

El avance en las comunicaciones, los sistemas de control, los computadores y sus componentes permitió la creación de un "Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos", conocido como SCADA por sus siglas en ingles.

Estos sistemas se pueden aplicar, además del control de redes eléctricas, para agua, telecomunicaciones, transporte y otras aplicaciones.

La firma MOTOROLA desarrolló es sistema MOSCAD, que es uno de los mas avanzados en la materia, y cuyas características se observan en las Figuras 5.21 al 5.23.

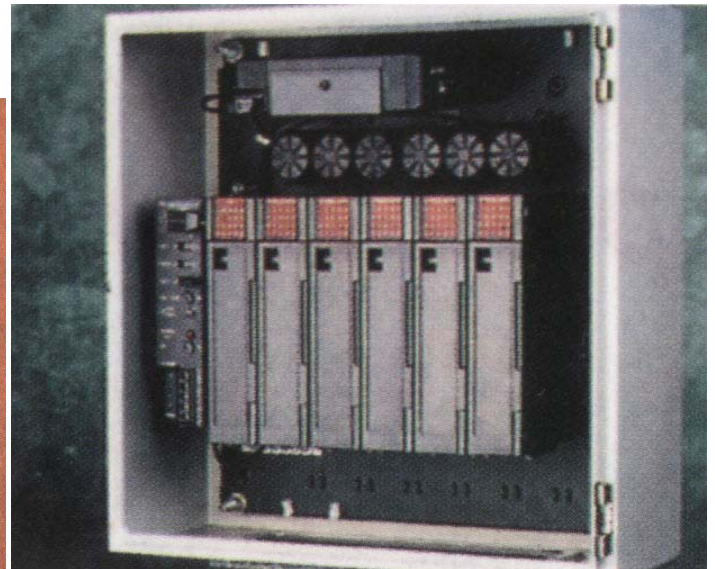
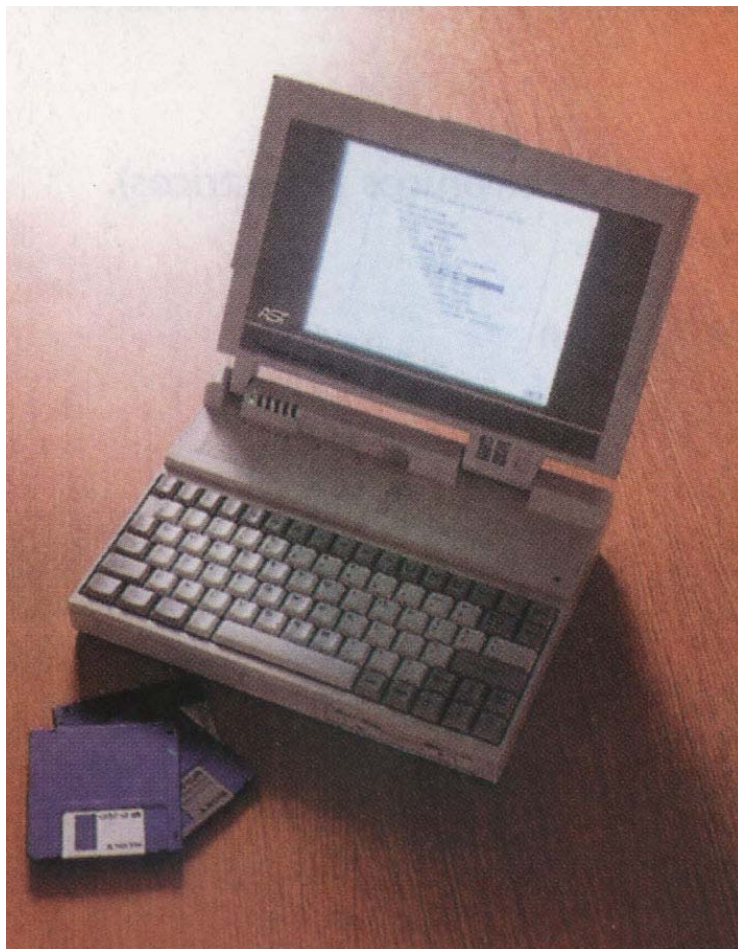


Figura 5.21 al 5.23

Los modernos sistemas SCADA, presentan características como las siguientes:

- Unidades Remotas de Terminal (RTU's) inteligentes, modulares, fáciles de instalar y de utilizar.
- Soluciones de avanzada de ingeniería con una impresionante versatilidad de comunicaciones.
- Sistema on-line de diagnóstico remoto, que simplifica el mantenimiento y garantiza años de funcionamiento fiable del sistema.
- Posibilidad de carga a distancia , en ambos sentidos, de programas de aplicación, ases de datos y parámetros, a través de los enlaces de comunicaciones.
- Software específico, en función de las necesidades de cada usuario, para realizar las siguientes funciones:

- Configuración para cada emplazamiento y para la red.
- Base de datos mediante símbolos fácilmente comprensibles por parte del usuario.
- Vigilancia y comprobación de los programas de aplicación de los RTU's.
- Comprobación y calibración del hardware
- Diagnósticos y estadísticas del sistema
- Diversos protocolos de transmisión

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

El proceso de auditoria de la Calidad de la Energía requiere de cuatro pasos. Ellos son:

1. Inventario de líneas y equipos:

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

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

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

Caminando a través de la instalación se puede efectuar una lista de cada pieza de los equipos eléctricos empleados. Se debe incluir en la misma tanto a los grandes motores eléctricos como a los pequeños dispositivos electrónicos. Esta información ayudará para aislar cargas críticas que puedan causar problemas a otros equipamientos eléctricos, como motores, fotocopiadoras y enfriadores de agua.

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

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

2. Registro de Problemas:

El segundo paso para dirigir una auditoria de Calidad de la Energía es registrar los síntomas para cada pieza de equipo. Es una buena práctica involucrar al personal que opera los equipos dado que que suelen tener una amplia información sobre los problemas actuales y pasados.

En los formularios de inventario se debe registrar cada síntoma y su frecuencia de aparición. Estos datos ayudarán al auditor a diagnosticar los problemas y proponer las mejores soluciones.

3. Examen de los Circuitos y del Cableado:

El tercer paso para conducir una auditoria es revisar el sistema de cableado, que suele ser el origen de muchos de los problemas.

Se comienza desde los tableros y se recorre los circuitos hasta los diferentes equipos. Se debe chequear todas las conexiones para asegurarse de que estén correctamente realizados.

En el caso de que se requiera el diagnóstico de los equipos, ello debe incluirse dentro de esta etapa del proceso de auditoria. Los problemas o síntomas relevados determinarán el tipo de instrumentos que se requiera emplear. Esta parte del proceso de auditoria requiere trabajar en las cercanías de equipamientos energizados, por lo que se debe recordar las medidas de seguridad.

4. Determinación de los Síntomas y las Soluciones.

El cuarto paso consiste en proponer una solución apropiada y económica para los problemas identificados en los pasos anteriores; siendo las soluciones mas usuales las que se incluyen en la Tabla 5.2:

Rubro	Propuesta
Soluciones de cableado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rehacer las conexiones eléctricas, 2. Incremento en la sección de los conductores de acuerdo a los requerimientos de las cargas y lo indicados en los códigos, 3. Actualización de las Puestas a Tierra de la Instalación, y 4. Aislamiento de los equipos afectados de los equipos que causan problemas.
Equipos para solucionar los problemas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dispositivos supresores de transitorios de tensión, 2. Reguladores de Tensión, 3. Transformadores aislados para alimentar equipamientos específicos de la instalación, y 4. Baterías de respaldo para garantizar la continuidad operativa de las computadoras y equipos críticos.

Tabla 5.2

Generalmente, la solución a los problemas de Calidad de la Energía involucra la combinación de la actualización del cableado y el agregado de equipos de corrección. En algunos casos, suele ser mas efectivo y económico la instalación de equipos para contrarrestar los problemas que el recableado total o parcial.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Antes de realizar mediciones se debe conocer los riesgos que ellas pueden traer aparejadas, los hábitos de seguridad y las normativas vigentes para los mismos:

Los riesgos de descargas se dividen en dos categorías:

- Errores del operador.
- consecuencias del "entorno eléctrico"

Entre los primeros las situaciones mas comunes son:

- Probar medir tensión mientras las puntas de prueba están en los conectores de corriente, dando por resultado un corto circuito. Protección: La medición debe realizarse a través de fusibles de alta energía.
- Contacto con fuente de poder de AC cuando está en modo resistencia o continuidad, prueba de diodos o capacidad. Protección: Debe usarse equipamiento con las puntas protegidas.
- Usar el multímetro por sobre la tensión nominal, por ej. en circuitos de media tensión.

Entre los riesgos debidos al "ambiente eléctrico" podemos mencionar:

- Shock eléctrico por contactos accidentales con componentes vivos.

La protección en este caso está dada por: doble aislamiento, conectores de entrada apartados, dedos aislados sobre las puntas de prueba.

- Transitorios de alta tensión por ejemplo en iluminación, maniobra de carga (apagado de motores, entrada en servicio de capacitores, etc.)

La protección está dada por la aplicación de la norma IEC 1010-1, Cat. III 600 ó 1000 V.

Mucha gente piensa que las descargas eléctricas tipo shock (electrocución) son los únicos existentes. En realidad, existen otros tipos de descargas eléctricas originadas por los transitorios de tensión, que pueden originar "arcos" y la "Bolas de Fuego".

Además de las descargas eléctricas hay muchas otras fuentes de transitorios, como ser la conmutación de circuitos electrónicos de potencia, las cargas capacitivas e inductivas, las sobre-tensiones creadas cuando se produce una avería local en una instalación y los cambios que introducen los servicios públicos en determinadas líneas eléctricas. El transitorio por si solo puede no tener suficiente energía para constituir un peligro mortal, pero el hecho de que normalmente sobrepase la tensión nominal, puede tener consecuencias devastadoras.

En otras palabras, si se hace una medición sobre una línea de un sistema a 220 V, hay que asegurarse de que si se produce un transitorio de tensión, el instrumento podrá resistirlo y reducir al mínimo el riesgo para el usuario.

Una de las principales características de la norma IEC 1010-1 es la protección contra las descargas originadas en estos transitorios de alta tensión.

Dentro de los hábitos mínimos de seguridad que se deben tomar antes de efectuar los chequeos podemos mencionar:

Dentro de los hábitos mínimos de seguridad que se deben tomar antes de efectuar los chequeos podemos mencionar:

· Ningún multímetro es seguro cuando se usa incorrectamente.

o Use los multímetros dentro de su clasificación.

o Use los multímetros diseñados para circuitos de potencia sin problema en los circuitos de baja

potencia.

- o Use fusibles de reemplazo aprobados por el fabricante.
- o Use puntas de prueba de alta calidad y con clasificación de seguridad marcada.
 - Cuando sea posible se debe trabajar sobre circuitos no energizados.
- o Se debe seguir los procedimientos apropiados.
 - Usar herramientas bien mantenidas y utilizar la vestimenta apropiada.
- o Utilizar lentes de seguridad, herramientas aisladas, guantes aislados, trajes para fogonazos, pisos aislantes, etc.
 - No trabajar solos.
 - Utilizar técnicas de medición seguras.
- o Realizar las mediciones con una sola mano, dejando la otra en el bolsillo.
- o Siempre se debe conectar primero la punta de prueba de masa, luego conectar el vivo.
- o Al terminar se debe seguir el procedimiento inverso, primero desconectar el vivo y luego la punta conectada a masa.
 - Usar el método de prueba de los tres puntos, es decir: probar el circuito conocido, medir el punto bajo prueba y chequear nuevamente el circuito conocido, esto le asegurará que la medición del punto bajo prueba sea cierta.

La técnica de medición con una única mano asegura que el camino de menor impedancia nunca atraviesa la línea del corazón.

El método de prueba de los tres puntos significa, en forma implícita, que los electricistas nunca deben asumir que los equipos funcionan correctamente; se debe tener el hábito de controlar periódicamente a los instrumentos.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Para evitar situaciones como las descritas en el punto anterior la IEC ha establecido una norma sobre requisitos de seguridad aplicable a equipos eléctricos de medición y control; esta norma es la IEC 1010-1, que sustituyó a la IEC 348.

Parte de la IEC 1010-1 se refiere a las categorías de protección contra sobre-tensiones en las instalaciones. Cuanto más próximo está el punto de medida a una fuente de posibles transitorios, más elevada deberá ser la categoría de protección contra sobre-tensiones.

Podemos dividir a los sistemas eléctricos en cuatro Categorías: I, II, III ó IV (Figura 5.24).

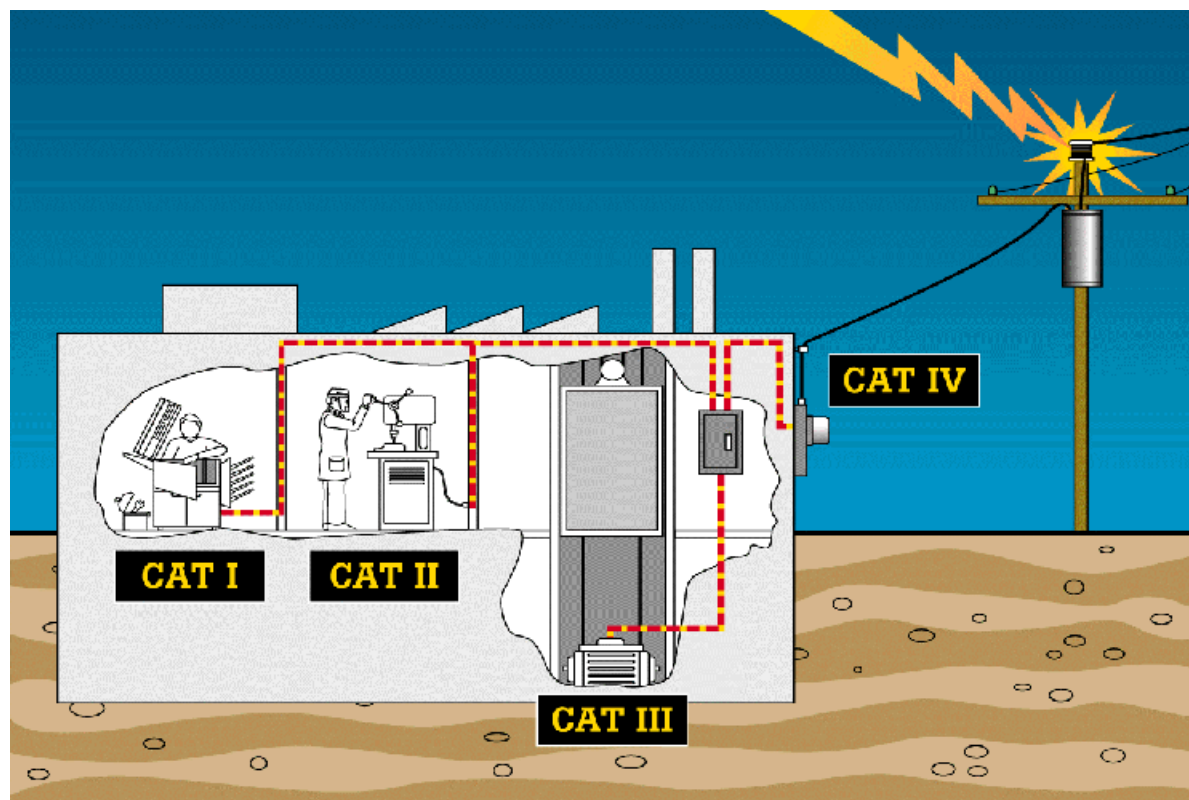


Figura 5.24

La norma IEC 1010 sólo se refiere a baja tensión (hasta 1000 V.); la alimentación industrial, en cambio, suele efectuarse en media tensión, y esta porción del sistema no está cubierta por la norma IEC1010.

