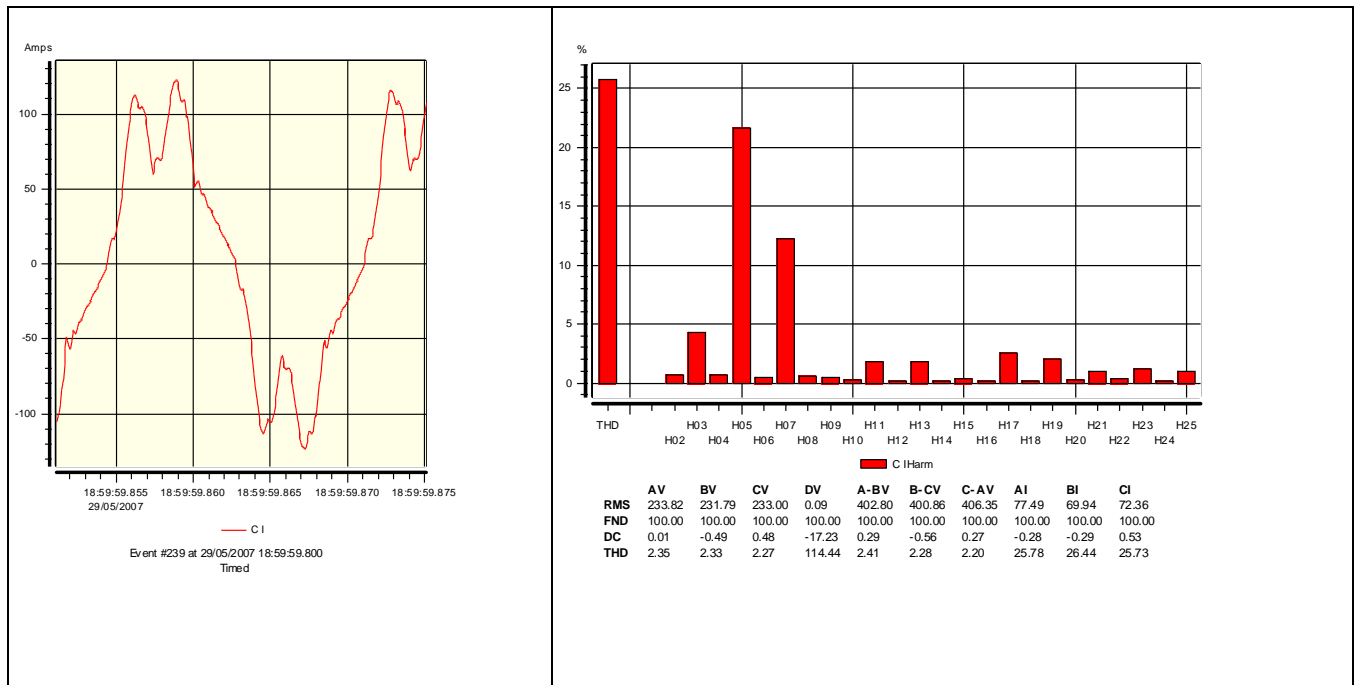
Forma de onda y espectro armónico en corriente de la fase B.



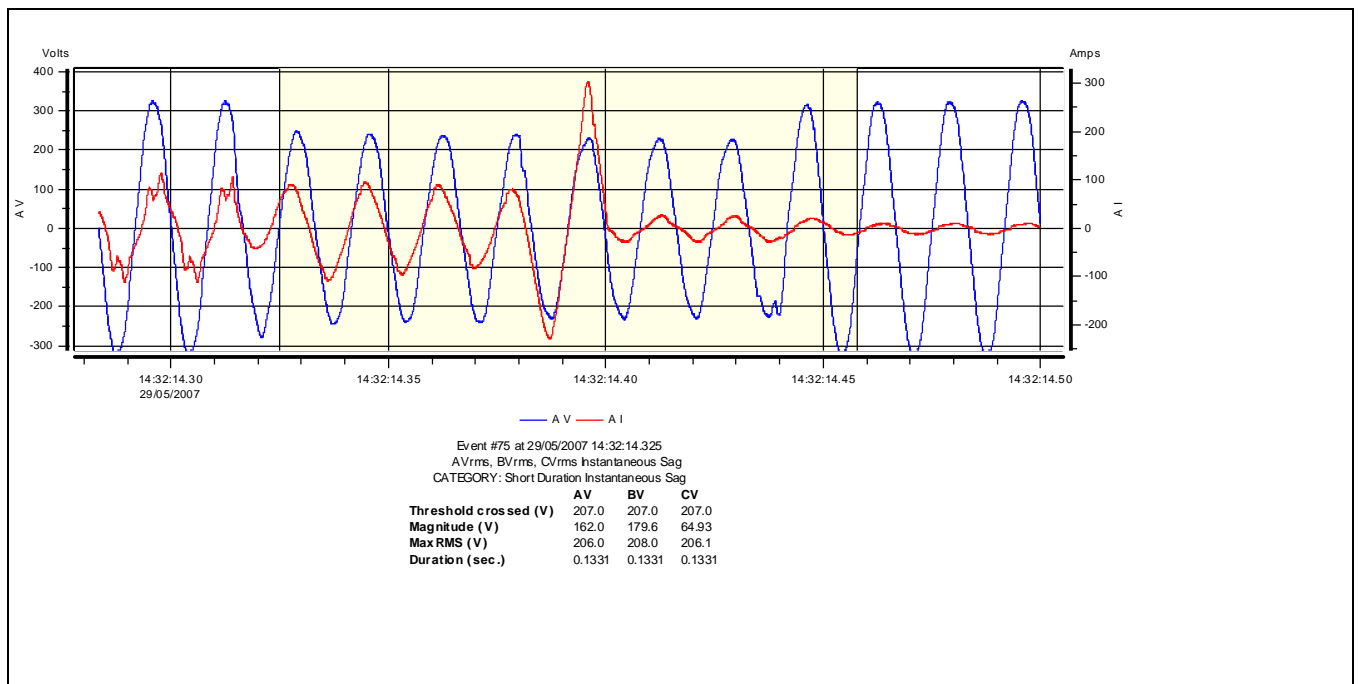
Forma de onda y espectro armónico en tensión de la fase C.



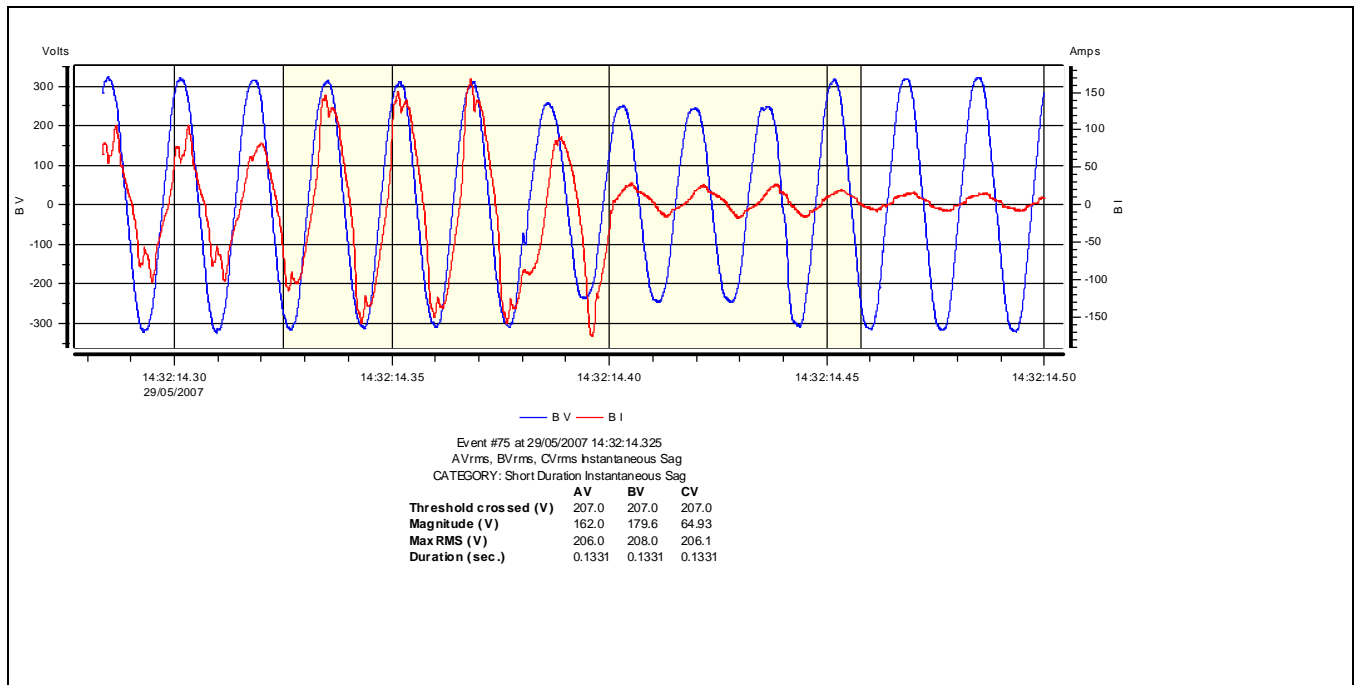
Forma de onda y espectro armónico en corriente de la fase C.



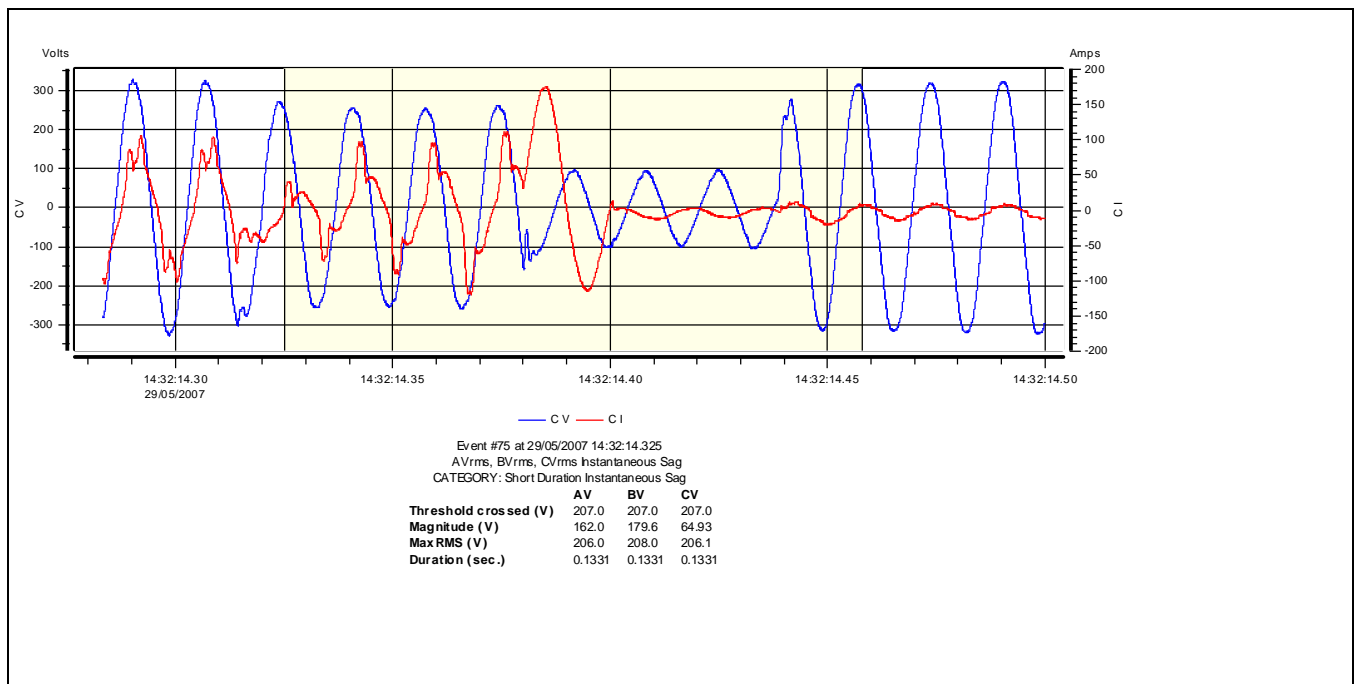
Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