El segundo concepto, la Categoría de la Instalación, es muy diferente del concepto de nivel de tensión. Es posible que la tensión de corriente continua en una fotocopiadora sea mayor que la tensión de corriente alterna en una rama de la instalación de una industria, pero la energía disponible y el potencial para explosiones eléctricas es muy diferente en ambos casos. La Categoría se corresponde con el nivel de corriente de cortocircuito disponible en ese punto.

Los equipos de **Categoría IV** se utilizan en instalaciones ubicadas fuera de la planta y el servicio de entrada, en servicio desde el polo (bajo tierra) hasta el edificio, entre el medidor y el tablero principal, para líneas aéreas de entrada al edificio y en líneas subterráneas de acceso al tablero. Para la determinación exacta de cada Categoría se debe estudiar cada locación en particular.

Las líneas subterráneas se consideran de Categoría IV debido a que las descargas atmosféricas, cuando viajan a través de la tierra, buscan el camino de menor impedancia.

Los equipos de **Categoría III** se utilizan en instalaciones fijas y cuando la fiabilidad y disponibilidad de los mismos están sujetas a requisitos especiales. Son ejemplos de estos equipos los interruptores de las instalaciones de distribución fijas y los equipos de uso industrial con conexión permanente al

sistema de distribución (motores, sistemas de iluminación, controladores, centros de carga, etc.).

Son instalaciones típicamente separadas desde la entrada de servicio por al menos un nivel simple de transformador de aislamiento. Las líneas trifásicas siempre se consideran de Categoría III o superiores.

No se incluyen en esta categoría conexiones de cargas "enchufables", excepto en el caso de equipamiento de gran consumo con conexiones "cortas" a la entrada de servicio, por ejemplo un motor de gran porte o un circuito de iluminación general.

Del lado de la línea de un tablero (con alimentación trifásica o monofásica) es Categoría III. Del lado de las cargas, interruptores para 15/20/30 A pueden considerarse como de Categoría III (dado que están permanentemente instalados) o de Categoría II (debido a la protección adicional que ofrecen los interruptores).

Los equipos de **Categoría II** son los equipos desarrollados para su uso en instalaciones fijas o cargas enchufables, como por ejemplo los electrodomésticos y las herramientas portátiles. También se incluyen en esta categoría a todas las salidas a mas de 10 metros desde Categoría III y todas las salidas a mas de 20 metros desde Categoría IV.

Las distancias especificadas son solo de referencia. Toda energía impulsiva es función del tiempo (duración) y de la distancia (impedancia de líneas y sistemas), y están incluidas simplemente para enfatizar que la norma está construida sobre la base de transitorios, y estos viajan a través de las impedancias incluidas en los cables y en el sistema.

Los equipos de **Categoría I** están destinados a circuitos en los que se adoptan medidas para limitar las sobre-tensiones transitorias a un nivel adecuadamente bajo. Son ejemplos de estos equipos los circuitos electrónicos con protección electrónica previa.

Una fotocopiadora que tiene un transformador interno de 1000 V. DC es aún una máquina CAT I - 1000 V, porque los niveles de corriente son bajos.

Formas en que comúnmente se interpreta a las categorías:

- Cuanto más cerca esté la fuente de poder, mayor será el peligro
- Cuanto mayor sea la corriente de corto circuito disponible, mayor será la Categoría. Transitorios de gran energía son mucho más peligrosos
- Cuanto mayor sea la impedancia de la fuente, menor será la Categoría. Los transitorios son atenuados por la impedancia del sistema así como ellos viajan desde el punto donde fueron generados.
- SOTT (Supresión de la Onda de Tensión Transitoria) los dispositivos son de gran tamaño (más joules) en un panel que en un receptáculo de salida (enchufables).

Los electricistas están acostumbrados a pensar en términos de las corrientes de cortocircuito debido a que constituyen una de las especificaciones clave (capacidad de interrupción en kA de corriente de falla que deben interrumpir). Las impedancia de fuente, en cambio, se refieren a la impedancia total que ve la carga hacia el generador (incluye la impedancia de línea y la del propio generador). Cuanto mas lejos estemos del generador mayor será la impedancia.

Para determinar la verdadera tensión que soportan, dentro de cada Categoría una mayor tensión significa que puede soportar transitorios mayores. Por ejemplo:

- Cat III - 600 V. Significa impulsos de 6 kV. y Cat III - 1000 V. Significa impulsos de 8 kV.
- Cat II - 600 V. Significa impulsos de 4 kV. y Cat II - 1000 V. Significa impulsos de 6 kV.

Una pregunta muy común que suele hacerse es cual es el multímetro mas seguro, uno de Cat III -

600 V. ó uno de Cat II - 1000 V.?. Para ello debemos saber que:

- Cat III - 600 V. : impulso de 6 kV., impedancia de fuente de 2 ohm.
- Cat II - 1000 V.: impulso de 6 kV., impedancia de fuente de 12 ohm.

Si hacemos las diferentes relaciones según la ley de ohm vemos que un impulso de prueba CAT III-600V 6kV tiene 6 veces la corriente ($I=E/R$) y 36 veces la potencia de un impulso de prueba de CAT II-1000V 6kV!

menú

índice

[1](#)

[2](#)

[3](#)

[4](#)

[5](#)

[6](#)

[7](#)

[8](#)

[9](#)

[10](#)

[11](#)

[12](#)

[13](#)

[14](#)

Para el empleo seguro de los multímetros es necesario conocer los problemas mas usuales que se suelen presentar, entre ellos se pueden mencionar:

Formación de "Arco eléctrico" dentro del multímetro:

Un transitorio debido a una descarga atmosférica es lo suficientemente importante como para causar un Arco Eléctrico dentro del instrumento (Figura 5.25).

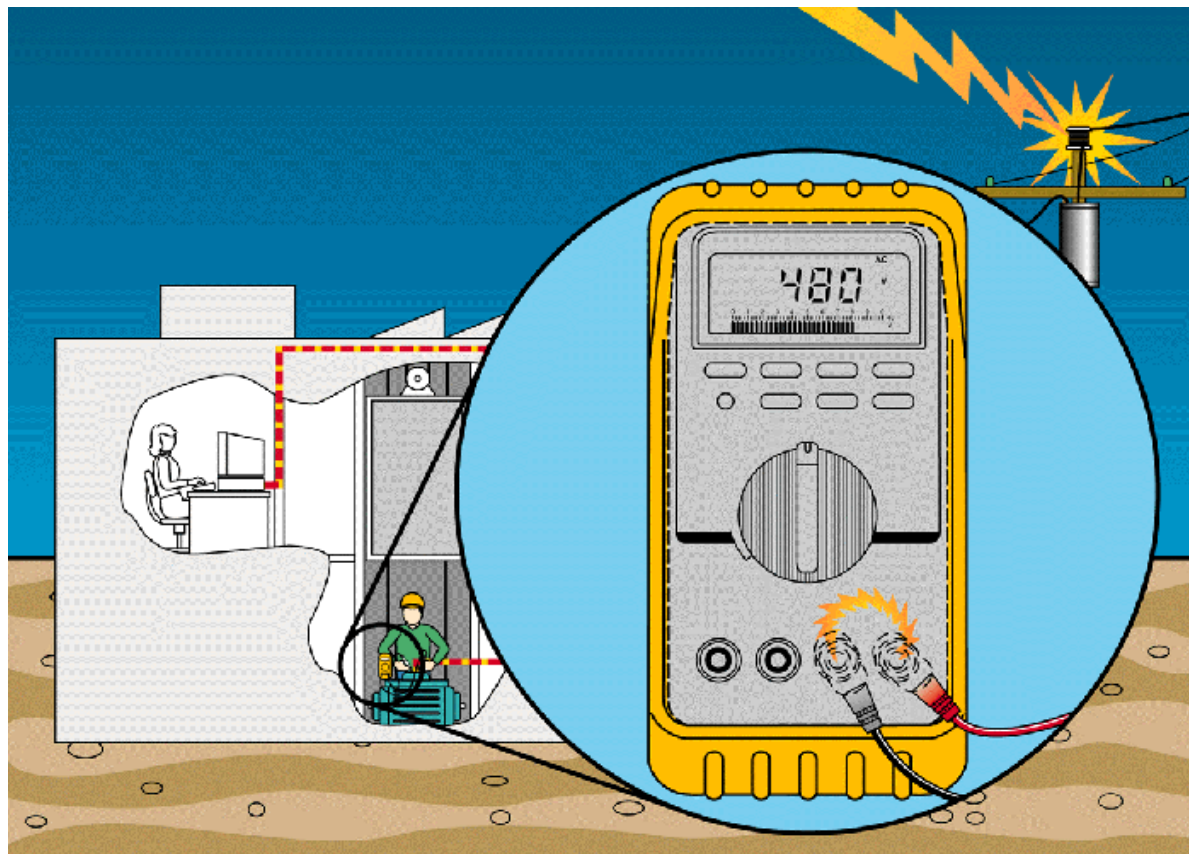


Figura 5.25

Los instrumentos deben contar con protecciones internas para evitar fallas y arcos entre los terminales.

La resistencia de un Arco Eléctrico es muy baja; si el mismo está originado en un Arco Eléctrico dentro de un instrumento de mano mientras este está conectado a los terminales (por ejemplo a un motor de 380 V.), puede ocurrir una letal cadena de eventos.

Una vez que se formó el arco, cualquier circuito de protección o dieléctrico interno están afectados por el cortocircuito y toda la corriente de corto fluye a través de los terminales de medición lo que genera el mismo.

Corriente de cortocircuito a través de las puntas de prueba:

El camino de la corriente a través del Arco Eléctrico comienza en los terminales del motor y finaliza atrás de los terminales del mismo (Figura 5.26).

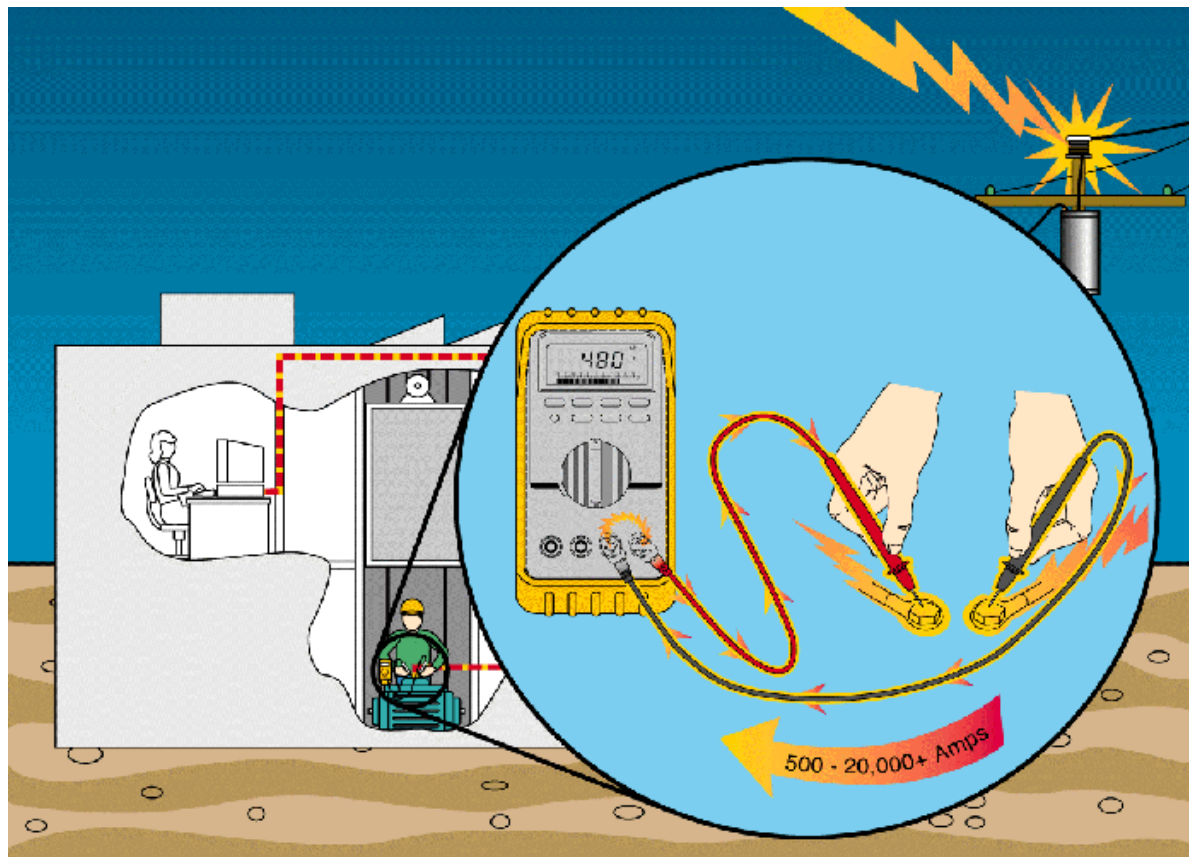


Figura 5.26

La corriente puede ser de varios miles de Ampere por el tiempo necesario para fundir los probadores del instrumento. En el ejemplo de la figura, la fuente de corriente dentro del arco son los 380 V. de alimentación y los 380 V. en el motor. Un ascensor típico de 550 HP consume 264 FLA (full load Amps) a 380 V. y 6 o 7 veces esta corriente en una falla (1564 - 1850 A.)

El circuito de protección o el fusible en el frente del motor soportará varios miles de Ampere antes de fundirse, A estos niveles de corriente el equipo de medición se sobrecalienta, se establece un arco desde el punto de contacto al de medición y, por tratarse de un transitorio a muy alta tensión provoca un ruido intenso.

La reacción mas natural a ese ruido es apartar las manos de los terminales del motor; esta acción genera un arco adicional desde el punto de contacto. Es decir que ahora tenemos dos arcos, uno desde cada punto de contacto y otro desde los terminales de medición.

En el caso de un motor de 550 HP, esta corriente puede ser 6 u 8 veces la carga máxima del motor, conocida por sus siglas en ingles Full Load Amps (FLA), que en nuestro caso es de 264 Ampere. Esta carga de 6 o / veces la máxima es la que fluye por los fusibles que protegen el motor.

Suelen presentarse corrientes de hasta 6000 Amper o mas por varios milisegundos.

Formación de arco entre los terminales:

Mientras los usuarios realizan los ensayos a través de los terminales de un motor, se establece un arco efectivo entre cada punta y el terminal del motor. Si dos de estos arcos se juntan para formar uno, existe un camino directo de muy baja impedancia entre los terminales del motor (Figura 5.27).