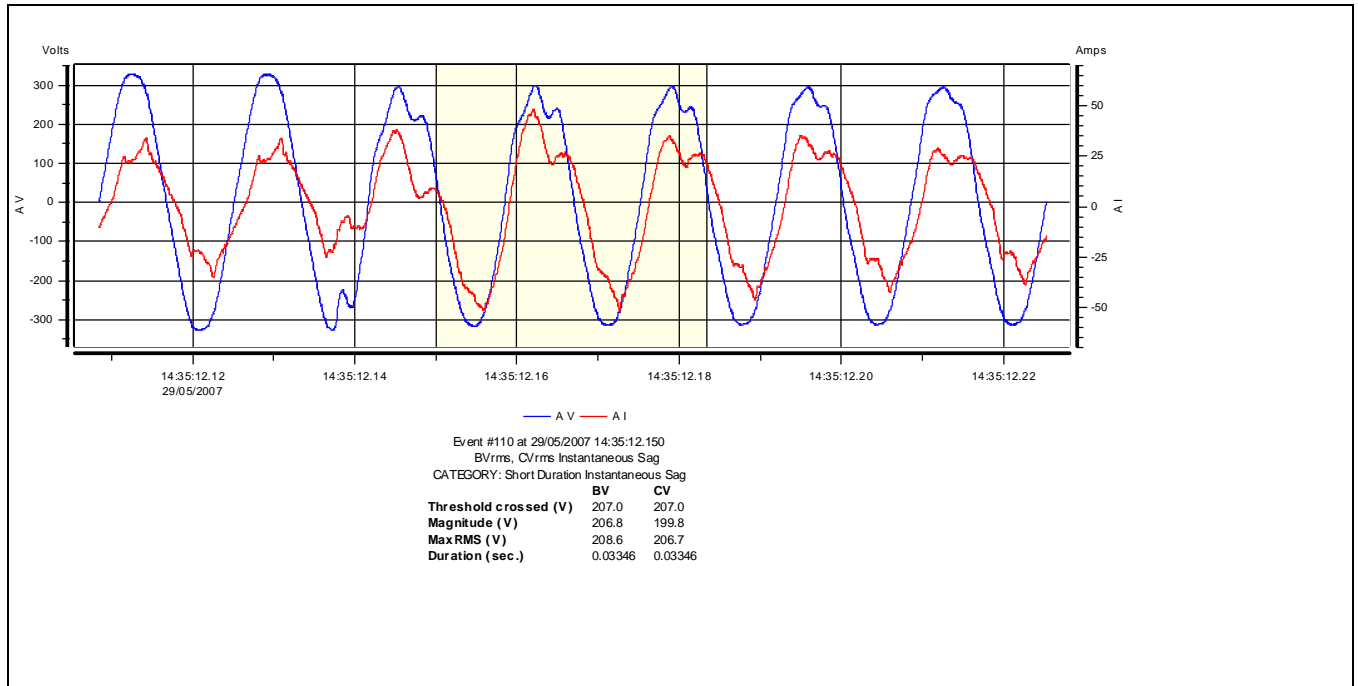
Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



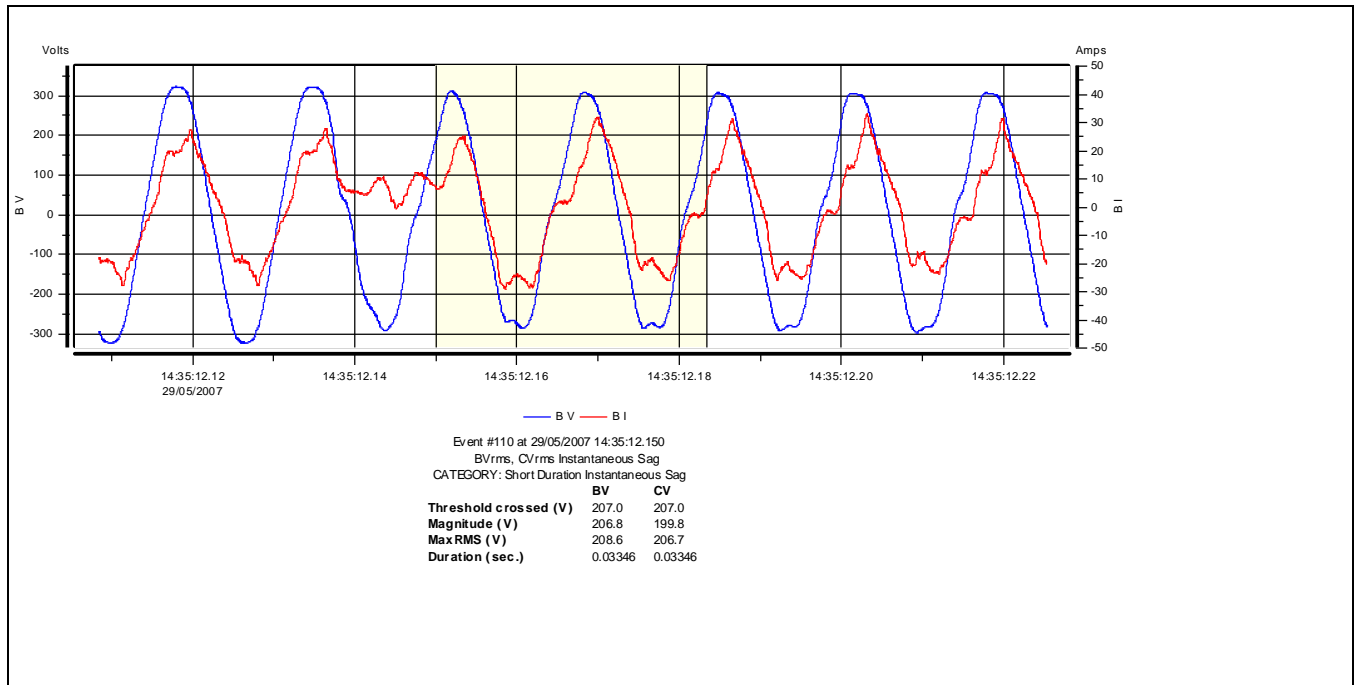
Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



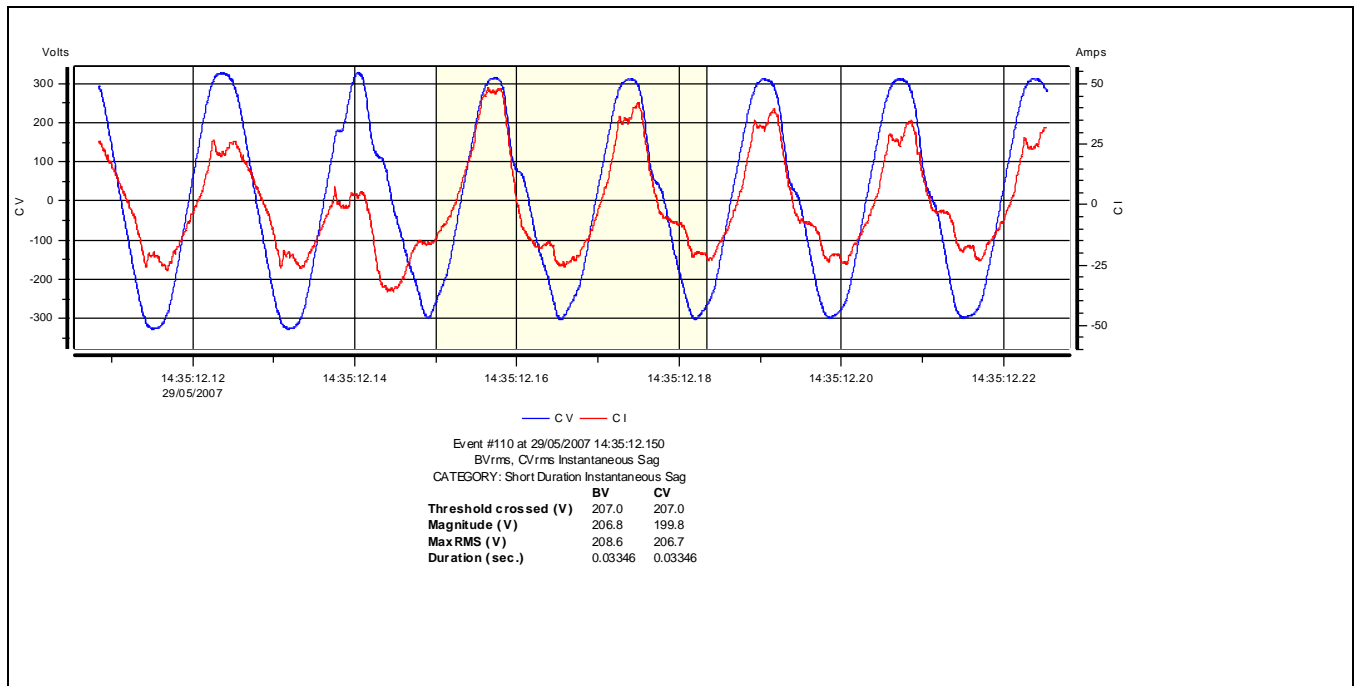
g) Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



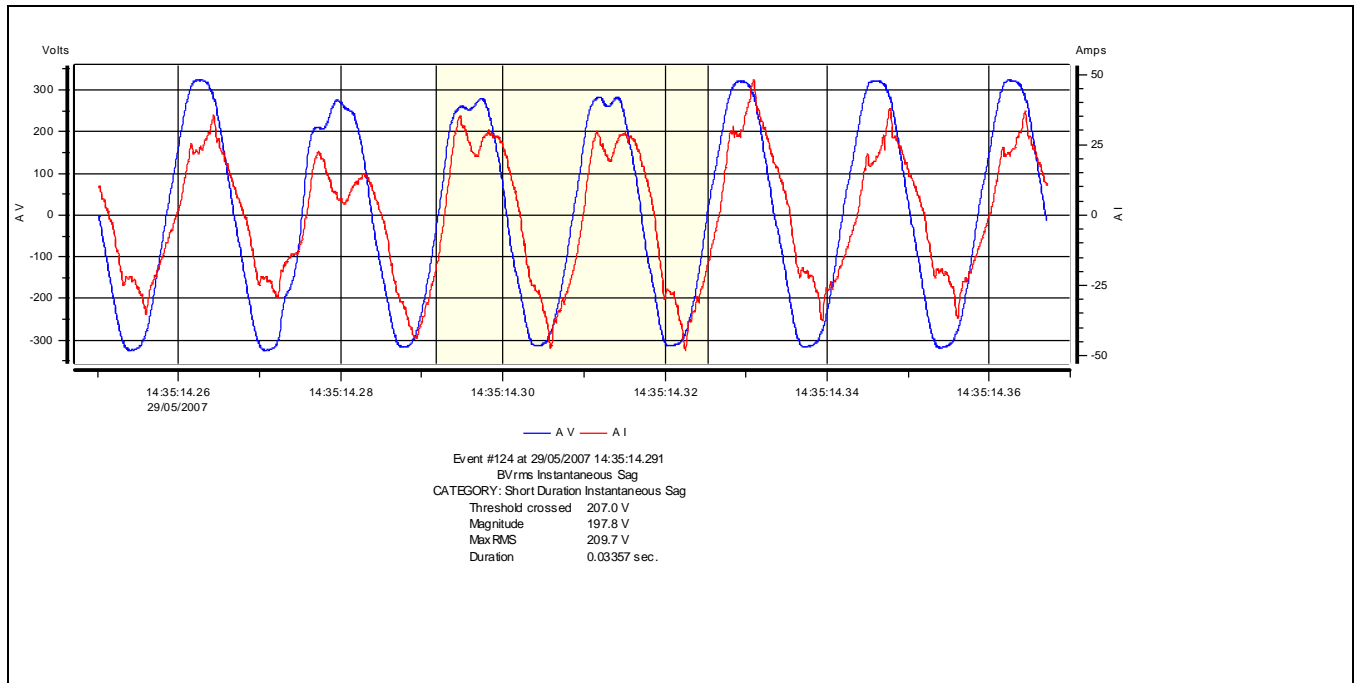
Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



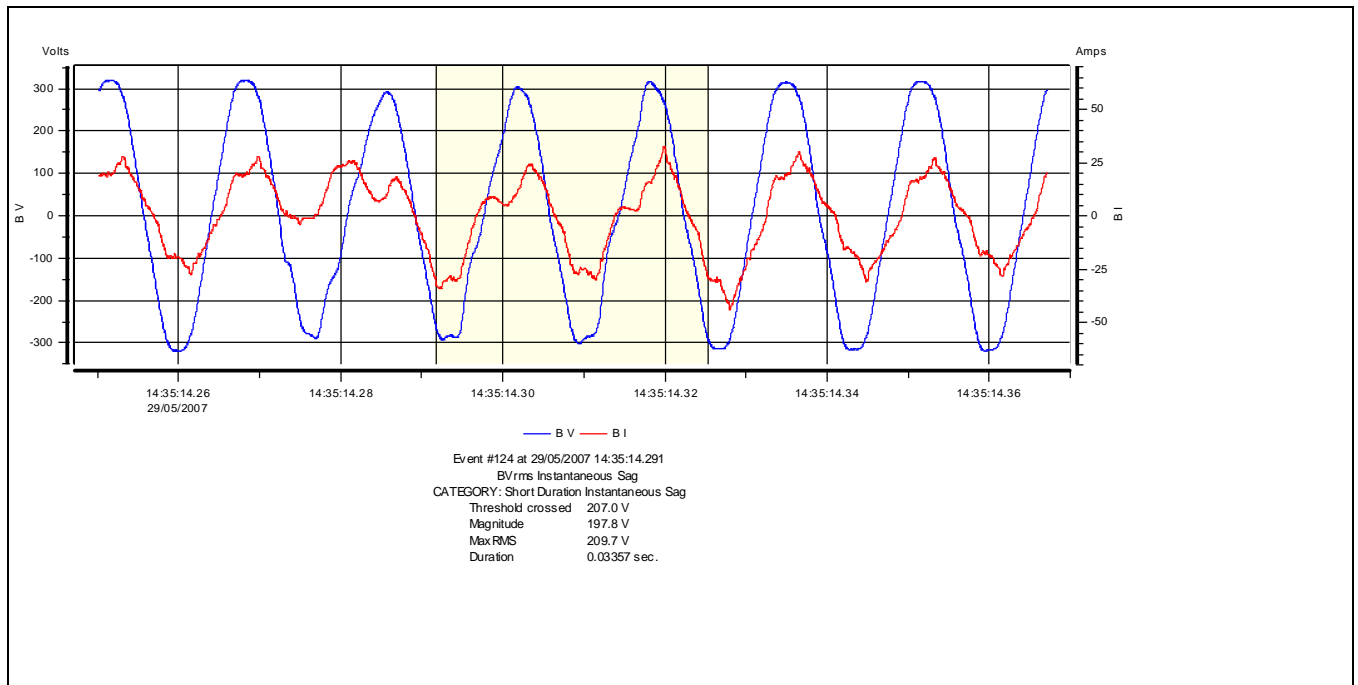
Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



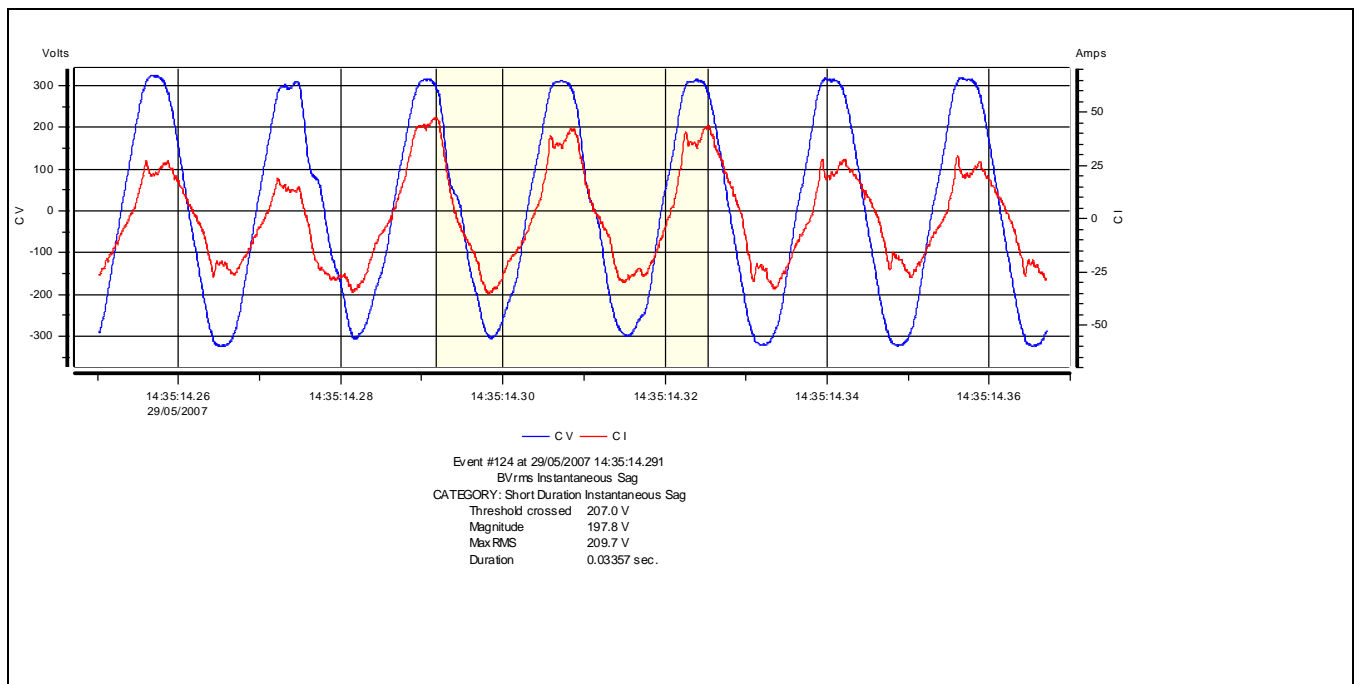
Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



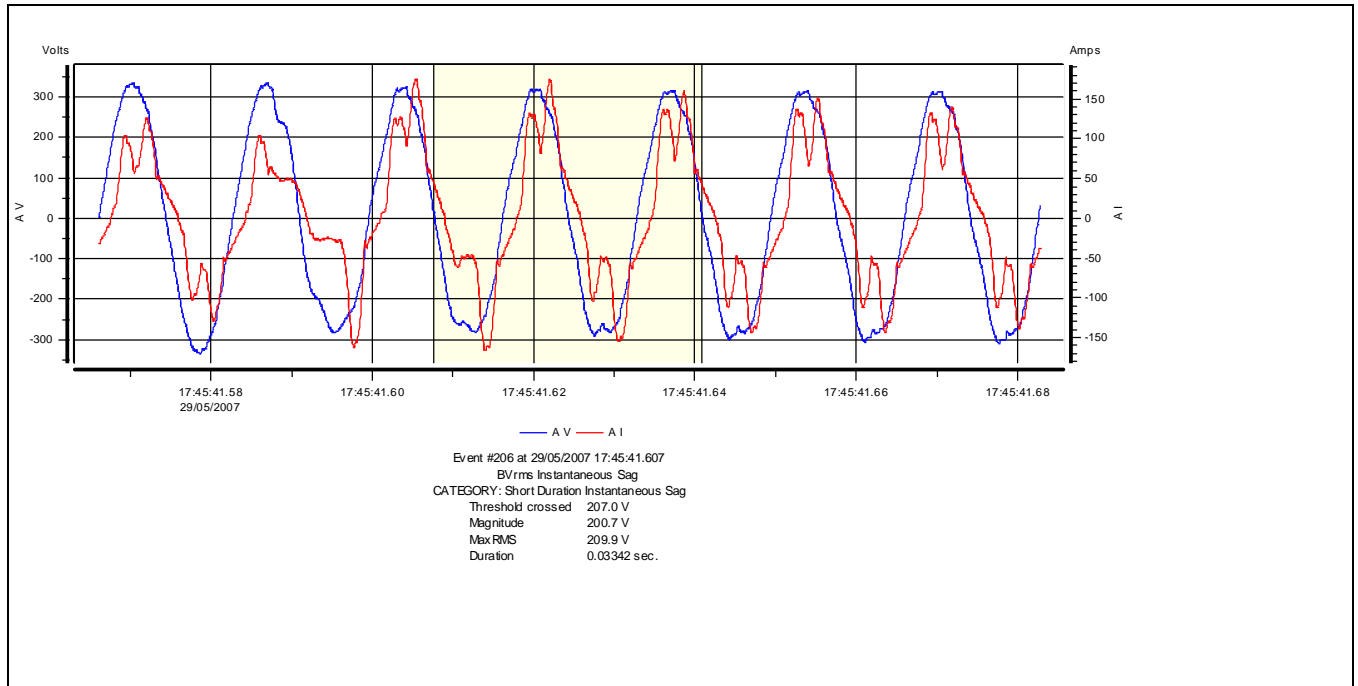
Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



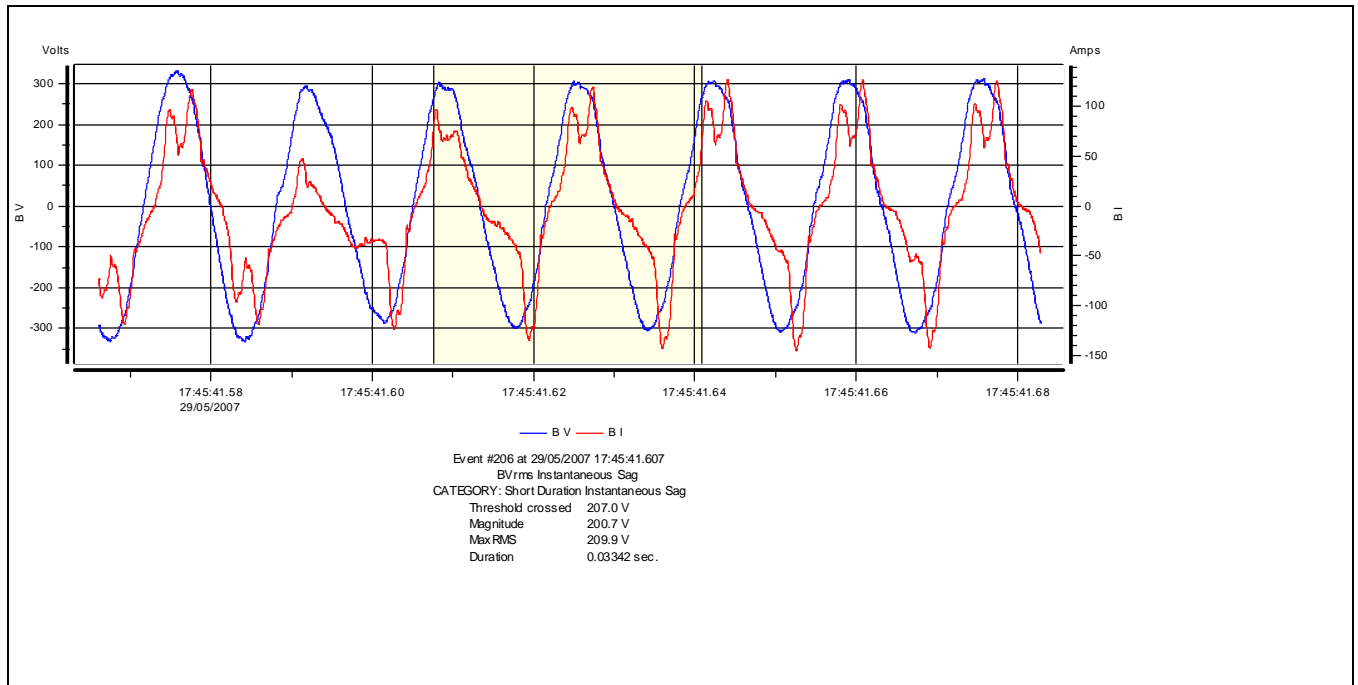
Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