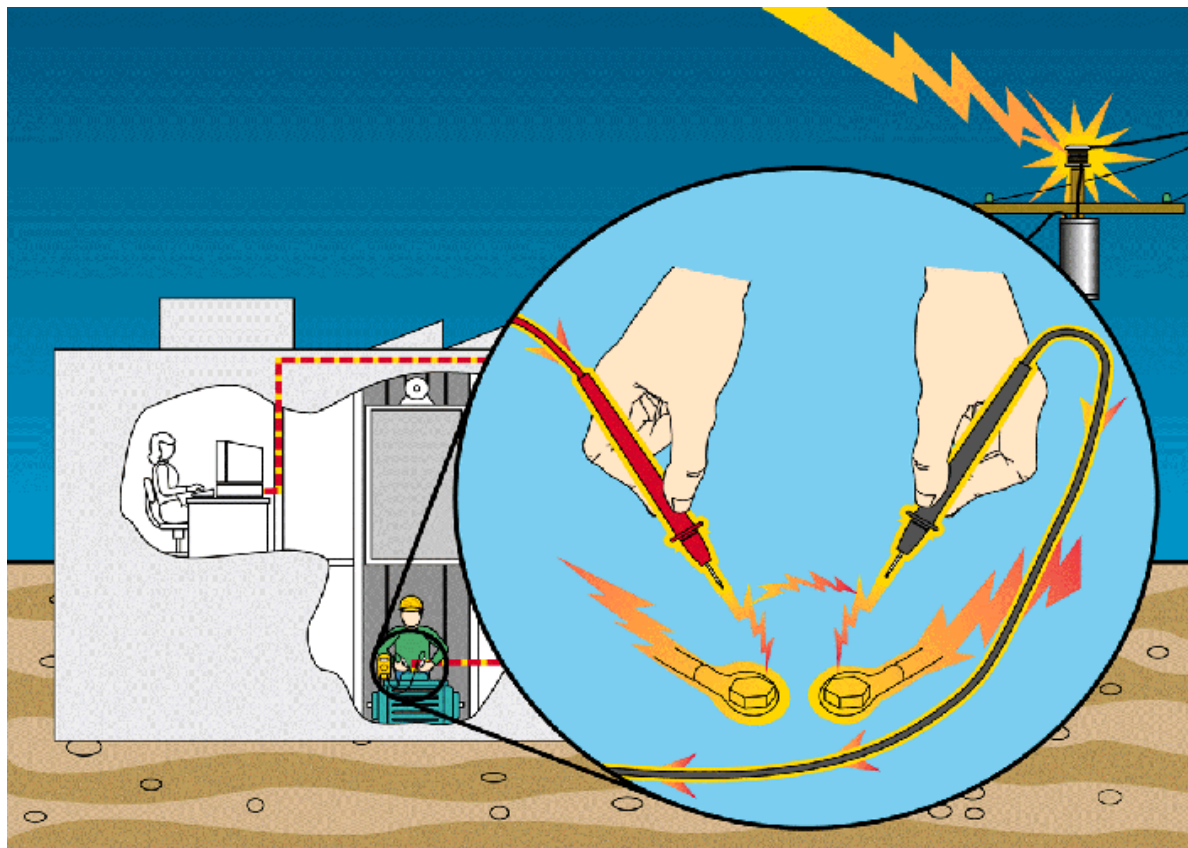


Figura 5.27

Este arco efectivo tiene una temperatura aproximada de 6000°C , la misma que encontramos en una máquina de soldar, pero con varios miles de veces mayor cantidad de energía y potencial de destrucción.

Bola de Fuego (plasma):

A medida que el Arco Eléctrico crece, va sobrecalentando el aire que lo circunda, creando un frente de presión del aire en expansión y una bola de fuego que puede poner en peligro la vida del usuario.

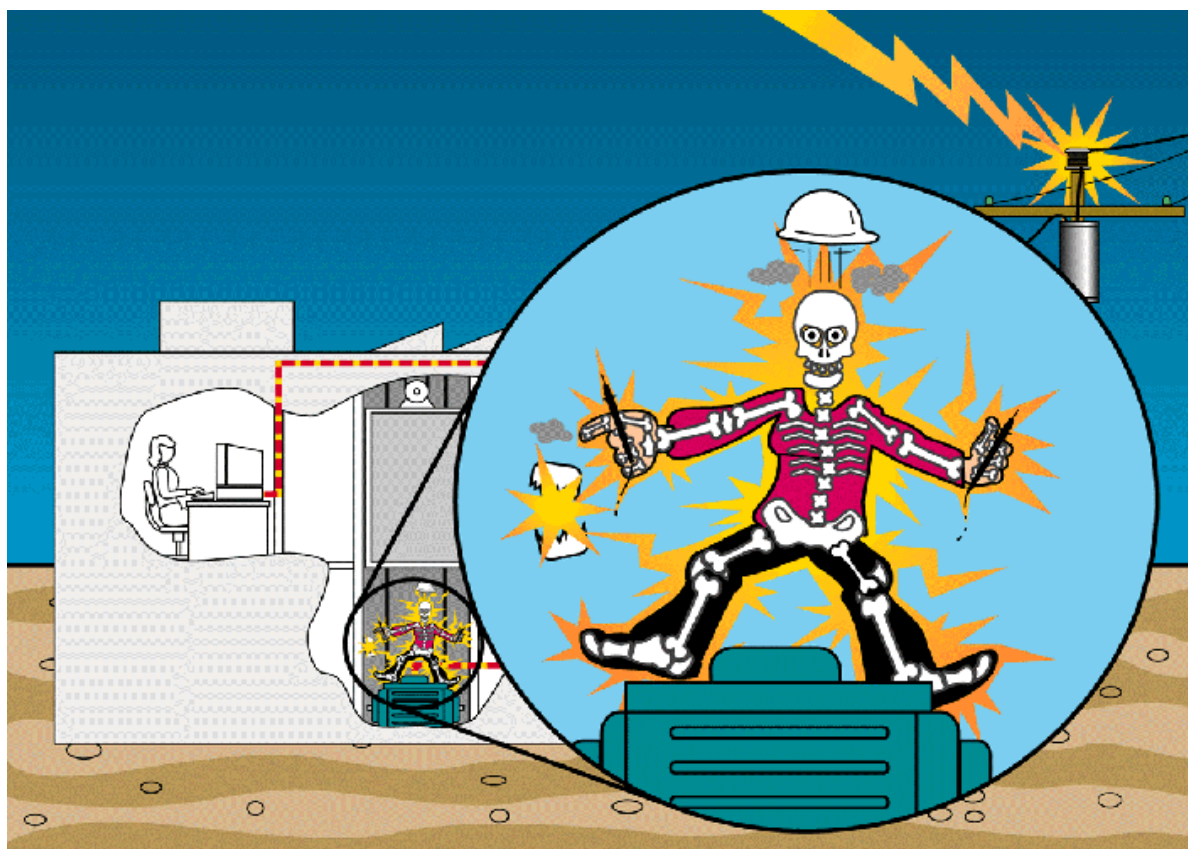


Figura 5.28

Como se puede apreciar en la figura 5.28 los resultados pueden ser un muy mal día para el electricista de nuestro ejemplo. toda la energía disponible en el sistema eléctrico alimenta este Arco Eléctrico, formando una bola de fuego.

Esta bola de fuego o "plasma" es capaz de cortar hasta el acero.

Mal uso de los multímetros digitales en modo amperímetro:

Uno de los errores mas comunes en el uso de los multímetros digitales (DVM's) en modo amperímetro, que puede causar una sucesión de eventos similares a los descritos anteriormente, consiste en tomar mediciones de tensión cuando la escala está en mA o en A.

Si el instrumento no está protegido por fusibles o el rango de corte del mismo es inferior a la corriente de cortocircuito, se establece un arco dentro del instrumento (Figura 5.29).

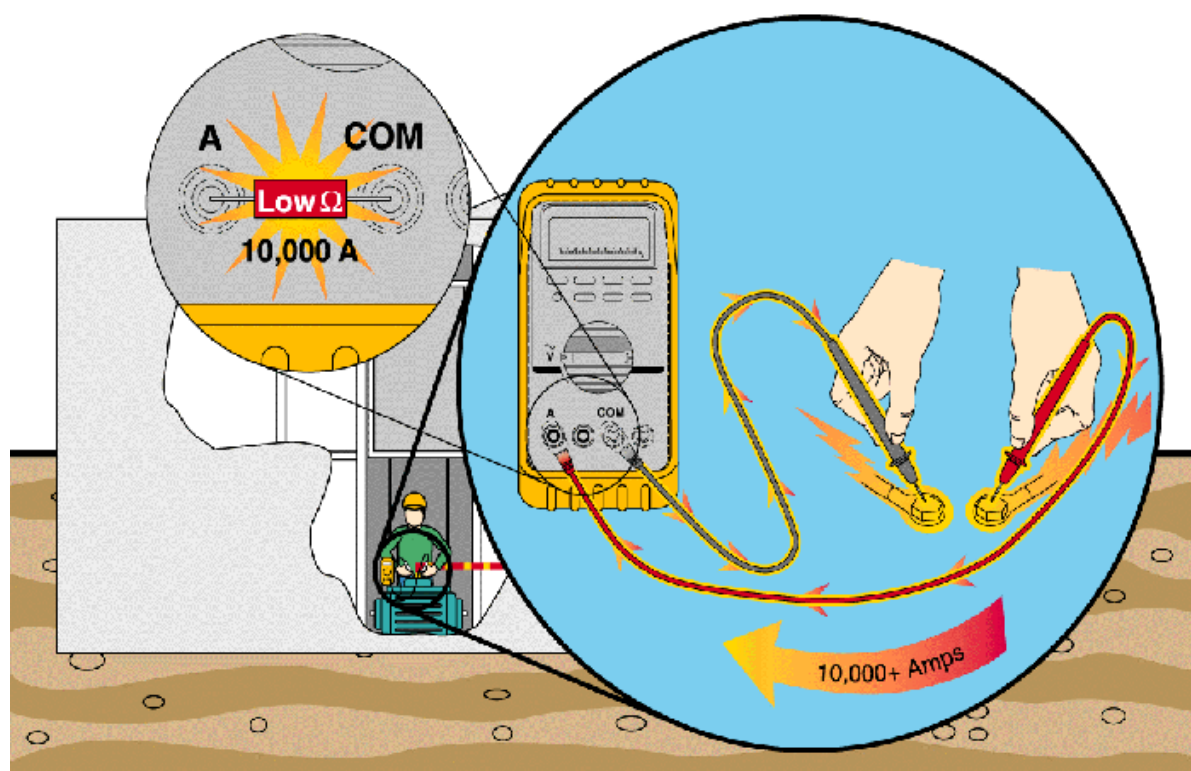


Figura 5.29

Algunos multímetros manuales son inadecuados para su empleo en ambientes industriales debido al bajo rango de interrupción de los fusibles empleados. Conociendo los límites de los instrumentos y empleándolos adecuadamente podremos protegernos de las descargas eléctricas que puedan ocurrir durante las mediciones.

Siempre se deben emplear los fusibles recomendados por los fabricantes.

[menú](#)
[índice](#)
[1](#)
[2](#)
[3](#)
[4](#)
[5](#)
[6](#)
[7](#)
[8](#)
[9](#)
[10](#)
[11](#)
[12](#)
[13](#)
[14](#)

Para el empleo seguro de los multímetros es necesario conocer una serie características de los mismos así como los problemas más usuales que se suelen presentar.

La primera característica que debemos distinguir es la diferencia entre producto "Certificado" Vs. producto "Diseñado para". Las normas (como la IEC 1010) establecen requisitos, pero no prueban o ensayan los aparatos para verificarlos. Para estar "Certificado" por IRAM, UL, TUV, etc., el fabricante debe contratar a un organismo certificante independiente para que verifique el cumplimiento de los productos con las normas. Una verificación sencilla para saber si un instrumento está "certificado" consiste en controlar si el emblema del organismo certificante está grabado sobre la carcasa del aparato.

Mientras que los sistemas de aprobación de las agencias independientes está muy perfeccionado, no puede garantizarse el mismo nivel de control para los instrumentos "auto certificados" o los denominados "diseñados de acuerdo a normas".

Las empresas de primera línea cuentan con Departamentos internos para efectuar sus propios ensayos sobre los productos que elaboran, previo a su homologación por terceras partes (organismos independientes).

Los elementos básicos a tener en cuenta son:

- Si se trabaja con circuitos de potencia se debe emplear multímetros CAT III - 600 V. ó CAT III - 1000 V. Algunos fabricantes marcan a sus productos como CAT III - 750 V., pero esta categoría no existe en la norma IEC 1010.
- Tener cuidado de los multímetros sin la clasificación "CAT" marcada en los mismos. Otros tienen la indicación 1000 V. pero no hacen mención de la Categoría y, por último, existen otros que solo traen estas indicaciones en los manuales.
- Verificar las inscripciones. Un multímetro con indicación de "diseñado para" o con auto - certificación del fabricante puede no pasar los ensayos de las normas.
- Cuando existan dudas se debe consultar al fabricante o representante oficial.

Mientras no hayamos efectuado estas verificaciones los productos deben considerarse inseguros.

Una posible lista de chequeo para los instrumentos incluye:

- Entradas de corriente protegidas con fusibles de alta energía. Comprobarlos antes de utilizar.
- Fusibles de las capacidades de tensión máximas adecuadas, características de temporización correctas y preparados contra cortocircuitos (100 kA o mas).
- Protección contra sobrecargas en la función de resistencia, continuidad, medición de diodos y capacidad.
- Puntas de prueba con conectores aislados y protección para dedos.
- Conectores de entrada internos.
- Carcasa hecha de materiales no tóxicos y autoextinguentes.

Los motores, las luces incandescentes y cargas resistivas son **lineales** por naturaleza. Ello significa que la impedancia es esencialmente constante, y permanece indiferente a las tensiones aplicadas.

Tal como se puede observar en la Figura 4.1, en los circuitos lineales de corriente alterna (c. a.) el valor eficaz de la corriente se incrementa proporcionalmente al incremento de tensiones y decrece proporcionalmente. La corriente en estos circuitos se halla en fase con la tensión para circuitos resistivos y el factor de potencia es igual a uno.

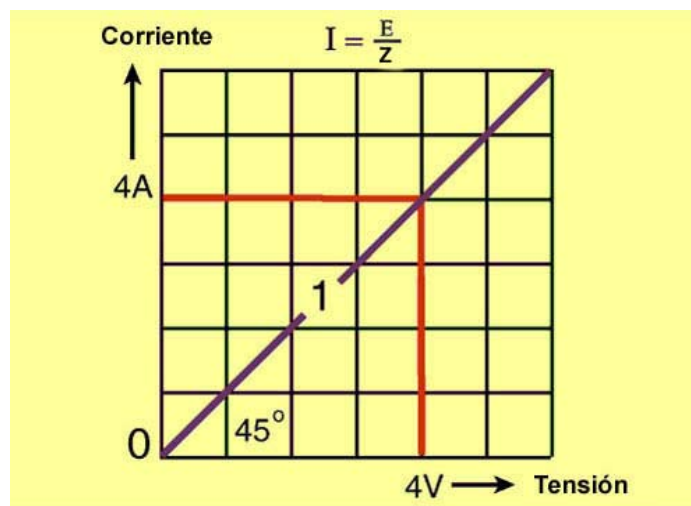


Figura 4.1

La corriente alterna se denomina de esta manera porque su intensidad varía en el tiempo, pasando por un valor positivo con respecto al potencial de tierra a un valor negativo, cincuenta veces cada segundo, de acuerdo con una función que puede representarse por:

$$I(t) = I_0 \cdot \text{sen } t$$

Por ello decimos que sigue una función senoidal.