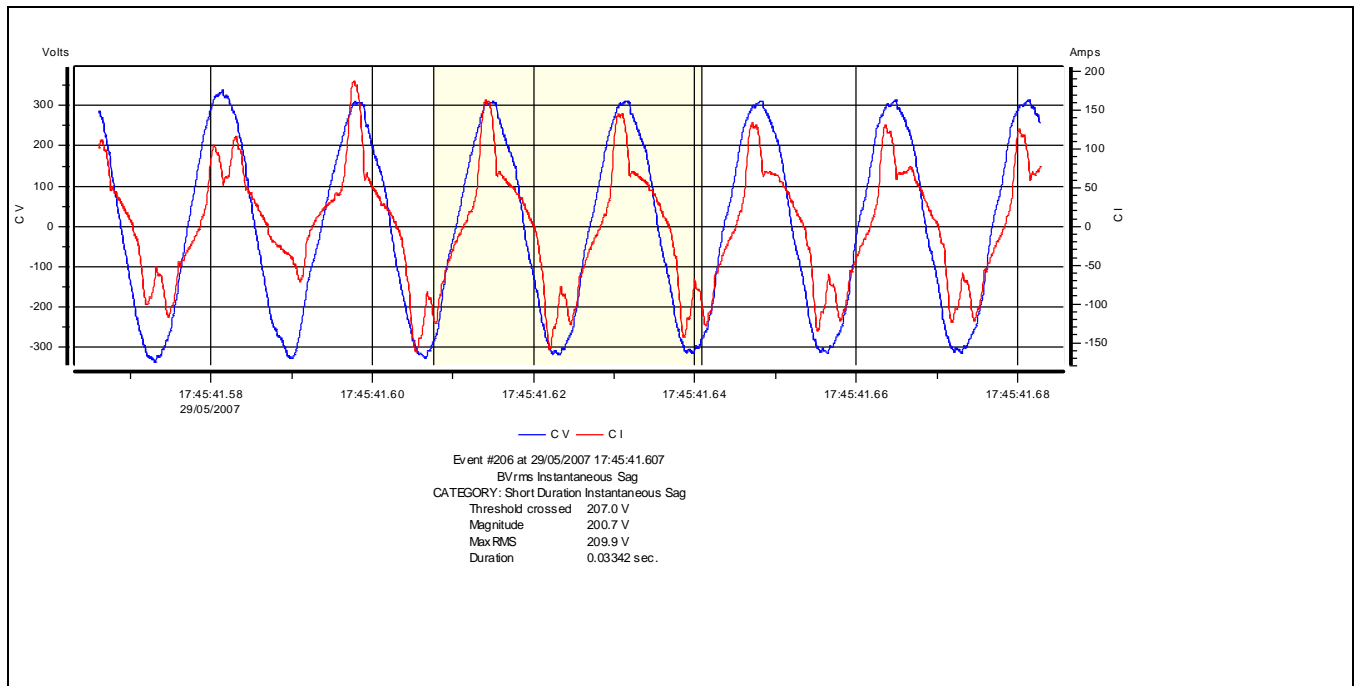
Formas de onda de tensión y corriente de la fase A. Disturbio Transitorio.



Formas de onda de tensión y corriente de la fase B. Disturbio Transitorio.



Formas de onda de tensión y corriente de la fase C. Disturbio Transitorio.



7.3.1 Comentarios y recomendaciones.

De las mediciones realizadas en la salida de Transformador, que alimenta a la máquina de impresión MAN de 175 kVA en 420 V, podemos comentar:

El equipo de medición se conectó en Estrella, aunque las graficas de valores RMS se muestran los valores de tensión entre fases.

- 1. Los niveles de tensión promedio de la medición en las tres fases, se encuentran en valores aceptables, con un promedio de 405.06 V entre fases, mismo que corresponde a un 1.01% por arriba del voltaje nominal. El desbalance de voltaje entre las fases del sistema es de 0.95%.*
- 2. La corriente total promedio en el Transformador fue de 41.32 A, con un desbalance entre las fases A y B del 10.18%. Durante la medición se alcanzaron valores máximos promedio de 105.06 A.*
- 3. La potencia real promedio trifásica en el Transformador fue de 26.13 kW. Durante la medición se alcanzaron valores máximos promedio de 69.99 kW*
- 4. El factor de potencia promedio trifásico del Transformador fue de 0.9069 atrasado.*
- 5. La potencia reactiva promedio trifásica en el Transformador fue de 9.24 kVAR inductivos, durante la medición se alcanzan valores máximos promedio de 21.59 kVAR inductivos.*
- 6. La potencia aparente promedio trifásica en el Transformador fue de 29.04 kVA. Con valores máximos promedio de 75.57 kVA. Lo que implica que el transformador opera en promedio a un 16.59% y a un máximo de 43.18% de su capacidad nominal.*
- 7. La distorsión armónica total del voltaje de las tres fases promedio fue de 2.38%, valor que se encuentra dentro de las recomendaciones de la IEEE 519, que sugieren como valor máximo para circuitos en baja tensión no rebasar de un 5%. Las armónicas de voltaje de mayor importancia son la quinta y séptima, con valores de 1.68% y 0.78%, respectivamente del voltaje a frecuencia fundamental.*
- 8. La distorsión armónica total de corriente de las tres fases promedio fue de 28.51%, si aplicamos las normas de la IEEE 519 en el PCC (Punto de Acoplamiento Común), tenemos que el valor registrado no cumple satisfactoriamente con las recomendaciones ya que para este circuito en específico el valor límite sugerido es del 15%. Las armónicas de*

corriente de mayor importancia son la quinta y séptima, con valores de 22.34% y 11.86%, respectivamente de corriente a frecuencia fundamental.

9. Durante la medición se registraron algunos disturbios eléctricos, todos corresponden a Sag's o caídas de voltaje, a continuación se resumen las características de dichos eventos:
 - a. Sag instantáneo de alta importancia, del tipo trifásico (fases ABC), registrado el día 29 de Mayo a las 14:32 hrs, con una duración de 0.1331 seg. (8 ciclos), el voltaje mas desfavorable se registro en la fase C con una magnitud de 64.93 V, que corresponde a un 74% por debajo del voltaje nominal que es de 250 V de fase a neutro. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la máquina.
 - b. Sag instantáneo de baja importancia, del tipo bifásico (fases B y C), registrado el día 29 de mayo a las 14:35 hrs, con una duración de 0.03346 seg. (2 ciclos), el voltaje mas desfavorable se registro en la fase C y tuvo una magnitud de 199.8 V, que corresponde a un 20% por debajo del voltaje nominal que es de 250 V de fase a neutro. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la máquina.
 - c. Sag instantáneo de baja importancia, del tipo monofásico (fase B), registrado el día 29 de mayo a las 14:35 hrs, con una duración de 0.0335 seg. (2 ciclos), el voltaje que se registro en la fase B tuvo una magnitud de 197.8 V, que corresponde a un 17.69% por debajo del voltaje nominal que es de 250 V de fase a neutro. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la máquina.
 - d. Sag instantáneo de baja importancia, del tipo monofásico (fase B), registrado el día 29 de mayo a las 17:46 hrs, con una duración de 0.03342 seg. (2 ciclos), el voltaje que se registro en la fase B tuvo una magnitud de 207 V, lo que corresponde a un 17.20% por debajo del voltaje nominal que es de 250 V. En base al análisis de las formas de onda se concluye que el disturbio fue del tipo interno, es decir, tuvo origen en la máquina.

1. *En resumen se detectaron dos problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica, una alta distorsión armónica en corriente y la presencia de SAG's, en ambos puntos medidos.*
2. *Para resolver el problema de la distorsión armónica en corriente, se recomienda instalar o un filtro de rechazo o un filtro de armónicas sintonizado a la 5ª con una capacidad de 20 kVAR a 480 volts.*
3. *Para resolver el problema de los SAG's, se recomienda la instalación de un acondicionador de línea que alimente al transformador que alimenta a la máquina MAN, con una capacidad mínima de 150 kVA con voltaje de entrada y salida de 220 volts.*
4. *Aunque en ambas mediciones no se detectó la presencia de picos transitorios de voltaje, recomendamos la instalación de dos supresores de picos, uno en el secundario de la subestación principal y el otro en el secundario del transformador que alimenta a la máquina de impresión.*

8. Conclusión.

En esta investigación de calidad de la energía eléctrica se demuestra que este tema es muy importante para la vida de todas de todas las personas que tienen interacción con la energía eléctrica, se demostró teóricamente y prácticamente que una mala calidad de la energía puede causar desperfectos en aparatos eléctricos, y que a nivel industrial las pérdidas económicas suelen ser exorbitantes.

Y tener conocimientos de los métodos y equipos que se pueden utilizar para mitigar al mínimo estas perturbaciones, ya que estas perturbaciones no se pueden eliminar al máximo y hay que tener en cuenta que ciertos equipos producen disturbios, o las mismas instalaciones eléctricas de los usuarios crean disturbios, o sea todos los equipos e instalaciones pueden funcionar con los mismas perturbaciones, pero en intensidades altas causan fallas y desperfectos.

9. Bibliografía.

➤ Libros.

Titulo: *El ABC de la Calidad de la Energía Eléctrica.*

Autor: Gilberto Enríquez Harper.
Editorial: Limusa Noriega Editores.
Año: 2001.

Título: *Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment*
Emerald Book.
Autor: IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering).
Año: 2005.

Título: *Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants* Red Book.
Autor: IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering).
Año: 1993.

Título: *Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico.*
Autor: F. J. Arriola.
Año: 1989.

Título: *Manual Pirelli de la calidad de la energía eléctrica.*
Autor: Pirelli.
Año: 2001

➤ **Instituciones Consultadas.**

- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering).
- IEC (Comisión Internacional de Electromecánica).
- ANSI (American National Standards Institute).
- CIGRE (International Council on Large Electric Systems).
- CRE (Comisión Reguladora de Energía).

➤ **Páginas de empresas consultadas.**

Empresa: Prolyt. Power expertirse.

Página web: www.prolyt.com

Empresa: Fervisa, Ingeniería S.A DE C.V

Página web: www.fervisa.com

➤ **Páginas web.**

www.powerstandards.com

www.ecmweb.com

www.dranetz.com
[Leonardo ENERGY en ESPAÑOL](#)
www.monografias.com
www.eurocopper.org

Materiales o métodos o metodología de la investigación.

Asesoramiento en caso práctico y apoyo con información del tema de calidad de la energía eléctrica de la empresa:

COINEL S.A de C.V:

Consultores en Ingeniería Eléctrica.

Contacto: Ing. Ignacio Suarez.

Dirección: Bosques de México No. 26-2 Col. Bosques de México, Tlalnepantla Estado de México.
C. P. 54050.

Tels. 5365 1963, 5367 1979

Página web: www.coinel.com

10. Apéndices.

Apéndice A. Equipos y software para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica.

- ***Equipos para monitorear la calidad de la energía.***

a) QNA-P: Analizador de calidad de la energía eléctrica portátil (Portable power quality analyzer).

QNA-P es un analizador de calidad de suministro eléctrico portable que mide y registra según la norma IEC-61000-4-30 clase A. Especialmente diseñado para las medidas en intemperie y/o para aquellas empresas que requieran un equipo de medida altamente preciso y de gran robustez. La envolvente esta especialmente diseñada para soportar fuertes impactos y trabajar en condiciones climáticas muy adversas.

*QNA-P dispone de una amplia gama de pinzas tanto flexibles **C-FLEX** (para medidas en BT) como rígidas **CP** (para medidas tanto en BT como en MT). Los selectores internos, permiten la adaptación a cualquier tipo de red (3/4 hilos) facilitando la medida del analizador en cualquier tipo de red eléctrica.*

La robustez del equipo permite una cómoda portabilidad y manejabilidad que facilita la realización de medidas en distintos tipos de instalaciones y alarga la vida del equipo de forma considerable (Ver figura).



Imagen de Analizador de la Calidad de la Energía Eléctrica QNA-P.

- *Analizador de calidad de suministro trifásico certificado según IEC-61000-4-30 CLASE A.*
- *Medida y registro de más de 200 parámetros eléctricos.*
- *Detección de eventos (sobretensiones, huecos e interrupciones).*
- *Gráfica de eventos.*
- *Medida de armónicos y flicker.*
- *Dirección de los armónicos.*
- *Medida en redes de 3F o 3F+N.*
- *Medida en 4 cuadrantes.*

- *Envolvente con grado IP 67.*
- *Ficheros independientes para cada tipo de parámetros.*
- *Actualizable y configurable remotamente.*
- *Memoria rotativa (FIFO) de 4Mb (registro durante más de 74 días en modo continuo).*
- *Posibilidad de comunicaciones RS-232 / GSM / GPRS.*
- *Incluye potente software de gestión y análisis: **PowerVision**.*

b) Analizador de calidad de la energía eléctrica CVM-Q.

- *Analizador de calidad de suministro eléctrico clase B de montaje en panel (144 x 144 mm).*
- *Medida en Verdadero Valor Eficaz en redes de baja, media y alta tensión (mediante secundarios de tensión), ya que posee la posibilidad de programación de primario y secundario de tensión.*
- *Entradas de medida multirango en tensión (150 / 300 / 500 V c.a. fase-fase) en 3 o 4 hilos.*
- *Alimentación universal 110 - 230 V c.a. / 110 - 230 V c.c.*
- *Memoria interna no volátil de 1 MB, para el registro de eventos de calidad (huecos, interrupciones y sobre-tensiones)*
- *Registro del tipo de evento, duración del evento, día y hora en que se ha realizado.*
- *Programación de los umbrales que definen los eventos de calidad de suministro (% respecto la Un)*
- *Información por display de los eventos de calidad acontecidos en el estudio realizado.*
- *Medida de la tasa de distorsión armónica en tensión (Thd).*
- *Descomposición armónica en tensión, hasta el armónico 31°.*
- *Dos salidas de relevadores (función alarma).*
- *Comunicación RS-485 Modbus RTU.*
- **Software EasyComm** para el estudio de la calidad de suministro.



Imagen del Analizador de Calidad de la Energía Eléctrica CVM-Q.

CARACTERÍSTICAS			
Circuito de alimentación (*)	110...230 V c.a. / 110...300 V c.c.	Condiciones ambientales	
Tolerancia de tensión	+10% / -15%	Temperatura de trabajo	-15 °C / +70 °C
Consumo	10 V·A	Humedad	5 % ... 95 % (sin condensación)
Frecuencia	45 ... 65 Hz	Características constructivas	
Circuito de medida		Conexión	Por regleta enchufable
Tensión nominal	150 / 300 / 500 V c.a	Tipo de caja	Plástico V0 autoextinguible
Frecuencia	40...65 Hz	Protección: equipo montado (frontal) equipo sin montar (lateral)	IP 55 IP 31
Consumo circuito de medida	0,25 V·A	Dimensiones (mm)	144 x 144 x 76 mm
Clase		Peso	0,603 kg
Tensión	0,5 % ± 2 dígitos	Seguridad	
Relé salida		Categoría III-300 V c.a. EN 61010. Protección al choque eléctrico por doble aislamiento clase I	
Potencia máxima	750 V·A	Normas	
Tensión máxima	250 V c.a.	IEC 664, VDE 0110, UL 94 , EN 61010-1	
Corriente máxima	3 A (resistivos)		
Vida mecánica	3 x 10 ⁵ maniobras		

Características del Analizador de la Calidad de la Energía Eléctrica CVM-Q.

c) Analizador CVM-BDM.

- Analizador de redes eléctricas de carril DIN (8 módulos), que mide, calcula y visualiza los principales parámetros eléctricos de las redes trifásicas equilibradas y desequilibradas.
- Formato carril DIN (8 modulos)
- Calcula flicker por fase.
- Medida de armónicas hasta el 15°.
- Escala doble kW / MW

- *Lectura de corriente mediante transformadores externos.../5ª o.../1A (entradas aisladas, según tipo).*
- *Posibilidad de medida en redes de Baja y Media Tensión.*
- *Memoria interna de 1 MB.*
- *Registra cada periodo de tiempo de las variables seleccionadas.*
- *Comunicación RS-485 con protocolo Modbus RTU (en tipo RS-485) & Z modem para la descarga de ficheros.*
- *Opción de segundo puerto RS-485 para conectar periféricos de E/S.*
- *Compatible con **PowerVision**.*
- *Display LCD retroiluminado de tres líneas.*
- *Permite seleccionar página por defecto.*
- *Posibilidad de tarifas con módulos RED o RED-MAX.*



Imagen del Analizador CVM-BDM.

CARACTERÍSTICAS			
CVM-BDM		CVM-BDM	
Circuito alimentación (*)	230 V c.a. (+10% / -15%)	Características constructivas	
Consumo	6 V·A	Conexión	Bornes metálicos, tornillos "Posidraft"
Frecuencia	45 ... 65 Hz	Tipo de caja	Plástico V0 autoextinguible
Circuito de medida		Protección: Equipo empotrado	IP 41
Tensión nominal	500 V c.a. fase-neutro 866 V c.a. entre fases	Bornes	IP 20
Frecuencia	45...65 Hz	Dimensiones (mm)	140 x 110 x 70 mm (8 módulos)
Consumo circuito corriente	0,6 V·A	Peso	0,52 kg
Corriente nominal	I_n .../5 A (entrada aislada en tipo ITF) (opción: .../1 A)	Características ambientales	
Sobrecarga permanente	1,2 I_n	Temperatura de trabajo	-10 °C / +50 °C
Clase		Humedad	5 % ... 95 % (sin condensación)
Tensión	0,5 % ± 2 dígitos	Seguridad	Categoría III-300 V c.a. / 520 V c.a. EN 61010.
Corriente	0,5 % ± 2 dígitos		Protección al choque eléctrico por doble aislamiento clase II
Potencia	1 % ± 2 dígitos		
Memoria interna	1 MB	Normas	IEC 664, VDE 0110, IEC 801, UL 94, IEC 348, IEC 571-1, EN 61000-6-3, EN 61000-6-1, EN 61010-1

Características del Analizador CVM-BDM.

d) PQube® Monitor de calidad de energía eléctrica. Monitoreo de calidad y cantidad de energía eléctrica.

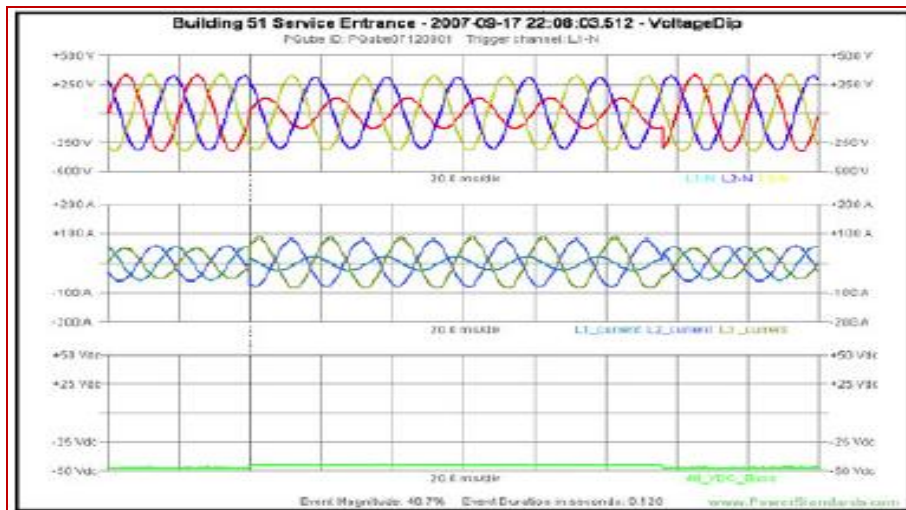
Características sobresalientes.

- Registra disturbios de interrupciones de voltaje cada vez que estos ocurren, almacenando imágenes temporizadas de las formas de onda.
- Ideal para integrarse dentro de equipo sensible, reduciendo rápidamente los costos por servicios.
- Graba datos con intervalos de un día, una semana y un mes, mas los resúmenes estadísticos requeridos en la industria.
- Opcionalmente graba consumo de energía.
- Tan fácil de usar como una cámara digital, toda la información necesaria es almacenada en una tarjeta de memoria estándar SD.
- Bajo precio y no requiere de software especial.
- Monitoreo de sistemas de 100 a 600 VCA de 50, 60 o 400 Hz.
- Registra los principales eventos de voltaje como "Dips", "Swells", Interrupciones, Formas de Onda de Fallas, Variaciones de Frecuencia y detección de impulsos de hasta 1 micro segundo de duración.
- Una entrada digital mas dos canales adicionales de +-60 volts.

- *Hasta 1024 muestras por ciclo. Mediciones RMS verdadero.*
- *Almacenaje de hasta 8 gigabytes en su salida para tarjeta de memoria SD, con archivos gráficos GIF y tablas CSV compatibles con Excel.*
- *No requiere de ningún software especial.*
- *Montaje en panel o riel DIN.*
- *Relevador con contacto auxiliar, puerto USB y pantalla a color.*
- *Fuente interna ininterrumpible Li-Ion.*

Opciones adicionales.

- *Puerto para conexión a Ethernet con e-mail, DHCP, FTP, SNTP.*
- *Monitoreo de sistemas monofásicos o trifásicos. Entradas de corriente con secundarios de TC's de 1 o 5 amperes. O entrada directa de corriente de 20 o 100 amperes.*
- *Monitoreo y almacenamiento de consumo de energía - kWh, kVA, kVAR, kVAhFactor de Potencia, kW.*
- *Armónicas y flicker, de acuerdo a EN50160.*
- *Receptor GPS para horario preciso.*
- *Puerto serial de comunicaciones – alámbrico o inalámbrico.*
- *Dos medidores de temperatura y humedad.*
- *Relevadores adicionales con contactos auxiliares.*
- *Fuente de poder externa – 100 a 240 Vca 50/60 Hz.*
- *Protocolos de comunicación DNP3, Modbus y otros.*
- *Se puede transferir del sitio Web de PLS's, el certificado de calibración NIST para su PQube.*



Los Archivos Típicos de Salida son Imágenes y Archivos Compatibles con Excel. No se Requiere Ningún Software.



Imagen de PQube Monitor de Calidad de la Energía Eléctrica.

La Serie IQ... medidor inteligente.

e) Analizador de calidad de la energía IQ 7000.

- Alta calidad y monitoreo de la energía.
- Precisión en mediciones de energía 0.05% preciso.

- *Información detallada de la carga.*
- *Captura de onda y capacidad de almacenamiento.*
- *Medición de Armónicas.*
- *Registro de fallas.*
- *Historial de tendencias.*



Imagen del Analizador de la Calidad de la Energía Eléctrica IQ 7000.

f) Analizador IQ de energía eléctrica.

- *Medidor y analizador de calidad de la energía.*
- *Mediciones precisas de energía.*
- *Información detallada de carga.*
- *Captura de ondas.*
 - *Caída, mediciones de aumento e interrupción.*
 - *Armónicas instantáneas.*
 - *Otros disparos relacionados con energía y calidad de la energía.*
- *Pantalla Gráfica.*
- *Medidor Clase Facturación.*



Imagen del Analizador de la Calidad IQ.

g) Analizador de la calidad de la energía eléctrica PowerWatch.

- *Conexión monofásica fácil y segura.*
- *Mediciones de los disturbios en el Voltaje.*
 - *Sags y Swells.*
 - *Transitorios.*
 - *Interrupciones.*
- *Graficas Estadísticas y eventos*
 - *Trazado de curvas CBEMA.*
 - *Datos Estadísticos.*
 - *Tiempo y datos de muestreo.*



Imagen del Analizador de la Calidad PowerWatch.

g) Analizador de calidad de la energía eléctrica 43B.

El analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43B Combina las funciones más útiles de un analizador de calidad de la energía eléctrica, un osciloscopio y un multimetro en un solo instrumento de fácil manejo. Menú en inglés, alemán, francés, italiano o español seleccionable por el usuario.

El instrumento de análisis perfecto para controlar todos los problemas relacionados con la energía

El Fluke 43B es la elección de los técnicos de mantenimiento para el diagnóstico y medida de problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica y fallos de equipos general de toda la industria.

- *Armónicos de tensión corriente y potencia eléctrica.*
- *Armónicos hasta el orden 51°.*
- *Distorsión total armónica (TDH).*

- *Ángulo de fase de los diferentes armónicos.*
- *Potencia monofásica y trifásica en sistemas de equilibrio.*
- *Voltaje, factor de potencia VA y VAR.*
- *Registro continuo de voltaje y amperes ciclo a ciclo, hasta 16 días.*
- *Formas de onda de tensión y corriente.*
- *Medida con cursores, con indicación de datos horarios (Fecha, hora etc.).*
- *Pantalla de ayuda de cómo conectar el analizador 43B en un sistema trifásico.*

Especificaciones técnicas del analizador 43B.

<i>Especificaciones de ambiente</i>	
<i>Temperatura de trabajo</i>	<i>0 °C a +50 °C</i>
<i>Homologación de seguridad</i>	
<i>Seguridad eléctrica</i>	<i>EN 61010-1 CAT II, 600 V. Certificados UL y CSA</i>
<i>Especificaciones mecánicas y generales</i>	
<i>Dimensiones</i>	<i>232 x 115 x 50 mm</i>
<i>Peso</i>	<i>1,1 kg</i>
<i>Garantía</i>	<i>3 años</i>
<i>Vida útil de la batería</i>	<i>Batería recargable de Ni-Cd (cargador incluido), 4 horas de duración típica (funcionamiento continuo)</i>
<i>Golpes y vibraciones</i>	<i>Mil 28800E, Tipo 3, Categoría III, Clase B</i>
<i>Estuche</i>	<i>IP51 (polvo, salpicaduras, hermeticidad al agua)</i>



Imagen del Analizador de Calidad de la Energía Eléctrica Fluke 43.

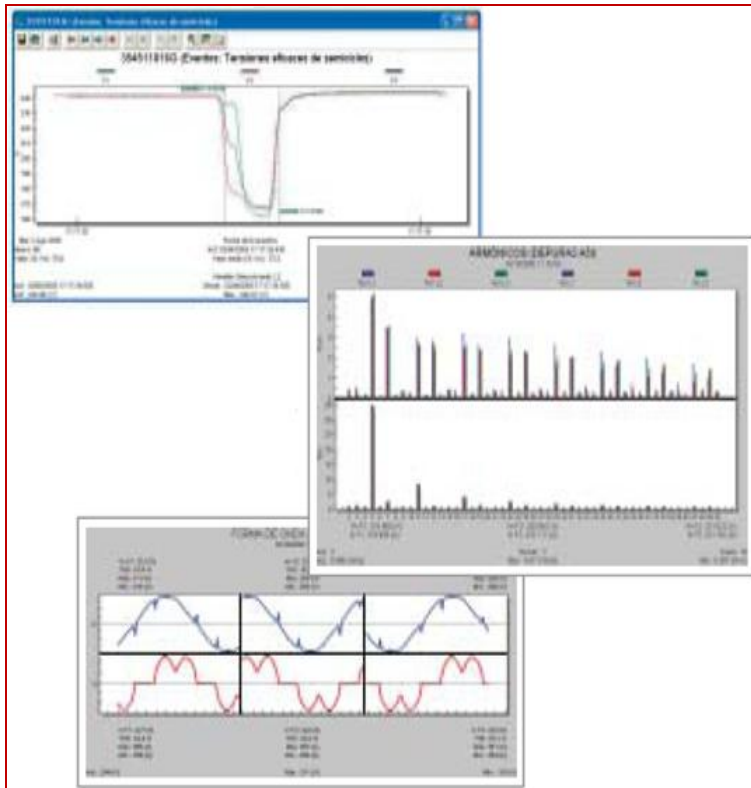
- **Software de monitoreo de calidad de la energía eléctrica.**

a) Software POWER VISION.

Power Vision es el software que le permitirá utilizar la teledatada y gestionar la información registrada por los analizadores de calidad de suministro QNA, pudiendo realizar gráficas o listas con la información deseada, así como generar informes con la información registrada según la normativa EN- 50160 u otras normativas configurables en el mismo software. Es una herramienta de altas prestaciones que eleva la potencia de información registrada por los equipos.

Power Vision permite tanto a usuarios expertos como a aquellas personas que lo utilizan por primera vez sacar el máximo rendimiento a la información de forma rápida y sencilla.

Con el modulo de comunicaciones, podrá comunicar con los analizadores QNA vía RS-232, RS-485, Ethernet, GPRS e incluso vía modem (GSM o RTC) a través de un sencillo menú de configuración. Con él podrá configurar los analizadores, pudiendo realizar incluso descargas de la información de multitud de equipos instalados en distintos lugares remotos y de forma totalmente automática, permitiéndole ahorrar un valioso tiempo.



Imágenes de Graficas que se Pueden Visualizar con el Equipo QNA-P y el Software Power Vision Integrado.

b) Software PowerStudio SCADA.

La instalación de los Analizadores de Redes Circuitor tiene como objetivo cubrir tres importantes necesidades:

- *Supervisión Energética en entornos industriales.*
- *Mantenimiento preventivo de líneas e instalaciones eléctricas.*
- *Imputación de costes departamentales o de procesos productivos.*

Para alcanzar estos objetivos, y debido al gran volumen de información que aporta cada una de las centrales de medida, será necesario, mediante un sistema centralizado de recogida de datos, un software o aplicación de control, cuya finalidad sea el procesamiento de los datos y la elaboración de informes, con el objetivo de adoptar medidas preventivas o correctivas en la instalación; por esta razón, Circuitor ha desarrollado el software de gestión energético integral PowerStudio Scada.

Principales características.

Programación remota de los equipos

Programación on-line de todos los equipos conectados (relaciones de transformación de tensión y corriente, salidas digitales, entradas / salidas analógicas, etc).

Visualización de parámetros en tiempo real

Visualización en tiempo real de los parámetros medidos por todos los equipos conectados, gracias a la comunicación continua (pulling). De esta manera conocemos el comportamiento de la instalación y el estado de las líneas de distribución eléctrica de la instalación en todo momento.

Históricos

Registro automático de datos históricos, sin necesidad de realizar ninguna programación (desde que se añade un equipo, sus parámetros son registrados por el software). Creación de tablas y/o gráficos a partir de los datos registrados (agrupados por día, semana o mes). Mediante estas representaciones, se puede visualizar la evolución en el tiempo de cualquier parámetro eléctrico o de proceso, e incluso visualizar el incremento de una variable totalizada en el tiempo (energía). Posibilidad de imprimir cualquier tabla o gráfico generado.

Módulo de alarmas

Con el módulo de alarmas y una programación previa, el usuario puede visualizar en tiempo real cualquier incidencia que ocurra en la instalación. Las alarmas pueden estar asociadas a cualquier parámetro integrado en el software.

Software Multipuesto (servidor web).

Servidor web interno, que permite que todos los usuarios de la red interna de la empresa (LAN) puedan visualizar los datos que ofrece PowerStudio Scada en tiempo real o consultar los datos históricos registrados. Numero de usuarios ilimitados y posibilidad de crear filtros de acceso para limitar la información publicada.

Servidor XML y DDE integrado.

Para intercambio dinámico de datos, con el fin de integrar la supervisión energética en un sistema global de control.

Construcción de pantallas personalizadas.

En estas pantallas podemos implementar desde esquemas unifilares de la instalación, hasta pantallas personalizadas que simulen un proceso productivo. De esta manera podemos fijar

etiquetas de visualización de parámetros o estados, que indiquen el estado de un punto concreto de la instalación o de una línea. Numero ilimitado de pantallas personalizadas. Posibilidad de crear pantallas de visualización sincronizadas, para cada punto de la instalación.

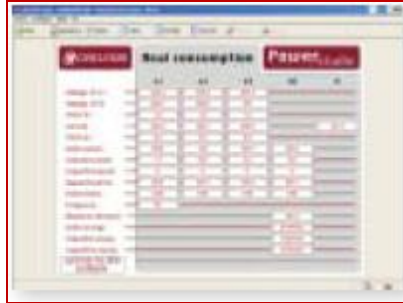


Imagen de una Pantalla Personalizada con el Software PowerStudio Scada.

Funciones de telecontrol

A través de los equipos **Circuitor**, tenemos la posibilidad de realizar funciones de telecontrol remoto sobre elementos de la instalación (forzando la parada y arranque de estos).

Módulo generador de informes y simulador de recibos.

Power Studio Scada, posee el generador de informes y simulador de facturas más potente del mercado. Cualquier variable captada y registrada por el software, queda reflejada en un informe resumen, donde puede incluirse desde consumos de energía en un periodo de tiempo determinado, hasta un resumen de eventos o incidentes ocurridos. Informes personalizables en cada caso. Sobre las variables captadas puede aplicarse funciones matemáticas para obtener ratios de producción o comprobaciones de consumos respecto una factura eléctrica emitida.

Gran versatilidad y muy fácil uso.

Herramienta fácil e intuitiva. Para crear una aplicación **Scada** no es necesario tener conocimientos ni de programación ni de sistemas de adquisición de datos.

c) Software de Comunicación

- Diseñado para manejar los sistemas de distribución de energía.
 - Monitoreo.
 - Relevadores de protección.
- Manejo de costos de Energía.
- Tendencia de los datos del sistema de energía.

- *Localización y resolución de problemas de calidad de la energía.*
- *Asegura Confiabilidad.*

Software para el manejo de la Energía PowerNet.

- **Conectividad PowerNet.**

Conexión de Dispositivos con INCOM™, OPC, DDE o Modbus. Maestro vía Software o Hardware.

- **Monitor de la planta PowerNet.**

Monitoreo en tiempo real e histórico de todos los dispositivos conectados.

- **Calidad de la energía PowerNet.**

Historial de la alarma con onda con acceso a captura de formas de onda, curva de disparo, curvas CBEMA/ITIC y tendencias.

- **Facturación de Energía PowerNet.**

División de costos por energía eléctrica, incluyendo tendencia de energía.

Acoplamiento: Relación de dos o más circuitos de tal forma que se establece una transferencia de energía entre ellos.

Aislantes: El aislante perfecto para las aplicaciones eléctricas sería un material absolutamente no conductor, pero ese material no existe. Los materiales empleados como aislantes siempre conducen algo la electricidad, pero presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica hasta $2,5 \times 10^{24}$ veces mayor que la de los buenos conductores eléctricos como la plata o el cobre.

Armónica: La componente sinusoidal de una onda periódica a una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60 Hz). Por ejemplo, una componente de frecuencia al triple de la frecuencia fundamental es llamado tercer armónico que sería 3×60 o 180 Hz.

Ambiente Electromagnético: Es la totalidad de los fenómenos electromagnéticos existentes en un sitio dado.

Baja Tensión (BT): El nivel de tensión menor o igual que 1 kV.

Caída de Tensión (Sags): Reducción en la magnitud RMS en la señal de tensión CA a la frecuencia industrial, para duraciones desde 0.5 ciclos a 1 min. Los valores típicos están entre 0.1 y 0.9 pu.

Calidad: Grado en que un conjunto de características inherentes a bienes y servicios cumple con unas necesidades o expectativas establecida, generalmente implícitas u obligatorias.

Calidad de la Energía Eléctrica: Características físicas de la energía suministrada en condiciones normales de operación, que no producen interrupciones ni operaciones erráticas en equipos y procesos de la carga del suscriptor o en la red de distribución en cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma de servicio eléctrico.

La calidad de la energía eléctrica es la combinación de características físicas de la calidad de onda de **Voltaje y Corriente** y estas sean ideales (Una senoide de amplitud y frecuencia constante).