Una carga **no - lineal** es aquella en la que las corrientes no son proporcionales a las tensiones instantáneas. En la Figura 4.2 se representan los valores instantáneos de una forma de onda lineal (senoidal) y otra no - lineal (deformada).

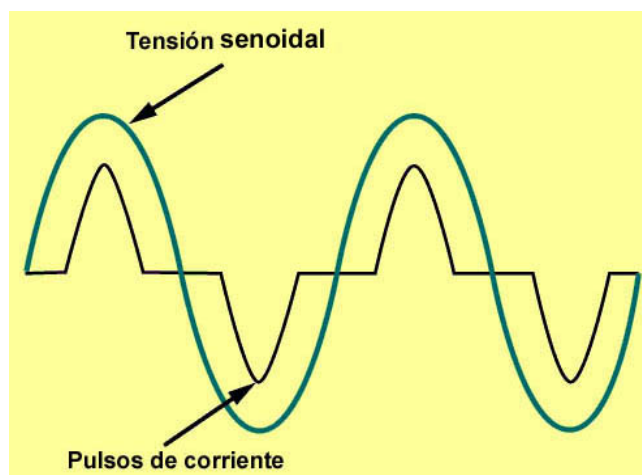


Figura 4.2

Si retomamos el diagrama de corrientes eficaces podemos observar que, con cargas no lineales, la corriente no describe una línea recta con respecto a la tensión sino una curva como la de la Figura 4.3:

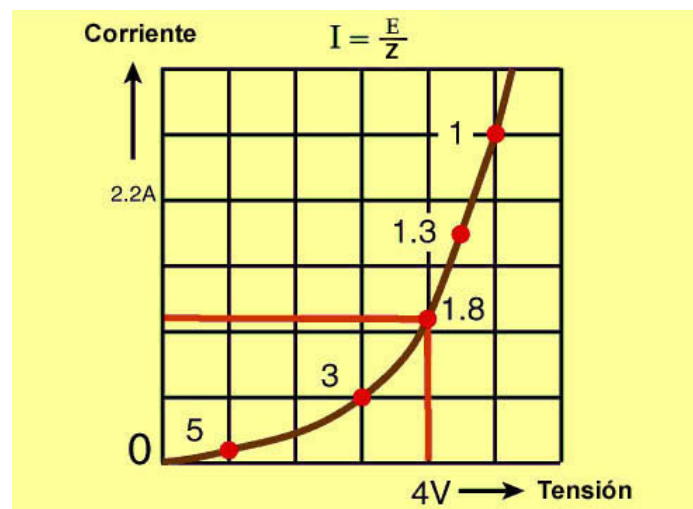


Figura 4.3

Entre los dispositivos que pueden generar una respuesta no lineal y ocasionan deformaciones a las ondas de tensión y corriente encontramos: equipos de control de procesos, computadoras, variadores de velocidad de motores, variadores de intensidad de iluminación (dimmers), fuentes de alimentación rectificadas de 6 pulsos o de 12 pulsos, etc.

Puede darse el caso de cargas no lineales (por ej. un reactor) que hasta determinado valor de cresta de la tensión tengan respuesta lineal.

Las alimentaciones con tensiones deformadas ocasionan diversos inconvenientes. Los casos mas corrientes que se han detectado son:

- Operación inadecuada de los interruptores.
- Recalentamiento en los bobinados de los motores y transformadores según el grado de magnitud de la onda deformada.
- Desmejora en el factor de potencia.
- Por otra parte los equipos modernos de inserción automática de capacitores utilizan interruptores de tiristores para proteger al capacitor de los efectos de la aparición de transitorios, pero estos generan ondas deformadas.
- Los capacitores, al entrar en paralelo con los elementos inductivos de la instalación, pueden disminuir los módulos de algunas de las Armónicas pero multiplican otros por efecto resonante, lo que puede ser aún mas perjudicial.
- Algunos tipos de sensores, basados en el valor del módulo de la onda de tensión sinusoidal, pueden tener respuestas erráticas ante ondas deformadas.

Este tipo de cargas se puede presentar sólo en una parte del ciclo, como en los circuitos de control por tiristores; o por pulsos, como en los circuitos con rectificadores.

[menú](#)
[índice](#)
[1](#)
[2](#)
[3](#)
[4](#)
[5](#)
[6](#)
[7](#)
[8](#)
[9](#)
[10](#)
[11](#)
[12](#)
[13](#)
[14](#)
[15](#)

Los motores, las luces incandescentes y cargas resistivas son **lineales** por naturaleza. Ello significa que la impedancia es esencialmente constante, y permanece indiferente a las tensiones aplicadas.

Tal como se puede observar en la Figura 4.1, en los circuitos lineales de corriente alterna (c. a.) el valor eficaz de la corriente se incrementa proporcionalmente al incremento de tensiones y decrece proporcionalmente. La corriente en estos circuitos se halla en fase con la tensión para circuitos resistivos y el factor de potencia es igual a uno.

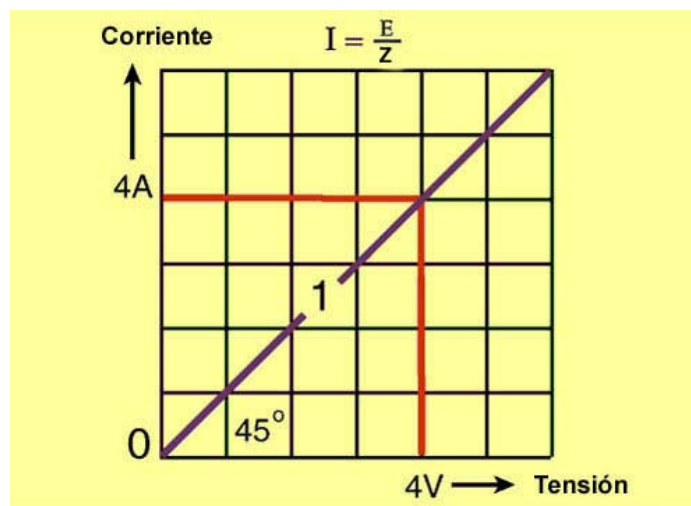


Figura 4.1

La corriente alterna se denomina de esta manera porque su intensidad varía en el tiempo, pasando por un valor positivo con respecto al potencial de tierra a un valor negativo, cincuenta veces cada segundo, de acuerdo con una función que puede representarse por:

$$I(t) = I_0 \cdot \text{sen } t$$

Por ello decimos que sigue una función senoidal.

Una carga **no - lineal** es aquella en la que las corrientes no son proporcionales a las tensiones instantáneas. En la Figura 4.2 se representan los valores instantáneos de una forma de onda lineal (senoidal) y otra no - lineal (deformada).

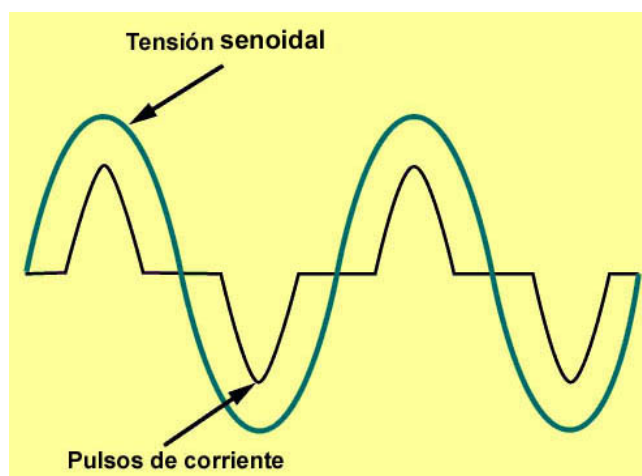


Figura 4.2

Si retomamos el diagrama de corrientes eficaces podemos observar que, con cargas no lineales, la corriente no describe una línea recta con respecto a la tensión sino una curva como la de la Figura

4.3:

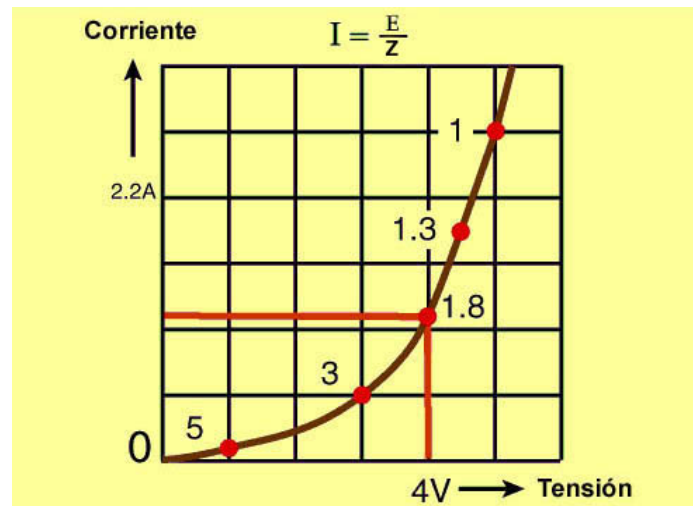


Figura 4.3

Entre los dispositivos que pueden generar una respuesta no lineal y ocasionan deformaciones a las ondas de tensión y corriente encontramos: equipos de control de procesos, computadoras, variadores de velocidad de motores, variadores de intensidad de iluminación (dimmers), fuentes de alimentación rectificada de 6 pulsos o de 12 pulsos, etc.

Puede darse el caso de cargas no lineales (por ej. un reactor) que hasta determinado valor de cresta de la tensión tengan respuesta lineal.

Las alimentaciones con tensiones deformadas ocasionan diversos inconvenientes. Los casos mas corrientes que se han detectado son:

- Operación inadecuada de los interruptores.
- Recalentamiento en los bobinados de los motores y transformadores según el grado de magnitud de la onda deformada.
- Desmejora en el factor de potencia.
- Por otra parte los equipos modernos de inserción automática de capacitores utilizan interruptores de tiristores para proteger al capacitor de los efectos de la aparición de transitorios, pero estos generan ondas deformadas.
- Los capacitores, al entrar en paralelo con los elementos inductivos de la instalación, pueden disminuir los módulos de algunas de las Armónicas pero multiplican otros por efecto resonante, lo que puede ser aún mas perjudicial.
- Algunos tipos de sensores, basados en el valor del módulo de la onda de tensión sinusoidal, pueden tener respuestas erráticas ante ondas deformadas.

Este tipo de cargas se puede presentar sólo en una parte del ciclo, como en los circuitos de control por tiristores; o por pulsos, como en los circuitos con rectificadores.

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Distorsiones en la Forma de Onda	Pág. 2/15

Uno de los atributos importantes de la Calidad de la Energía consiste en disponer de una alimentación de energía "limpia", que describe un sistema donde la forma de onda de tensión y corriente son sinusoides puras. Una distorsión de la forma de onda se define como una desviación instantánea respecto de la forma de onda de dicha senoide ideal.

Existen cinco tipos principales de distorsión en la forma de onda, ellas son:

- Inserción de Corriente Continua.
- Armónicas.
- Inter - armónicas.
- Notching.
- Ruido eléctrico.

Problemas de Forma de Onda	<i>Cap. 4</i>
Inserción de Corriente Continua	<i>Pág. 3/15</i>

La presencia de una tensión o corriente continua en un sistema de potencia en corriente alterna se conoce por sus siglas en inglés como ***DC offset***; suele ocurrir por el efecto de rectificación de media onda.

Las corrientes continuas en redes de corriente alterna ocasionan un efecto negativo en el núcleo de los transformadores, que se saturan en su operación normal. Ello ocasiona calentamientos adicionales y reducción de su vida útil.

La corriente continua puede causar también la erosión de los electrodos de tierra y otros conectores.

La presencia de **Armónicas** constituye una de las problemáticas más frecuentes: de la Calidad de la Energía, lo que justifica una comprensión integral del problema.

Las **Armónicas** son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la que está diseñada para operar el sistema de alimentación (llamada frecuencia *fundamental*) que en Argentina es de 50 hertz (ciclos por segundo)

La frecuencia de una tensión Armónica es un múltiplo de la frecuencia original. Por ejemplo, en un sistema de 50 hertz, la segunda Armónica será de 100 hertz, la tercera de 150 hertz, y así sucesivamente.

Otra forma de entender las armónicas es a través de un circuito eléctrico equivalente, como el de la Figura 4.4:

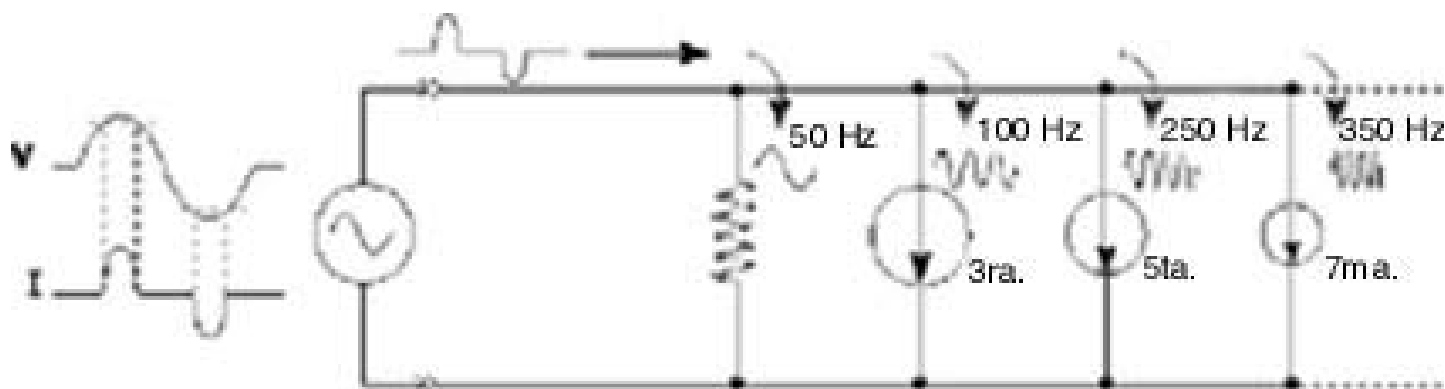


Figura 4.4

La carga puede ser representada por un resistor en paralelo con una serie de generadores de corriente operando a distintas frecuencias armónicas.

Las armónicas de corriente interactúan con la impedancia del sistema generando las armónicas de tensión. Luego la onda de tensión distorsionada (no-senoidal) causa corrientes armónicas aún en carga lineales

Si queremos visualizar en un gráfico los valores instantáneos de la corriente alterna en función del tiempo, en una carga lineal, observaremos una senoide que tiene valores máximos positivos o negativos y que se repite 50 veces por segundo (Figura 4.5). Es decir que estamos frente a una onda periódica y sinusoidal.

Como se explicó precedentemente, cuando se energizan los sistemas que presentan características no lineales se generan Armónicas, que pueden distorsionar severamente la potencia de suministro y causar problemas a otros equipos conectados a la misma fuente. En la Figura 4.5 también se puede observar la forma de onda resultante de adicionar a una onda senoidal una tercera Armónica en fase y otra fuera de fase en 180° .