Calidad de Potencia Eléctrica: Cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión, de la corriente de la frecuencia, de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario. También se puede definir como las características físicas de las señales de tensión y corriente, para un tiempo dado y un lugar determinado, que tiene el

propósito de satisfacer necesidades del usuario. Es conocida como Power Quality en habla inglesa.

Calidad de la Onda de Voltaje: Es referente a las desviaciones del voltaje de su forma ideal con respecto a su forma de onda. El voltaje ideal es una onda sinusoidal de frecuencia constante que solo contiene la componente fundamental y de magnitud constante.

Calidad de la Onda de Corriente: Es referente a las desviaciones de la corriente de su forma ideal con respecto a su forma de onda. La forma de onda ideal de la corriente de nueva cuenta es una onda sinusoidal de frecuencia constante. Un requerimiento adicional es que esta forma de onda debe estar en fase con el voltaje de la línea.

Calidad del Suministro de Energía Eléctrica: Confiabilidad + Calidad de Voltaje.

Incluye la parte técnica (Calidad en el voltaje) mas una parte no técnica algunas veces es referenciada como calidad en el servicio. Esta quizás es de las definiciones mas útiles sin embargo no incluye la parte de la responsabilidad del cliente.

Calidad del Servicio de Energía Eléctrica. Calidad de Suministro + Relación con consumidores.

La calidad en el servicio eléctrico es un concepto manejado por los usuarios finales. Esta es la totalidad de las características técnicas y administrativas relacionadas a la distribución, transmisión y generación de la energía eléctrica. Calidad del servicio al consumidor.

Calidad del Consumo de la Energía Eléctrica. Confiabilidad Suministro + Calidad de Energía + Relación con Consumidores.

Este es la fase final de la energía eléctrica donde simplemente se le proporciona al usuario por medio de la empresa distribuidora, donde se observan los siguientes parámetros: Disponibilidad de alimentación al consumidor, Calidad de la energía ofrecida al consumidor. Es el término complementario a calidad del suministro.

Carga Lineal: La carga que genera una onda de corriente senoidal cuando esta es alimentada por una fuente de tensión senoidal. Estas son las resistencias puras, inductancias y capacitancias.

Carga No Lineal: La carga que genera una onda de corriente no senoidal cuando es alimentada por una fuente de tensión senoidal. Son las cargas compuestas por semiconductores.

Carga Sensitiva: Carga que suele desconectarse o reiniciarse debido a una perturbación de la tensión de suministro. Las cargas de este tipo en su mayoría están basadas en electrónica.

Carga: Unidad que al recibir energía eléctrica es capaz de transformarla en otro tipo de energía útil.

Centro de Distribución Eléctrico: Conjunto de interruptores y dispositivos destinados a operar y vigilar el estado de los circuitos eléctricos.

Circuito Eléctrico: Conjunto de elementos del circuito conectados en una disposición tal que conforman un sistema para mover cargas eléctricas a lo largo de trayectorias cerradas.

Componente Fundamental: Es la componente de orden 1 (60 Hz) de la cantidad de una onda periódica de una Serie de Fourier.

Compatibilidad Electromagnética (CEM): Capacidad de un aparato o de un sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir, él mismo, perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo aquello que se encuentra en este entorno.

Compatibilidad: Capacidad de varios sistemas o mecanismos para operar en armonía.

Conductor Eléctrico: Cualquier material que ofrezca poca resistencia al flujo de electricidad. Un buen conductor de electricidad, como la plata o el cobre, puede tener una conductividad mil millones de veces superior a la de un buen aislante, como el vidrio o la mica. En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones; y en disoluciones y gases, lo hace por los iones.

Conexión a tierra: Es la unión entre un conductor y el sistema de tierra.

Tensión o Corriente DC (Offset): Es la presencia de tensión o corriente cuya frecuencia es cero.

Corriente Eléctrica Alterna: El flujo de corriente en un circuito es llamado alterno si varía periódicamente en dirección. Se le denota como corriente A.C. (Altern Current) o C.A. (Corriente Alterna).

Corriente Eléctrica Continua: El flujo de corriente en un circuito es llamado continuo si se produce siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct Current) o C.C. (Corriente Continua).

Desbalance de Tensión: Relación entre el valor RMS de la componente de secuencia negativa con respecto al valor RMS de la componente positiva. También se puede definir como la desviación máxima del promedio de la tensión trifásica dividido por el promedio de la tensión expresado en porcentaje.

Dieléctricos: Es un material no conductor de la corriente eléctrica también llamado material aislante o no conductores de la energía eléctrica.

Distorsión Armónica: Es la distorsión de la forma de la onda de tensión o corriente alterna causada por armónicos, definidos como componentes sinusoidales, con frecuencia igual a múltiplos enteros de la frecuencia del sistema.

Distorsión de la Forma de Onda: Desviación en estado estable, de una onda sinusoidal ideal con respecto a la frecuencia del sistema de potencia. Esta desviación se caracteriza, principalmente, por su contenido espectral. Existen cinco tipos principales de distorsión de forma de onda: Corriente DC (Offset), Armónicos, Interarmónicos, Muecas, Ruido.

Disturbio: Cualquier desviación del valor nominal, o de un límite seleccionado en la tolerancia de la carga, en las características de entrada de la energía de corriente alterna.

Emisión: Fenómeno por el que una perturbación electromagnética emana de una fuente.

Emisor de Perturbación Electromagnética: Dispositivo que produce campos electromagnéticos que pueden perturbar a otros equipos en su entorno.

Entorno eléctrico: Debe considerarse en la aplicación de los dispositivos de protección contra transitorios las amplias variaciones de voltaje que ocurren en la operación normal del sistema, para efectuar una selección adecuada del voltaje de sujeción.

Entorno Electromagnético: Espacio donde coexiste un conjunto de fenómenos electromagnéticos.

Espectro: Conjunto de componentes de frecuencias individuales que forman una onda compleja.

Estabilidad de Tensión y Frecuencia: Es la condición de permanencia de ambos parámetros dentro de rangos predeterminados en relación a la tensión y frecuencia nominal.

Facto de potencia (PF): Denominamos Factor de Potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el seno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la onda sinusoidal es pura. Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principal de equipos de refrigeración, motores etcétera.

Filtro Activo: Básicamente el concepto de filtro activo es aquel que usa la electrónica de potencia para producir componentes armónicos los cuales cancelan las componentes armónicas desde las cargas no lineales, son aquellos que pueden estar compuestos por elementos filtrantes tanto paralelo como serie.

Filtro Pasivo: El uso de filtros pasivos de armónicas en sistemas de potencia tiene dos objetivos: el principal es prevenir la entrada de corriente y voltaje armónicos desde agentes contaminantes al resto del sistema; y proveer al sistema toda o parte de la potencia reactiva que éste necesita.

Fluctuación de Tensión: Serie de cambios en la tensión o una variación cíclica de la envolvente de la tensión.

Fluctuación Rápida de Tensión (Flicker): Cambios de pequeña amplitud en los niveles de tensión ocurridos a una frecuencia menor de los 25 Hz, originados por variaciones rápidas de carga que causan fluctuación de la luminancia. Sensación de inestabilidad visual inducida por un estímulo de luz cuya iluminancia o distribución espectral varía con el tiempo.

Impedancia: La oposición al paso de una corriente eléctrica. Se expresa en ohms y es una combinación de la resistencia R y de la reactancia X.

Pulso Electromagnético: Campos electromagnéticos transitorios, de alta intensidad y de banda ancha, como los que ocasionan las descargas atmosféricas.

Inmunidad: La capacidad de un sistema para continuar operando satisfactoriamente al estar sometido a perturbaciones electromagnéticas.

Interarmónico: Componente de frecuencia de una cantidad periódica, que no es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema.

Interferencia: Es una interferencia restringida a la banda de radiofrecuencias generalmente entre 10 MHz y 10 GHz.

Interferencia Electromagnética (EMI): Cualquier perturbación electromagnética que se manifiesta en la degradación de la operación, el mal funcionamiento o la falla del equipo eléctrico o electrónico.

Interrupción (Ausencia de Tensión): Se considera como tal cuando la señal de tensión decrece a menos 0.1 p.u, para un tiempo mayor a 0.5 seg.

Interrupción Momentánea: La pérdida completa de la alimentación de tensión. Por lo menos entre 8 mseg y 3 seg.

Interrupción Temporal: La pérdida completa de la alimentación de tensión. Una interrupción con duración de 3 seg a 1minuto.

Interrupción Sostenida (Salida): La pérdida completa de la alimentación de tensión. Una interrupción mayor a 1 minuto.

Límite de Emisión: Es el máximo nivel de emisión admisible.

Límite de Inmunidad: Es el mínimo nivel de inmunidad requerido.

Límite de Perturbación: Máximo nivel de una perturbación electromagnética dada que incidiendo sobre un dispositivo o sistema particular le permite las condiciones de funcionamiento requeridas.

Límite de Planificación: El nivel de una perturbación en un entorno particular, adoptado como un valor referencial de límite para la emisión de grandes cargas e instalaciones, con el fin de coordinar estos límites con todos los límites adoptados para equipos conectados en el sistema eléctrico.

Línea de interconexión: Es una línea entre una planta de generación y una subestación de transmisión, opera a un voltaje mayor a 90 kV, y tiene como función transportar la potencia producida por la planta de generación a la subestación de transmisión.

Línea de transmisión: Es el enlace físico entre dos subestaciones, usado para el transporte de potencia eléctrica entre ellas y opera a un voltaje mayor a 90 kV.

Margen de Emisión: Es la relación entre el nivel de compatibilidad electromagnética y el límite de emisión.

Margen de Inmunidad: Es la relación entre el límite de inmunidad y el nivel de compatibilidad electromagnética

Margen de Compatibilidad Electromagnética: Es la relación entre el límite de inmunidad y el límite de emisión.

Media Tensión (MT): El nivel de tensión mayor que 1 kV y menor que 69 kV.

Muecas (Notch): Perturbación periódica sobre la onda de tensión, causada por la operación normal de equipos electrónicos de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

Neutro flotante: Se le llama así al neutro de una instalación que no se conecta a tierra. Dependiendo de las condiciones de operación puede existir una diferencia de potencial entre este neutro y tierra.

Nivel de Compatibilidad Electromagnética: Nivel de perturbación electromagnética especificado, utilizado como nivel de referencia en el entorno para coordinar los límites antes expuestos. Son valores referenciales para la coordinación adecuada del límite de planificación sin afectar la compatibilidad electromagnética de los equipos, que forman parte del sistema de potencia. En la práctica el nivel de compatibilidad electromagnética no es un nivel máximo absoluto ya que, aunque es poco probable, puede ser superado. Por convención, el nivel de compatibilidad se selecciona de manera tal que existe únicamente una pequeña probabilidad de que exceda el nivel de perturbación real. Sin embargo, la compatibilidad electromagnética se logra únicamente si los niveles de emisión se controlan de manera tal que, en cada ubicación, el nivel de perturbación que resulta de las emisiones acumulativas es inferior al límite de planificación para cada dispositivo, equipo y sistema localizado en la misma ubicación.

Nivel de Emisión de una Fuente de Perturbación: Es la magnitud de una perturbación electromagnética dada, emitida desde un dispositivo particular, equipo o sistema, y medida de un modo especificado.

Nivel de inmunidad: Es la máxima magnitud de una perturbación electromagnética dada, que incide de una manera especificada sobre un dispositivo, equipo o sistema particular, en el cual no ocurre degradación de su operación.

Nivel de Perturbación: Cantidad de perturbación electromagnética que existe en una ubicación dada, y que se origina a partir de todas las fuentes que contribuyen a la perturbación.

Perturbación Conducida: Fenómeno electromagnético que se propaga a lo largo de una red de distribución por medio de los conductores de la línea y, en ciertos casos, a través de los transformadores, con repercusión entre redes de diferentes niveles de tensión. Estas perturbaciones pueden degradar el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema o provocar daños.