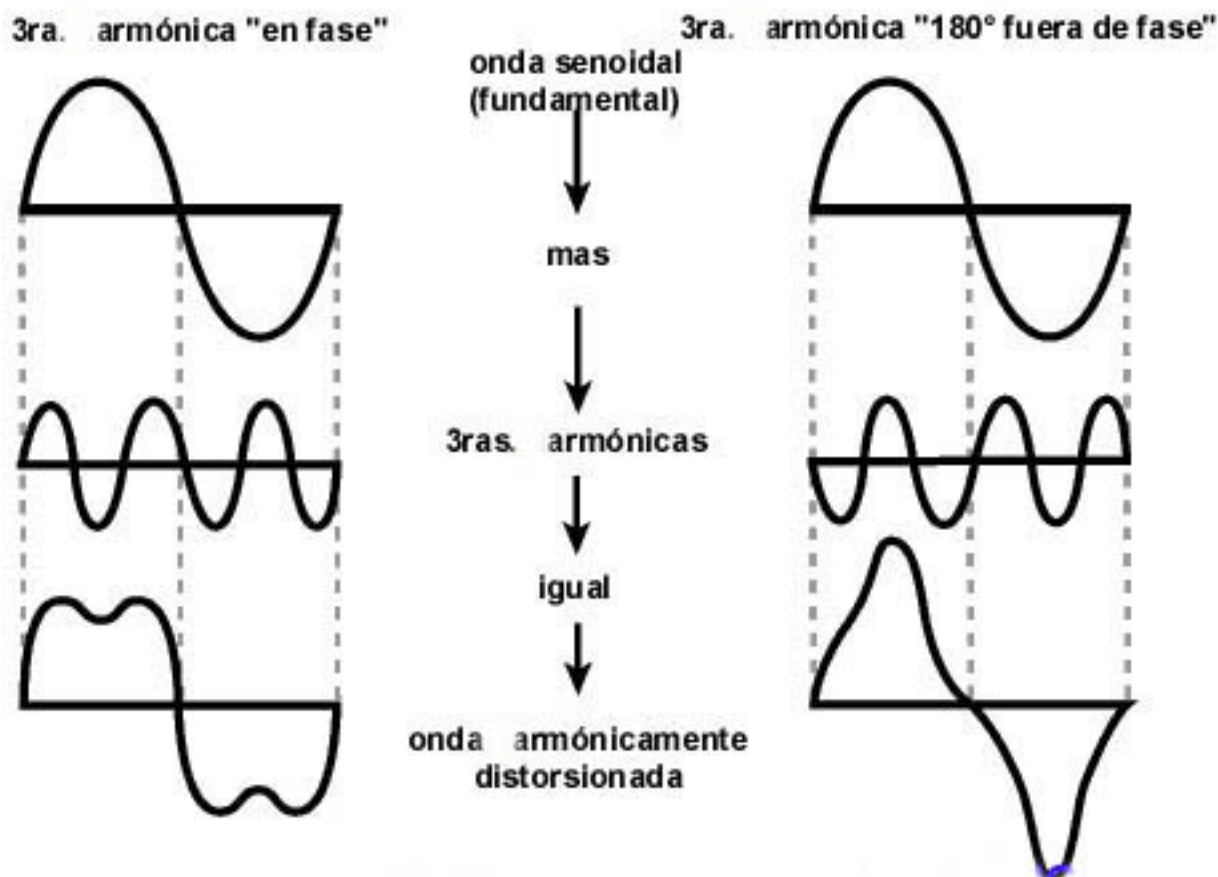


Figura 4.5

La secuencia de las Armónicas puede ser positiva (insertan corrientes en sentido de las agujas del reloj), negativa (insertan corrientes en sentido contrario a las agujas del reloj) o las llamadas de secuencia cero (no tienen sentido de rotación pero se suman en el neutro), Tabla 4.1.

Armónico	Fundamental	2da.	3ra.	4ta.	5ta.	6ta.	7ma.	8va.	9na.
Frecuencia	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Ello significa que si la forma de onda es simétrica las armónicas pares desaparecen (se cancelan entre sí).

Entre los efectos ocasionados por la secuencia de las Armónicas podemos mencionar:

- Positiva: calentamiento de conductores, apertura de interruptores, etc.
- Negativa: calentamiento de conductores, problemas en los motores (se frenan), etc.
- Cero: calentamiento de conductores, se suman corrientes en el neutro (sistemas trifásicos de 4 conductores), etc.

Las normas indican los valores de referencia, pero muy a menudo estos límites son superados, menospreciando la funcionalidad de la instalación eléctrica. La importancia del problema radica en que cerca del 50% de los equipamientos actuales pueden generar distorsiones Armónicas.

La experiencia indica que las Armónicas son más un problema local para los usuarios finales que para las empresas proveedoras de energía.

En los últimos años han aparecido multitud de nuevas ideas relativas a este tema. El [Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos \(IEEE\)](http://www.ieee.org), ha desarrollado normas y recomendaciones para

sistemas con presencia de Armónicas; las más importantes se incluyen en la normativa **IEEE 519** de 1992.

La asociación de Fabricantes de computadoras de USA (CBEMA), emitió un documento de gran interés acerca de las consecuencias de los sistemas de alimentación con presencia de Armónicas.

En Argentina es el Ente Nacional de Regulación Eléctrica (ENRE) el que fijó pautas a cumplir sobre la emisión de Armónicas.

Las tensiones o corrientes con componentes de frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la que el sistema está diseñado para operar (en Argentina 50 Hz) se llaman ***inter - armónicas***. Estas pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro en la banda de frecuencias.

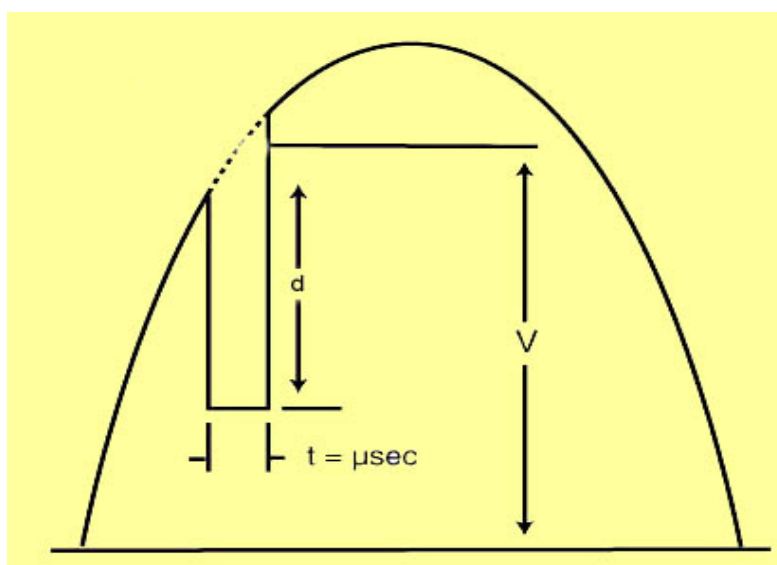
Los efectos de las *inter - armónicas* no están bien conocidos. Ellos pueden afectar tanto a las líneas de potencia, a las de señales o bien pueden inducir efectos visuales (flicker).

El **Notching** es una perturbación periódica de tensión causada por la operación normal de los dispositivos electrónicos cuando la corriente se conmuta de una fase a otra; se denomina por su nombre en inglés dado que no tiene una traducción literal en español.

Los componentes de frecuencia asociados con los casos de **notching** pueden ser bastante altos y no pueden ser caracterizados con los dispositivos empleados normalmente para el análisis de Armónicas.

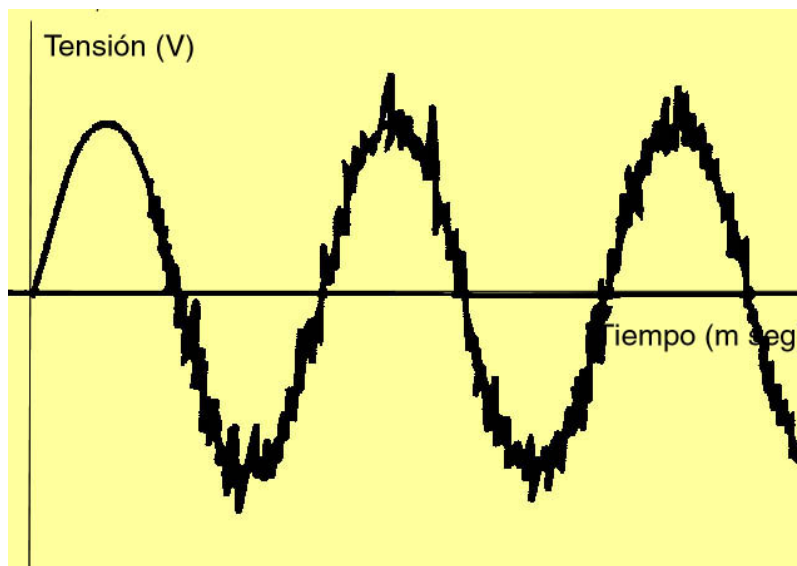
En la Figura siguiente se muestra un ejemplo de forma de onda de tensión con presencia de notching, originado cuando se conmuta la corriente de una fase a otra en un convertidor trifásico. Se observa que la duración del fenómeno tiene una duración del orden de μseg .

Durante este periodo existe un cortocircuito momentáneo entre dos fases que tiende a llevar la tensión lo mas cercano a cero que la impedancia del sistema lo permite.



El **Ruido Eléctrico** es una descripción genérica de un problema que puede obedecer a múltiples causas que no pueden ser clasificados como distorsiones Armónicas o Transitorios, y que pueden ocasionar problemas a los equipamientos.

Básicamente, consiste en distorsiones no deseadas de la señal de tensión (como se puede observar en la Figura siguiente) con un contenido espectral inferior a 200 kHz, que se superponen a las tensiones o corrientes de los sistemas de potencia.



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

- Dispositivos electrónicos,
- Circuitos de control,
- Chispas de contactos y switches.
- Puestas a tierra pobres.
- Lámparas fluorescentes.
- Cargas con rectificadores de estado sólido, etc.

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

Actualmente, los equipos que contribuyen en gran medida al problema de las Armónicas son las computadoras personales (PC's), los equipos de oficina y otros dispositivos electrónicos que emplean una alimentación de potencia de tipo conmutada para generar la tensión continua de trabajo. Estos tipos de equipos generan importantes corrientes con fuertes componentes de terceras armónicas.

Los alimentadores de potencia conmutada, generalmente llamados Fuentes Conmutadas o "de switching" (por su nombre en inglés) se emplean en los modernos equipos electrónicos que requieren alimentación en corriente continua de entre 3 y 15 V. Hasta no hace mucho esta tensión era proporcionada por un sistema tradicional compuesto por un transformador, un rectificador, un filtro y un regulador de tensión.

Las Fuentes Conmutadas pueden ser la causa de problemas, pero son tantas las ventajas que su empleo suele ser muy conveniente. Normalmente incluyen los filtros que se requieren para operar a altas frecuencias, suelen ser mucho más pequeños y eficientes que otros tipos de dispositivos más antiguos y tienen pérdidas mucho menores que los reguladores serie.

La eficiencia de estos dispositivos es del orden del 75%, habiéndose logrado reducir las pérdidas a la mitad, permitiendo la reducción de costos operativos y haciendo necesaria una menor refrigeración. Las consecuencias son un fuerte incremento de las cargas no lineales en los sistemas de distribución.

Además de las Fuentes Conmutadas existen muchas otras fuentes que pueden contribuir de manera significativa a la presencia de Armónicas, entre ellas tenemos:

- **Balastos fluorescentes:** en la iluminación con tubos fluorescentes que empleen balastos magnéticos convencionales, las terceras Armónicas está típicamente en el rango del 13 al 20% de la fundamental. Los balastos electrónicos tienen componentes de terceras Armónicas de mayor amplitud, del orden del 80% de la fundamental.
- **Variadores electrónicos de velocidad:** a los efectos de la calidad de la energía estos productos se pueden dividir en dos grupos:
 - Fuentes Inversoras de Tensión.
 - Fuentes Inversoras de Corrientes.

Los primeros emplean grandes capacitores para proporcionar tensión constante al inversor. Este permite acomodar la forma de onda de tensión para variar la frecuencia y proveer tensión alterna al motor.

Los dispositivos de tipo Inversores de Tensión tienen asociados un alto porcentaje de Armónicas a sus corrientes de entrada, especialmente de la 5ta. a la 7ma.

Los equipos Inversores de Corriente, por otra parte, se emplean para aplicaciones de gran potencia y suelen tener contenidos de 5tas. armónicas.

- **UPS estáticas:** en estos sistemas la Corriente Alterna de entrada (CA) se rectifica en Corriente Continua (CC), que es invertida en circuitos de pulsos para obtener Corriente Alterna con frecuencia constante entre 50 y 415 Hz. La tensión rectificada se obtiene con tiristores.

La distorsión de salida de una UPS, para una carga dada, depende del diseño de la UPS y de la impedancia de salida. Por ello muchos fabricantes de estos equipos suelen especificar la distorsión en la tensión de salida (un valor típico es del 5% de Distorsión Armónica Total ó THD). Ello significa que las UPS estáticas sólo debieran aplicarse bajo condiciones de cargas lineales.

- **Rectificadores:** La característica de los circuitos de rectificación es su no linealidad, generando corrientes con un elevado contenido de Armónicas. Los diodos rectificadores de onda completa son los que presentan mayores características de no-linealidad.
- **Filtros:** muchos equipos electrónicos emplean capacitores como filtros de entrada, los que

tienen una no linealidad mucho mayor que los reactores de línea. A su vez, las características de las cargas pueden incrementar aún más la no linealidad de las corrientes de entrada.

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Efectos de las Armónicas sobre las cargas eléctricas	Pág. 9/15

La presencia de corrientes Armónicas no afecta de la misma forma a las diferentes cargas, pudiendo mencionarse en forma genérica que los inconvenientes mas severos que se observan cuando estas cargas se conectan a líneas monofásicas correspondientes a sistemas trifásicos que tienen un neutro en común. Las principales consecuencias de estos fenómenos sobre las cargas son:

1. Sobre los transformadores y generadores:

Cuando las corrientes de carga presentan un elevado contenido Armónico, se verifica un fenómeno de calentamiento considerablemente mayor que el que ocurriría para el mismo valor RMS de una corriente sinusoidal. Las principales razones para que ello ocurra son:

- **Histéresis:** cuando el acero se magnetiza crea pérdidas por histéresis, originando el sobrecalentamiento del núcleo laminado de acero. Las pérdidas por histéresis son mayores, para una corriente eficaz determinada, a las elevadas frecuencias Armónicas, donde las reversiones magnéticas son mucho más rápidas que a la fundamental de 50 Hz.
- **Corrientes parásitas:** Los campos magnéticos alternos también inducen corrientes sobre las láminas de acero cuando el cambio de flujo magnético corta el conductor. Este flujo de corrientes parásitas a través de la resistencia del acero genera pérdidas por calentamiento. Debido a las altas frecuencias las pérdidas son considerablemente mayores para corrientes Armónicas que para la misma corriente RMS a 50 Hz.
- **Efecto pelicular:** Un menor, pero aún considerable efecto de calentamiento a frecuencias elevadas está causado por el efecto skin en los conductores.

También pueden verificarse problemas de dimensionamiento o de protección aguas arriba de un transformador trifásico. En presencia de corrientes Armónicas la corriente de entrada no refleja la corriente de carga total, y la potencia aparente de entrada del transformador puede ser menor que la potencia aparente de salida. Por ello, los transformadores y sus protecciones deben ser dimensionados para transportar estas sobrecargas.

Las protecciones de los circuitos de entrada deben estar dimensionadas para proteger también las corrientes de falla.

Un método conservador para dimensionar los transformadores para una carga dada, es basarse en el estado instantáneo de los picos de corriente RMS, dado que la transferencia de energía ocurre básicamente en esos momentos. Por lo tanto, debe verificarse la habilidad del transformador para suministrar energía en los momentos pico sin sobrecalentamientos excesivos.

El factor K de los transformadores (en BT) indica cuanto se debe reducir la potencia máxima de salida cuando existen Armónicos. Por ejemplo, si en un transformador de 1000 kVA se encontrara que el factor de desclasificación es 1.2, la máxima potencia que podríamos transmitir sería 833 kVA.

2. Sobre los motores:

En los motores y generadores se produce sobrecalentamiento debido a las corrientes Armónicas de secuencia negativa (5tas. Armónicas) y a las corrientes parásitas.

Los motores son normalmente cargas lineales, pero cuando se alimentan con tensiones Armónicas, el motor produce corrientes Armónicas que pueden causar su sobrecalentamiento debido a los ya mencionados efectos de histéresis, corrientes parásitas y efecto pelicular.

Como regla general podemos decir que el total de distorsiones Armónicas de tensión no debe exceder del 5%.

3. Sobre los conductores:

Las corrientes Armónicas pueden producir un importante sobrecalentamiento del conductor neutro de

la instalación y de sus conexiones, pudiendo llegar a producir fallas en la instalación.

Ello se debe a que las Armónicas de secuencia cero se suman en el neutro en vez de cancelarse como sucedería con cargas lineales balanceadas.

Cuando la forma de onda de corriente se asemeje a una senoidal las lecturas de medidores de corriente del tipo Valor Medio o del tipo RMS Verdadero coincidirán en las mediciones realizadas en el neutro. En sistemas balanceados la 3ra. Armónica tiene una amplitud mucho mas grande que la 9na. y que la fundamental resultando entonces una corriente circulante por el neutro (debida a 3ra. Armónica) casi senoidal pura.

Asimismo, se puede producir el sobrecalentamiento de las fases por efecto pelicular.

4 Sobre la Barra de Neutro:

Se sobrecarga debido a las armónicas de secuencia cero. Asimismo, se producen fugas por el neutro ocasionadas por el sobrecalentamiento en caso de sobrecargas.

5 Sobre el tablero de distribución:

Calentamientos debidos a corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos.

6 Sobre los capacitores empleados para corregir el Factor de Potencia:

Dado que los capacitores pueden ser la impedancia más baja de un sistema a las Armónicas resultantes, pueden quemar los fusibles del capacitor o recalentar el mismo.

Los sistemas se vuelven típicamente resonantes entre la 5ta. Y la 7ma. Armónica cuando los capacitores corrigen el Factor de Potencia a > 0.95 o la potencia reactiva excede el 30% de la potencia aparente (kVA).

7 Sobre los dispositivos de protección contra sobrecorrientes:

Los dispositivos de protección contra sobre-corrientes como fusibles y desconectores son afectados por el calentamiento debido al efecto pelicular en corrientes con alto contenido Armónico.

En los dispositivos mas antiguos la operación dependía de fuerzas electromagnéticas proporcionales al cuadrado del pico de corriente, pero no a la corriente RMS. Con corrientes de 3ra. Armónica aparecen grandes picos de corriente que pueden producir una apertura prematura.

8 Sobre los dispositivos de protección:

Con el incremento de las Armónicas estos dispositivos de protección se ven afectados, produciéndose disparos en situaciones en las que no debiera producirse este fenómeno; ello se debe al calentamiento adicional en el tablero generado por la circulación de corriente de 3ra. Armónica en el conductor neutro.

En ocasiones se efectúan los denominados disparos por simpatía de los disyuntores diferenciales; ante algún fenómeno particular se produce la apertura de diversos diferenciales de manera simultánea, y en algunos casos hasta se disparan a la vez diferenciales ubicados en diferentes tableros.

Se pueden producir disparos en el propio circuito debido a los Armónicos que circulan en esa parte de la instalación. Como consecuencia de ello aparece una corriente adicional en el secundario del transformador del propio diferencial, del que depende el mecanismo de disparo.

Debido a esa corriente adicional los equipos sufren una modificación en su forma de actuar, dando la apariencia de que los equipos están descalibrados.

Se han desarrollado diferentes gamas de diferenciales, conocidas como tipos AC, A y B.

Los de tipo AC están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y tienen un funcionamiento correcto con funciones de fuga a tierra perfectamente senoidales,

detectando solamente fugas de corriente alterna, siendo insensibles a las corrientes rectificadas (pulsantes), con o sin componentes de continua.

Los de tipo A están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y pueden funcionar correctamente con corrientes pulsantes y con una componente de continua de hasta 6 mA.

Los de tipo B están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y se han diseñado para un funcionamiento correcto con cualquier componente continua.

9 Sobre los instrumentos de medición:

Las Armónicas pueden causar errores en la medición de energía cuando se utilizan equipos de inducción. Las Armónicas pueden ocasionar que los discos corran más rápido o más lento para la misma corriente RMS. Si este medidor se utiliza para facturar el consumo el pago puede ser más alto o más bajo de lo que debiera.

Para otros tipos de instrumentos que deban operar con tensiones o corrientes distorsionadas debe recordarse que solo deben utilizarse los que miden valores "RMS verdaderos", dado que para estas condiciones los restantes suministran valores erróneos en presencia de Armónicas los medidores de valor medio leen valores mas bajos que los reales).

10 Sobre los equipos electrónicos:

Cuando se distorsiona la forma de onda los equipos pueden sufrir fallas en su funcionamiento. Por ejemplo, los equipos electrónicos que tienen relojes que cuentan el pasaje por cero de la onda de tensión o corriente pueden no operar adecuadamente, debido a que existen muchos cruces por cero. De esta forma los relojes corren mas rápido causando que el equipo que se quiere controlar opere de manera incorrecta.

11 Sobre los reguladores de tensión:

Muchos de estos dispositivos de control emplean circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión o corriente. A 50Hz. ello es claro, pero con un elevado contenido Armónico puede haber muchos mas cruces por cero, lo que puede causar inestabilidad en la velocidad y en el control de frecuencia.

12 Sobre los sistemas de comunicaciones:

Pueden ocurrir interferencias (ruidos eléctricos intermitentes), que pueden llegar a ser lo suficientemente intensos como para corromper las señales, causando fallas en su funcionamiento.

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Las Armónicas y el Factor de Potencia	Pág. 10/15

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

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

En la Figura 4.8 podemos observar el diagrama vectorial de una carga no lineal que, a diferencia del diagrama de una carga lineal que es bidimensional en este caso pasa a ser tridimensional por la aparición de una componente denominada distorsión.

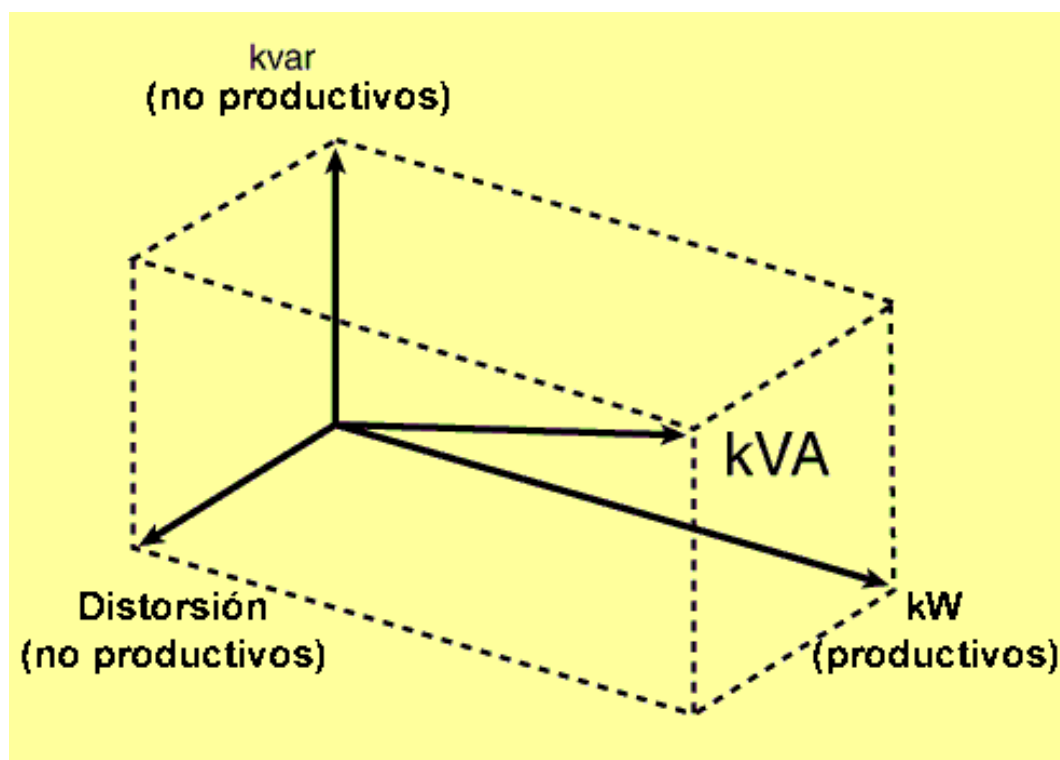


Figura 4.8

Para entender el dibujo del factor de potencia se debe considerar que ambos, los kVar y la distorsión son no-productivos. La suma vectorial resultante nos da los kVA efectivos, que obviamente son mayores que los productivos.

En síntesis, la distorsión del Factor de Potencia es otro factor adicional por los que se debe prestar atención a la presencia de corrientes Armónicas.

La resonancia ocurre cuando la inductancia en el sistema forma un circuito resonante a una o mas de las frecuencias Armónicas producidas por las cargas no lineales.

Este circuito resonante puede generar una tensión inusualmente elevada, causando problemas de aislamiento y fallas en los equipos. Asimismo, los circuitos resonantes pueden generar corrientes muy elevadas, sobrecargando partes del circuito. Dado que la inductancia y la capacitancia de estos sistemas suelen ser variables, los efectos de la resonancia son difíciles de calcular.

El problema de la resonancia se incrementa con el número de capacitores colocados en la instalación a efectos de mejorar el factor de potencia. En estos casos la falla en los capacitores puede deberse al elevado contenido de Armónicas del sistema.

La reactancia de un capacitor baja en relación directa con el aumento de la frecuencia de la tensión aplicada. Por lo tanto, con altas frecuencias Armónicas, la reactancia de los capacitores aplicados para mejorar el factor de potencia o para la supresión de transitorios, puede ser tan baja que constituya un virtual corto circuito.

Se debe prestar especial atención a las Armónicas resonantes 5ta. y 7ma. originadas en capacitores, dado que son las predominantes. Los convertidores de 6 pulsos empleados en muchos dispositivos de variación de velocidad son fuente de gran cantidad de Armónicas. De esta forma, cuando ocurre la resonancia el flujo de corrientes Armónicas retorna a la fuente de Armónicas y al capacitor. La corriente puede ser muy superior a la normal, causando la falla de los capacitores y el accionamiento de los dispositivos de protección.

La solución habitual consiste en emplear filtros de Armónicas, los que se aplican como capacitores puros en las cargas terminales.

En sistemas trifásicos de 4 hilos las corrientes de cargas fase a neutro fluyen por cada fase del conductor y retornan por el neutro común. Las corrientes de las tres fases están separadas 120° y, si las cargas trifásicas son lineales y están balanceadas (las tres cargas son iguales), la corriente en el neutro es igual a cero, como se observa en la Figura 4.9.

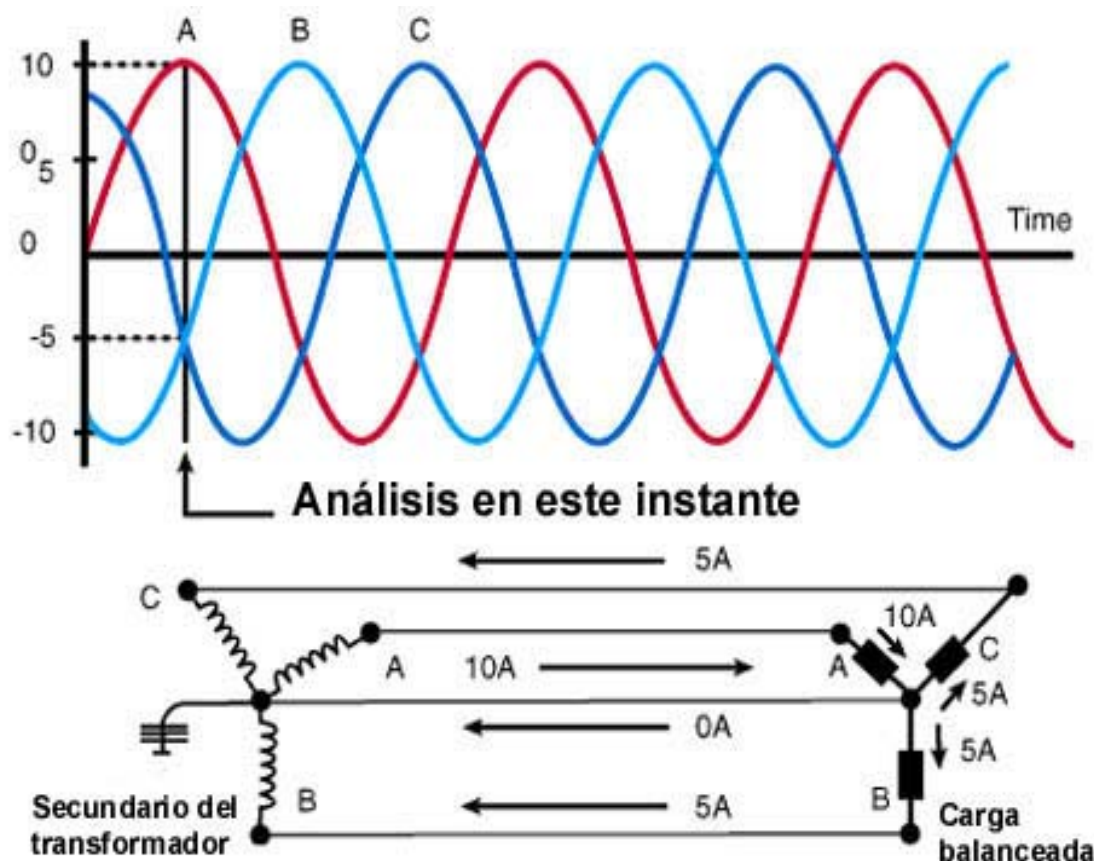


Figura 4.9

En presencia de Armónicas, esta relación se rompe. Las armónicas de orden par se cancelan, por lo que las más significativas resultan ser aquellas de orden impar.