Perturbación Electromagnética: Fenómeno electromagnético susceptible de crear problemas en el funcionamiento de un dispositivo, aparato o sistema (receptor ó víctima), o de afectar desfavorablemente la materia viva o inerte. Ésta puede ser un ruido, una señal no deseada ó una modificación de un medio de propagación en sí mismo.

Perturbación: Fenómeno transitorio o permanente que altera el funcionamiento normal de un dispositivo.

p.u: Una cantidad en por ciento es 100 veces una cantidad en por unidad, un valor en por unidad o cualquier cantidad expresad en por unidad, es la relación de esta cantidad entre un valor denominado como base. El resultado se expresa como una cantidad dimensional.

Los valores reales o actúales, tales como voltaje (V), corriente eléctrica (I), potencia (P), potencia reactiva (Q), volt-ampere (VA), resistencia(R), reactancia (X) e impedancia (Z), se pueden expresar en por unidad o en por ciento, de a cuerdo a la siguiente relaciones:

$$\text{Cantidad en por unidad} = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Cantidad base en las mismas unidades}}$$

$$\text{Cantidad en por ciento} = (\text{Cantidad en por unidad}) 100$$

Donde la **cantidad** es un valor escalar o complejo, expresado en sus propias unidades, tales como: Volts, amperes, ohms, volt-ampere o watts.

La llamada la **cantidad base** o valor base, se refiere a un valor de referencia, seleccionada de manera arbitraria o a conveniencia para la misma cantidad y en las mismas unidades.

Por lo tanto las cantidades en por unidad o en por ciento son cantidades adimensionales.

Punto de Suministro: Es aquel donde el sistema de La Distribuidora queda conectado a las instalaciones del Usuario, y donde se delimitan las responsabilidades de mantenimiento, de guarda y custodia, y de pérdidas, entre La Distribuidora y el Usuario.

Punto frontera: Corresponde al punto de conexión de generadores, distribuidores, grandes consumidores y autoprodutores con las redes de transmisión o distribución, así como al nodo de interconexión internacional.

Punto de medición: Es el lugar físico de la red donde se conectan los equipos de medición.

Reactancia Capacitiva: Parte de la reactancia total de un circuito que se debe a la presencia de capacitancia.

Reactancia Inductiva: Parte de la reactancia total de un circuito debida a la presencia de inductancias.

Rectificador de 12 Pulsos: Un rectificador de 12 pulsos consiste en la conexión de dos rectificadores de 6 pulsos alimentados mediante un transformador con dos secundarios o a través de dos transformadores. En ambos casos, la conexión de la alimentación del rectificador debe ser uno “estrella” y el otro en “delta”.

Reglamento de la ley del servicio publico de energía eléctrica: Documento en el que se establece las normas a seguir en todo lo relacionado a la generación, transmisión y consumo de la energía eléctrica, con inclusión de las disposiciones administrativas aplicables.

Regulación de voltaje: El grado de control o estabilidad del valor eficaz (RMS) de voltaje en la carga, generalmente especificado en relación con otros parámetros tales como cambios en el voltaje de entrada, cambios de carga o cambios de temperatura.

Ruido: Perturbación electromagnética indeseada con contenido espectral de banda ancha menor de 200 kHz, superpuesta a la tensión o corriente de los conductores de fase, en los conductores de neutro, o conductores de señal.

Semiconductor: Material sólido o líquido capaz de conducir la electricidad mejor que un aislante, pero peor que un metal. La conductividad eléctrica, que es la capacidad de conducir la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial, es una de las propiedades físicas más importantes. Ciertos metales, como el cobre, la plata y el

aluminio son excelentes conductores. Por otro lado, ciertos aislantes como el diamante o el vidrio son muy malos conductores. A temperaturas muy bajas, los semiconductores puros se comportan como aislantes.

Sistema de tierra: Se le llama sistema de tierra a la red de conductores eléctricos unidos a una o más tomas de tierra y provista de una o más terminales a las que pueden conectarse varios puntos de la instalación. El sistema de tierras de una instalación se diseña en función de: el nivel de voltaje, la corriente de corto circuito, la superficie que ocupa la instalación la probabilidad de explosión o incendio, la resistencia a tierra, la humedad y la temperatura del suelo.

En una industria pueden existir varios sistemas de tierra independientes: para la subestación, las máquinas eléctricas, el sistema de pararrayos, para computadoras y para equipos de transmisión o recepción de señal. Ningún sistema de tierras es perfecto, ya que requeriría que los conductores que lo forman y el suelo tuvieran una resistencia cero.

Sobrecarga: Operación de un equipo por arriba de su capacidad normal o de un conductor por arriba de su capacidad.

Sobre Corriente: Cualquier corriente por arriba de la capacidad del equipo o de la capacidad de un conductor. Puede ser resultado de una sobrecarga, un corto circuito o una falla a tierra.

Sobre Tensión: Variación en estado estable mayor a 1 min., cuyo valor esta por lo menos, 10% por encima de la tensión nominal del circuito o sistema.

Subida de Tensión (Swell): Incremento del valor eficaz (rms) de la señal de tensión entre 1.1 p.u y 1.8 en p.u, a frecuencia industrial, cuya duración es mayor a medio ciclo y menor o igual a un minuto.

Subtensión: Variación en estado estable mayor a 1 min., cuyo valor esta, por lo menos, 10% por debajo de la tensión nominal del circuito o sistema.

Supresor de transitorios: Dispositivos conectados a la red de energía eléctrica que nos sirven para inhibir todas las perturbaciones eléctricas ocasionadas por los transitorios, para poder evitar con esto fallas a equipos eléctricos.

Susceptibilidad Electromagnética: La capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética. Susceptibilidad es una falta de inmunidad.

Tensión Nominal: Valor asignado a un circuito o sistema como conveniencia para designar su clase de voltaje, por ejemplo: 120/240 V, 480/277 V.

Tensión rms: Valor de tensión en corriente continua que producirá la misma potencia disipada en una resistencia y se define como el valor pico de la onda de tensión multiplicado por 0.7071.

Tierra física: Se dice que un conductor se conecta a una tierra física cuando se une sólidamente a un sistema a tierra, que a su vez esta directamente conectado a la toma de tierra.

Tipos de Acoples: Los acoples se pueden clasificar de acuerdo a su medio de propagación:

Conducidas: Cuando se propagan mediante un conductor eléctrico que conecta la fuente con el receptor, por ejemplo: cables de suministro de energía o señal, pantallas, chasis metálicos, etc.

Radiadas: Cuando la propagación se efectúa a través de campos electrostáticos o electromagnéticos.

Capacitivo: La variación en el tiempo del campo eléctrico de un sistema externo genera en el sistema perturbado cargas que varían con el tiempo.

Titilación de la Iluminación: Es la acción de centellear u oscilar una luz o un cuerpo luminoso.

Transitorio Tipo Impulso: Cambio súbito a una frecuencia distinta a la de suministro, en condición de estado estable de la tensión, corriente, o ambos, que es unidireccional en polaridad (positiva o negativa). Estos transitorios se caracterizan, normalmente, por su tiempo de aumento y caída.

Transitorio Tipo Oscilación: Cambio repentino a una frecuencia diferente a la de suministro en la condición de estado estable de la tensión, o corriente, o ambas que incluyen ambos valores de polaridad, positivo y negativo. Un transitorio oscilatorio consta de una corriente o tensiones cuyos valores instantáneos cambian de polaridad rápidamente. Existen transitorios de oscilación de alta, media y baja frecuencia.

UPS (Fuente de Alimentación Ininterrumpible): Un UPS es un dispositivo conectado entre la red eléctrica (conectado a la alimentación de la empresa eléctrica) y los materiales que necesitan protección. El UPS permite que los materiales reciban alimentación de una batería de emergencia durante varios minutos en caso de que se produzcan problemas eléctricos. Además puede agregar otras funciones que terminan mejorando el suministro de energía eléctrica a los equipos sofisticados o de alto riesgo eléctrico que tiene conectados a ella.

Variación de Frecuencia: Incremento o decremento en la frecuencia del sistema de potencia.

Variación de Tensión de Corta Duración: Variación del valor RMS de la tensión a partir de la tensión nominal, para un tiempo mayor que 0.5 ciclos a frecuencia nominal (60 Hz) de potencia, pero menor o igual a un minuto.

Variación de Tensión de Larga Duración: Variación del valor eficaz (RMS) de la tensión a partir de la tensión nominal, para un tiempo mayor que 1 min.

Vatio: Unidad que representa la potencia eléctrica. Un kilovatio es igual a 1000 vatios. Se representa por la letra W.

Volt: Unidad utilizada para medir la diferencia de potencial o tensión entre dos puntos de un circuito eléctrico. Su abreviatura es V.

Apéndice C. Abreviaturas o Siglas.

A: Ampere.

AC: Corriente Alterna.

ANSI: Instituto Americano de Estándares Nacionales.

APF (TF): Filtro activo de potencia o un filtro sintonizado.

BESS: Energía de la batería del sistema de almacenamiento.

C: Acoplamiento.

CBEMA: Computer Business Equipment Manufactures Association.

CC: Corriente Continua (DC).

CEM: Compatibilidad Electromagnética.

CEN: Comité Europeo de Normalización.

CFE: Comisión Federal de Electricidad.

CIGRE: Conferencia Internacional de Grandes Redes Eléctricas.

CPU: Unidad de Procesamiento Central.

CRE: Comisión Reguladora de Energía.

CT: Transformador de Corriente.

CVT: Transformador Constante de Tensión.

DRV: Restaurador Dinámico de Tensión.

DSC: Distribución de capacitores en serie.

DSTATCOM: Distribución sincrónica compensadora estática.

DUPS: Alimentación dinámica ininterrumpida.

DVR: Restaurador dinámico de tensión.

EMP: Pulso Electromagnético.

EMI: Interferencia Electromagnética.

f: Frecuencia.

FP: Factor de Potencia.

h: Orden del Armónico.

HF: Alta Frecuencia.

HL: Baja Frecuencia.

Hz: Hertz, ciclos por segundo.

I_{cc}: Corriente de Corto Circuito.

IE: Interferencia Electromagnética.

IEC: Comisión Internacional de Electromecánica.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos.

I_h: Corriente Armónica.

IL: Corriente de Carga.

ITIC: Information Technology Industry Council.

NOM: Norma Oficial Mexicana.

PC: Computador Personal.

PCC: Punto Común de Acoplamiento.

PE: Perturbación Electromagnética.

PFC: Controlador de factor de potencia.

PLC: Controlador lógico programable.

Plt: Indicador Equivalente del Índice de Severidad Fluctuaciones Rápidas de Tensión (flicker) de Largo Plazo.

PQ: Power Quality (Calidad de la Energía Eléctrica).

Pst: Indicador Equivalente del Índice de Severidad Fluctuaciones Rápidas de Tensión (flicker) de Corto Plazo.

PT: Transformador de Tensión.

PWM: Modulación por Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation).

RMS: Raíz Media Cuadrática (valor eficaz).

SA: Sobretensiones.

SCC: Consejo de Estándares de Canadá.

SCR: Rectificador Controlado de Silicio (Silicon Controlled Rectifier).

scr: Relación de Corto Circuito vs la Corriente Máxima.

SETC: Cambiador de tomas electrónicas estáticas.

SMES: Sistema de superconductor de energía magnética.

SSC: Compensador de Serie Estático.

SSCB: Interruptor automático de estado sólido.

SSTS / MTS: De estado sólido transferencias bruja. /Mecánica interruptor de transferencia.

SVC: Compensador estático en VAR.

T: Periodo.

THDi: Distorsión Armónica Total de Corriente.

THDv (TDT): Distorsión Armónica Total de Tensión.

TCS: Thyristor conmutación de condensadores.

TPC: Transformador de Potencial Capacitivo.

TRF: Transformada Rápida de Fourier.

TS: Switch de Transferencia.

TVSS: Transient Voltage Surge Suppressor.

UPS: Fuente de Potencia Ininterrumpible.

VFD: Accionador de Frecuencia Variable.

Vpico: Voltaje pico.

VSD: Accionador de Velocidad Variable.

XC: Reactancia Capacitiva.

XL: Reactancia Inductiva.