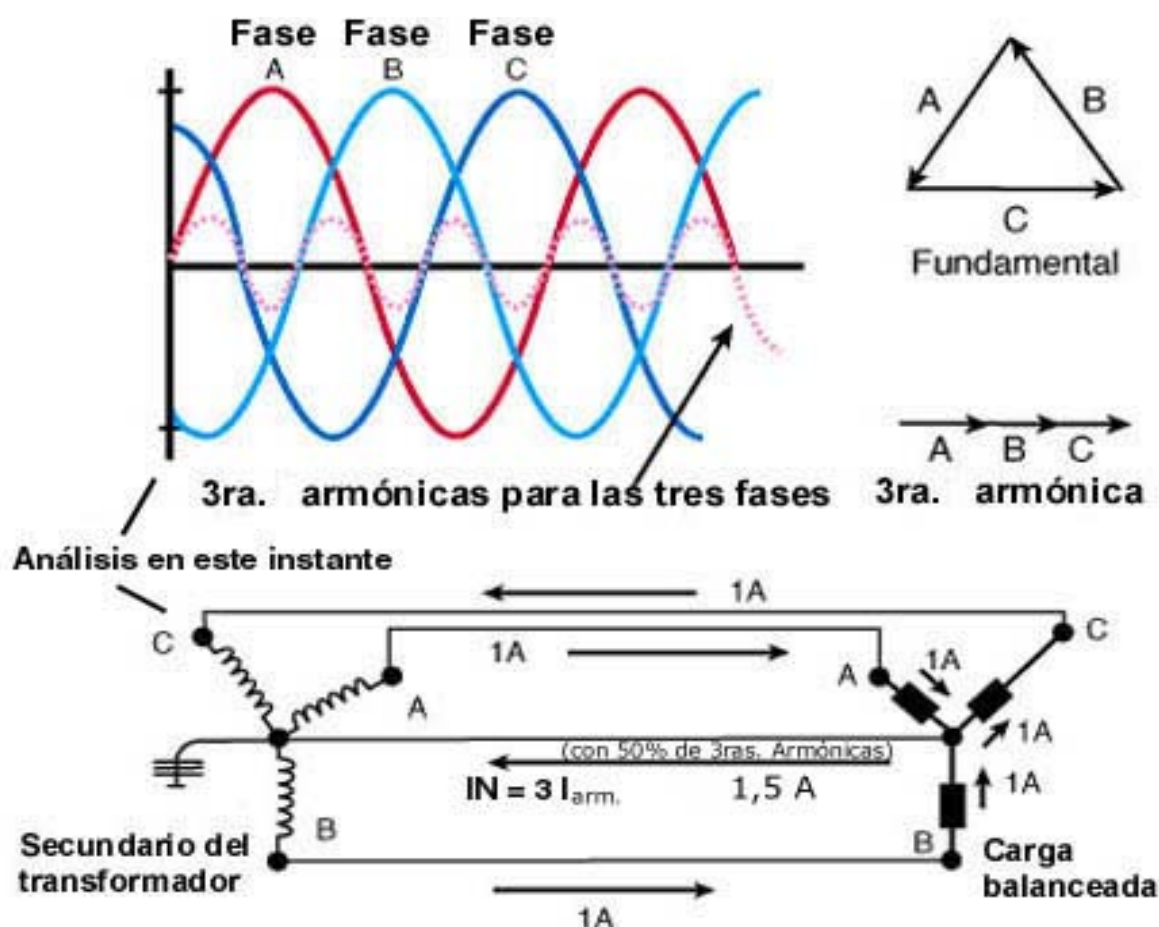
Estas corrientes Armónicas comenzarán después a "contaminar" la forma de onda de tensión en el interior de la instalación eléctrica, fenómeno que puede provocar daños entre los equipos electrónicos.

Las 3ras. Armónicas de cada una de las tres corrientes de fase, están entre sí en fase en cuanto tienen frecuencia triple respecto a la fundamental y están entre ellas desfasadas $1/3$ del período respecto al de la red. En el conductor de neutro estas corrientes en vez de cancelarse se suman y se podría obtener más corriente en el neutro, respecto a la presente en los conductores de fase.

Estas corrientes Armónicas generan calor, y con el tiempo el conductor neutro (cuya sección es generalmente igual o inferior a la de los conductores de fase) puede recalentarse peligrosamente. Por consiguiente, la tendencia a reducir la sección del neutro puede conducir a serios problemas por la existencia de Armónicas que no son casi nunca tenidas en cuenta en los cálculos, cuando se dimensiona la instalación.

Si las corrientes de carga tienen forma de onda distorsionada el balance de fases no necesariamente reduce las corrientes en el neutro. La 3ra. Armónica y superiores múltiplos de la tercera (9na, 15ta, etc.) no se cancelan en el neutro.

En el ejemplo de la figura 4.10, el valor eficaz de las corrientes de neutro debidas a estas Armónicas puede ser de 1,73 (raíz de 3) veces las corrientes de fase. Si el conductor neutro tiene la misma sección que los conductores de fase, el calentamiento en el neutro puede ser muy superior al de cada conductor de fase.



La presencia de Armónicos provoca un incremento en las pérdidas de las instalaciones por aumento de la resistencia de los conductores por efecto "piel" y "proximidad", al tener que soportar corrientes de frecuencias superiores a la fundamental. Ello es así porque el incremento de resistencia es proporcional al cuadrado de la frecuencia que, como sabemos, en el caso de Armónicos pueden ser muy elevada.

Los efectos "piel" y "proximidad" se producen debido a que cuando una corriente alterna pasa a través del conductor de un cable se crea a su alrededor un campo magnético variable que induce una diferencia de potencial en su seno o en los conductores situados en su proximidad, lo que provoca corrientes que se oponen parcialmente a las que recorren los conductores, ocasionando el aumento en su resistencia óhmica y pérdidas por efecto Joule.

En el momento del proyecto debe preverse la presencia de niveles elevados de Armónicas así como los factores correctivos, de modo de evitar fenómenos de mal funcionamiento en la misma instalación y en algunos de los aparatos conectados.

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Métodos para reducir la presencia de Armónicas	Pág. 13/15

Los Analizadores de Línea de alta velocidad son de gran utilidad para encontrar el origen de los problemas de Armónicas. Una vez identificados, se puede realizar una gran variedad de acciones para reducir o eliminar los efectos de estas frecuencias no deseadas; entre ellas se pueden mencionar:

- Instalar filtros adecuados en los circuitos.
- Dimensionar el conductor neutro para que sea capaz de transportar las corrientes generadas, de forma de evitar sobrecalentamientos y fallas potenciales.
- Disminuir las cargas para que los transformadores se puedan acomodar a las corrientes Armónicas adicionales, o bien diseñar los transformadores para manejar las corrientes Armónicas especificadas.
- Adicionalmente, algunos equipos específicos se pueden proteger de las corrientes Armónicas mediante el empleo de Acondicionadores de Línea y Fuentes de Energía Ininterrumpible (UPS).

Las características de los dispositivos más comunes son:

1. Reactores de Línea

Los **Reactores de Línea** son generalmente un simple inductor cuya función es impedir el paso de las elevadas frecuencias Armónicas.

Es de aplicación la fórmula $XL = 2\pi fL$. Si la frecuencia sube también lo hace la resistencia. La componente de 50Hz pasa a través del inductor con pequeña oposición, pero las frecuencias mayores pasan con gran dificultad.

Las corrientes Armónicas disminuyen cuando se aplica un Reactor de Línea, pero a expensas de distorsiones en la forma de onda de tensión. No obstante, es posible limitar los picos de tensión.

2. Filtros de Armónicas

Los Filtros de Armónicas se pueden emplear para:

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

Algunos filtros incluyen dispositivos útiles tales como reguladores de tensión y corrección ante disminuciones momentáneas de tensión. Durante las tormentas existen áreas predispuestas a las fallas, en ellas la combinación de Filtros de Armónicas y estabilizadores de tensión permite beneficios tanto para las distribuidoras como para las cargas.

La instalación de los filtros de Armónicas se ajusta al diagrama de la Figura 4.11:

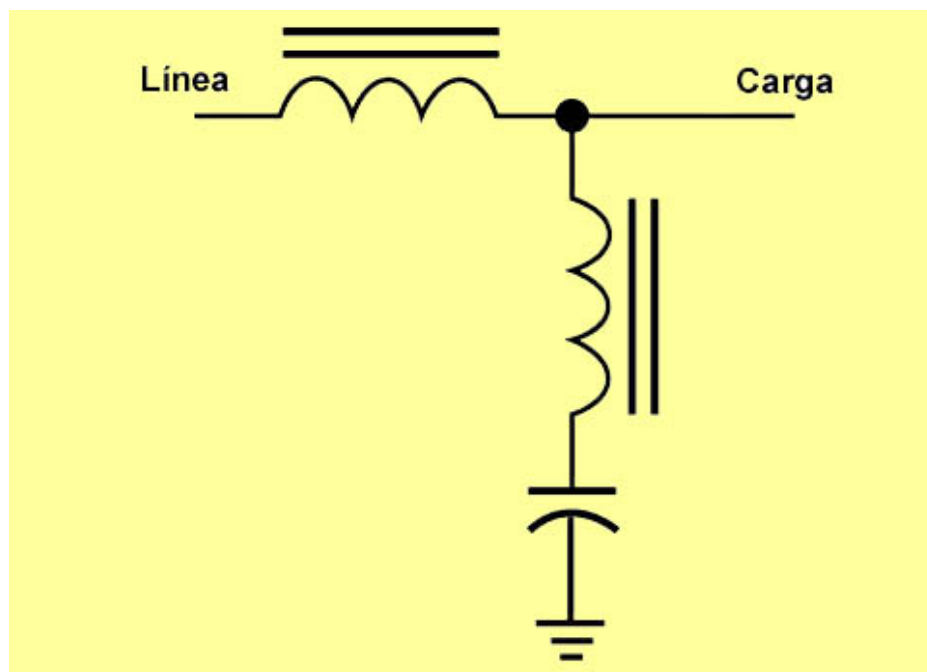


Figura 4.11

Para saber cual es el tipo de filtro mas adecuado para el control de Armónicas dentro de una instalación se debe efectuar una evaluación y planificación cuidadosa. Se debe observar que Armónicos están presentes y cual de ellos tiene una magnitud mayor que el resto para determinar si este podría ser el origen de los problemas; sobre la base de estas consideraciones es posible desarrollar un filtro acorde con ése Armónico en especial, que sintonice con la frecuencia correspondiente a su rango, para atenuarlo de manera significativa y si es posible anularlo.

Los tipos de filtros generalmente usados son:

- Filtros Pasivos
- Filtros Activos
- Filtros electrónicos

Los Filtros Pasivos suelen ser de tipo LC y disponen de una bobina serie y en paralelo que sintoniza con el Armónico a eliminar, cerrando las bobinas con condensadores entre fases.

Los Filtros Activos, o Compensadores Activos de Armónicas, analizan cada una de las fases de manera permanente teniendo en cuenta la forma de la Corriente de Carga. El análisis se realiza a través del Espectro Armónico, que está constituido por la suma de la intensidad fundamental y la de todos y cada uno de los Armónicos. El compensador genera una señal de corriente que es igual a la diferencia entre la corriente de carga y la intensidad fundamental. Esta diferencia, que es la suma de las corrientes Armónicas desfasadas 180° , se inyecta a la carga de modo que la resultante será una corriente senoidal igual a la intensidad fundamental de la fuente.

El compensador se intercala en paralelo entre la fuente y la carga y evita que los Armónicos circulen aguas arriba, contribuyen a la optimización de la impedancia de la instalación y mejoran la calidad de la tensión bajando la tasa de distorsión global de tensión; como consecuencia de ello el transformador estará menos desclasificado.

3. Acondicionadores Activos de Potencia

Existe otra tecnología de avanzada que permite la regulación de tensión y la cancelación de Armónicas en un equipo integrado. Normalmente se emplea para alimentar un grupo de equipos electrónicos sensibles.

Localizadas entre el sistema de potencia y las cargas, estos Acondicionadores transmiten sólo la fundamental de la fuente, cancelando las corrientes inyectadas al sistema hasta la Armónica 25ta., manteniendo la tensión dentro de las tolerancias. Se adaptan automáticamente al espectro de Armónicas generado por cualquier cambio en las cargas.

Un Acondicionador Activo de Potencia puede aplicarse sin necesidad de calcular las corrientes Armónicas, con pequeños ajustes en los requisitos de los Filtros Pasivos.

Las características de los Filtros ayudan a determinar sucesos eventuales. Es muy común encontrarse con distorsiones en la tensión de salida y en algunos casos también aumenta la potencia de salida.

En la Tabla 4.2 se puede ver un resumen de la performance de los reactores de línea y otros tipos de filtros. En todos los casos, la alimentación a las cargas finales se realiza mediante rectificadores simple fase. Las cargas se variaron para permitir una amplitud de corriente que permita actuar a los filtros en los valores de carga especificados.

	Reactores de línea	Filtros Pasivos	Filtros Activos	Filtros Electrónicos
I RMS (sin filtro)	8.5	8.5	4.1	14.5
I RMS (con filtro)	6.6	6.9	2.9	10.9
Factor de Potencia (sin filtro)	0.71	0.71	0.66	-0.64
Factor de Potencia (con filtro)	0.81	0.95	-0.97	-0.98
Tensión THD de entrada	2.7%	3.1%	2.2%	2.1%
Tensión THD de salida	27.6%	25.7%	23.4%	0.6%
Pico de Tensión de entrada	168V	169V	170V	166V
Pico de Tensión de salida	128V	132V	154V	167V
Corriente THD de entrada	35.9%	27.0%	23.9%	2.1%
Corriente THD de salida	36.1%	32.9%	31.2%	123%
Potencia de entrada	729W	781W	340W	1253W
Potencia de salida	685W	697W	326W	1117W
% Eficiencia	93.9	89.2	95.9	89.1

Tabla 4.2

Es importante recordar que mientras el objetivo primario consiste en reducir la presencia de Armónicas, no se tienen en cuenta otros costos o consideraciones.

Por ejemplo, supongamos una instalación que tenga 1,000 filtros pasivos de características similares. Si el costo de la electricidad es de 8.8 centavos por kilowatt hora, el costo de electricidad para cada filtro es 0.74 centavos por hora. Ello significa que el costo total calculado para un periodo de un año, funcionando las 24 horas del día es de \$64753, que obviamente es un valor muy significativo.

Los grandes filtros ubicados en los tableros son más eficientes y tienen un menor costo a largo plazo. Si no se suministran a las cargas picos de tensión, se requiere una menor energía almacenada. Picos de tensión repentinos, aún dentro de los niveles de tolerancia de las cargas, pueden deteriorar a las mismas.

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Soluciones para sistemas de distribución de potencia	Pág. 15/15

Los métodos tradicionales para combatir corrientes Armónicas, como la conexión a transformadores estrella - triángulo no son efectivos cuando las cargas consisten principalmente en dispositivos de conmutación. La conexión a este tipo de transformadores cambia la forma de onda pero subsiste el calentamiento del neutro, debido a que no se verifica la cancelación de corrientes en el mismo.

La alimentación eléctrica puede hacerse más compatible con el sistema de distribución empleado, para ello deben considerarse básicamente dos aspectos:

- primero, los usuarios necesitan un sistema que permita la cancelación del neutro para todo tipo de cargas, incluyendo cargas conmutadas.
- segundo, las cargas deben presentar un comportamiento ante el sistema de distribución como si se tratara de cargas lineales.

Ello se consigue mediante una adecuada separación de las fases de cada rama de alimentación; para ello se emplean los siguientes sistemas:

1. Sistema anti-fase

La cancelación de las corrientes de neutro ocurre cuando los circuitos que comparten el neutro están separados 180° . Esta técnica, llamada **anti-fase**, provoca la cancelación de la fundamental y todas las Armónicas del neutro común.

El anti-fase se consigue generando tres fases adicionales que se presenten 180° fuera de fase respecto de las tres originales. Las seis fases resultantes generan corrientes sobre el neutro en pares superpuestos. Cuando el sistema está balanceado, las corrientes en el neutro son cero.

Esta cancelación ocurre tanto a frecuencia fundamental como a todas las Armónicas.

No es necesario el balance completo de las cargas para que esta técnica sea de utilidad. Lo más importante es que desaparecen los picos de corriente.

Los sistemas anti-fase resuelven el problema de los usuarios pero no mejoran la situación para las empresas distribuidores de energía, que no ven ninguna diferencia si se emplean estos sistemas.

2. Sistema inter-fase:

El valor de la potencia instantánea es proporcional al cuadrado de la corriente en el neutro. Nótese que la potencia instantánea va de cero al máximo seis veces en cada ciclo. En comparación, con cargas resistivas o con combinaciones resistivas/capacitivas, el flujo trifásico de potencias es continuo y uniforme.

Ello puede lograrse agregando un segundo juego de fases que tengan su pico de corriente cuando el primero presente corriente cero, uniformizando el flujo de potencia.

Una distribución de 6-fases permite optimizar la alimentación a los usuarios (*anti-fase*) o a la compañía distribuidora (*inter-fase*), pero no ambos a la vez. Para ello debe recurrirse a otros métodos.

3. Sistema de 12 fases:

En un sistema de 12 fases igualmente separadas las fases a 0° , 120° y 240° representan el sistema convencional de tres fases. Las fases a 180° , 300° y 60° representan las *anti-fases* de las mismas. Las inter-fases de las mismas están formadas por el conjunto de fases a 30° , 90° , 150° , 210° , 270° y 330° ; el resultado es un flujo uniforme en la alimentación.

El **sistema de 12-fases** se obtiene mediante un convertidor que recibe la alimentación a través de una conexión trifásica en triángulo. Este equipo produce 12 fases en estrella igualmente espaciadas, permitiendo una distribución óptima en 12 ramales de circuitos.

Ninguna de las 12 fases generadas está en fase con la fuente de alimentación original. Los dispositivos de conmutación que operan directamente sobre la línea de alimentación producen picos instantáneos, en momentos diferentes, sobre cada una de las doce fases generadas. Ello agrega diversidad y permite uniformizar la alimentación.

Los edificios de oficinas, que distribuyen potencia a 30 o más computadoras son los que más tienen para ganar con dispositivos de 12-fases.

Problemas de Forma de Onda	Cap.4
Distorsiones en la Forma de Onda	Pág. 2/15

Uno de los atributos importantes de la Calidad de la Energía consiste en disponer de una alimentación de energía "limpia", que describe un sistema donde la forma de onda de tensión y corriente son sinusoides puras. Una distorsión de la forma de onda se define como una desviación instantánea respecto de la forma de onda de dicha senoide ideal.

Existen cinco tipos principales de distorsión en la forma de onda, ellas son:

- Inserción de Corriente Continua.
- Armónicas.
- Inter - armónicas.
- Notching.
- Ruido eléctrico.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Inserción de Corriente Continua	Pág. 3/15

La presencia de una tensión o corriente continua en un sistema de potencia en corriente alterna se conoce por sus siglas en ingles como **DC offset**; suele ocurrir por el efecto de rectificación de media onda.

Las corrientes continuas en redes de corriente alterna ocasionan un efecto negativo en el núcleo de los transformadores, que se saturan en su operación normal. Ello ocasiona calentamientos adicionales y reducción de su vida útil.

La corriente continua puede causar también la erosión de los electrodos de tierra y otros conectores.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

La presencia de **Armónicas** constituye una de las problemáticas más frecuentes: de la Calidad de la Energía, lo que justifica una comprensión integral del problema.

Las **Armónicas** son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la que está diseñada para operar el sistema de alimentación (llamada frecuencia *fundamental*) que en Argentina es de 50 hertz (ciclos por segundo)

La frecuencia de una tensión Armónica es un múltiplo de la frecuencia original. Por ejemplo, en un sistema de 50 hertz, la segunda Armónica será de 100 hertz, la tercera de 150 hertz, y así sucesivamente.

Otra forma de entender las armónicas es a través de un circuito eléctrico equivalente, como el de la Figura 4.4:

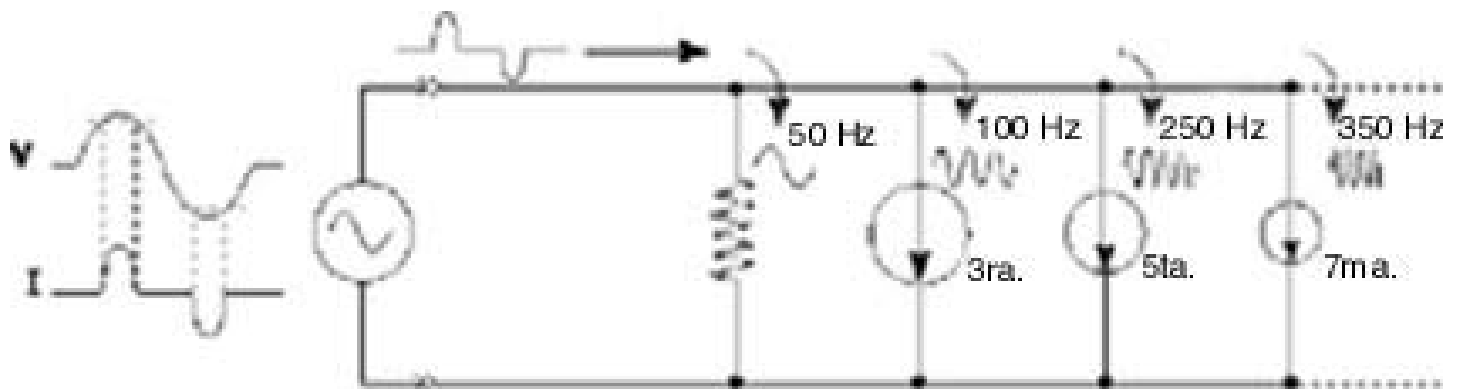


Figura 4.4

La carga puede ser representada por un resistor en paralelo con una serie de generadores de corriente operando a distintas frecuencias armónicas.

Las armónicas de corriente interactúan con la impedancia del sistema generando las armónicas de tensión. Luego la onda de tensión distorsionada (no-senoidal) causa corrientes armónicas aún en carga lineales

Si queremos visualizar en un gráfico los valores instantáneos de la corriente alterna en función del tiempo, en una carga lineal, observaremos una senoide que tiene valores máximos positivos o negativos y que se repite 50 veces por segundo (Figura 4.5). Es decir que estamos frente a una onda periódica y sinusoidal.

Como se explicó precedentemente, cuando se energizan los sistemas que presentan características no lineales se generan Armónicas, que pueden distorsionar severamente la potencia de suministro y causar problemas a otros equipos conectados a la misma fuente. En la Figura 4.5 también se puede observar la forma de onda resultante de adicionar a una onda senoidal una tercera Armónica en fase y otra fuera de fase en 180° .

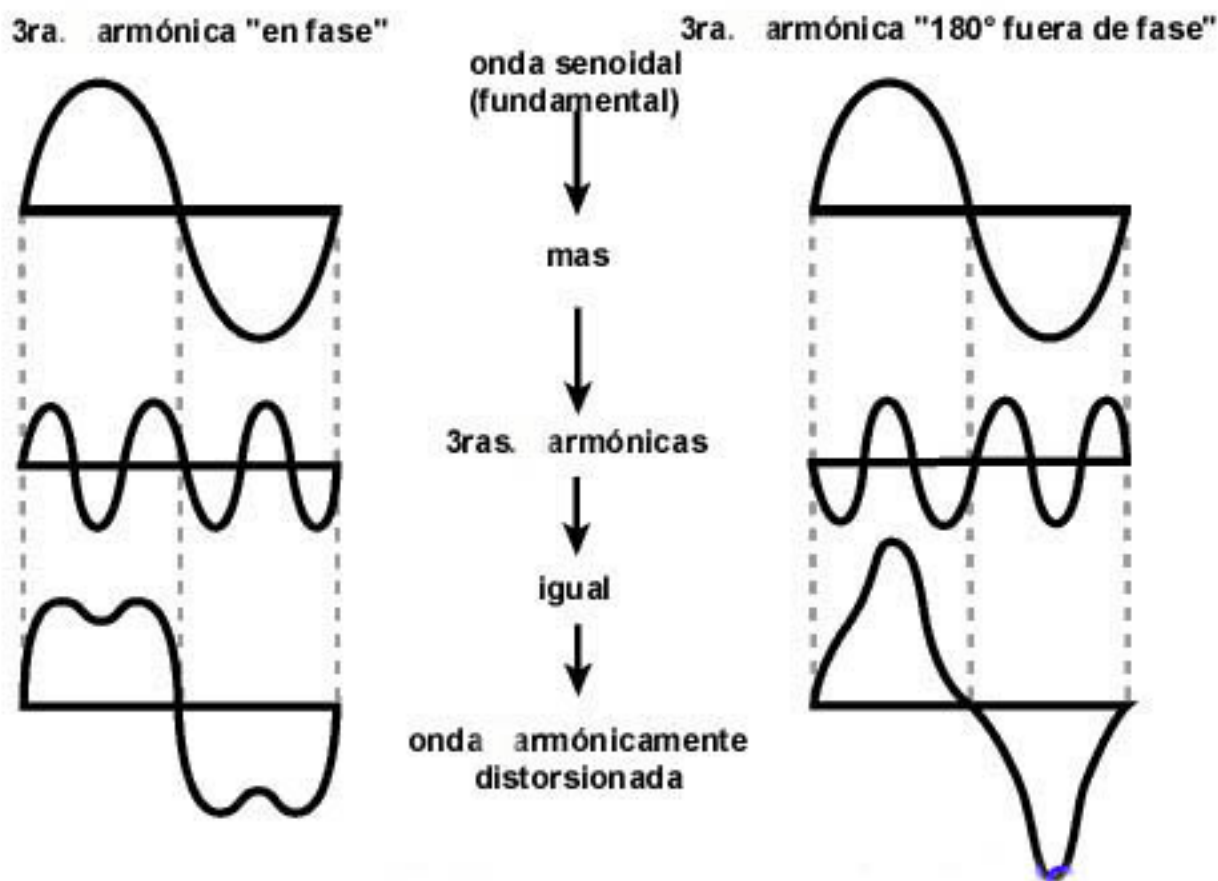


Figura 4.5

La secuencia de las Armónicas puede ser positiva (insertan corrientes en sentido de las agujas del reloj), negativa (insertan corrientes en sentido contrario a las agujas del reloj) o las llamadas de secuencia cero (no tienen sentido de rotación pero se suman en el neutro), Tabla 4.1.

Armónico	Fundamental	2da.	3ra.	4ta.	5ta.	6ta.	7ma.	8va.	9na.
Frecuencia	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Ello significa que si la forma de onda es simétrica las armónicas pares desaparecen (se cancelan entre sí).

Entre los efectos ocasionados por la secuencia de las Armónicas podemos mencionar:

- Positiva: calentamiento de conductores, apertura de interruptores, etc.
- Negativa: calentamiento de conductores, problemas en los motores (se frenan), etc.
- Cero: calentamiento de conductores, se suman corrientes en el neutro (sistemas trifásicos de 4 conductores), etc.

Las normas indican los valores de referencia, pero muy a menudo estos límites son superados, menospreciando la funcionalidad de la instalación eléctrica. La importancia del problema radica en que cerca del 50% de los equipamientos actuales pueden generar distorsiones Armónicas.

La experiencia indica que las Armónicas son más un problema local para los usuarios finales que para las empresas proveedoras de energía.

En los últimos años han aparecido multitud de nuevas ideas relativas a este tema. El [Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos \(IEEE\)](#), ha desarrollado normas y recomendaciones para sistemas con presencia de Armónicas; las más importantes se incluyen en la normativa **IEEE 519** de 1992.

La asociación de Fabricantes de computadoras de USA (CBEMA), emitió un documento de gran interés acerca de las consecuencias de los sistemas de alimentación con presencia de Armónicas.

En Argentina es el Ente Nacional de Regulación Eléctrica (ENRE) el que fijó pautas a cumplir sobre la emisión de Armónicas.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Problemas de Forma de Onda

*Cap. 4***Inter - armónicas***Pág. 5/15*

Las tensiones o corrientes con componentes de frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la que el sistema está diseñado para operar (en Argentina 50 Hz) se llaman ***inter - armónicas***. Estas pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro en la banda de frecuencias.

Los efectos de las *inter - armónicas* no están bien conocidos. Ellos pueden afectar tanto a las líneas de potencia, a las de señales o bien pueden inducir efectos visuales (flicker).

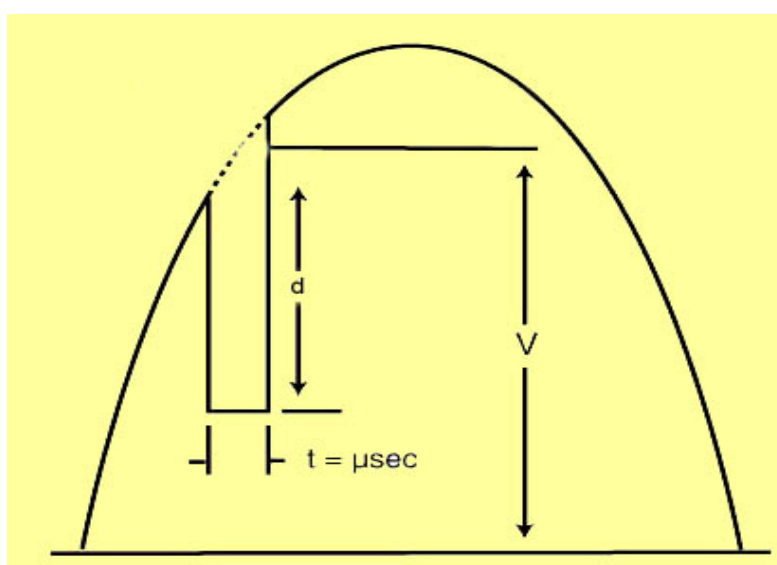
[menú](#)[índice](#)[1](#)[2](#)[3](#)[4](#)[5](#)[6](#)[7](#)[8](#)[9](#)[10](#)[11](#)[12](#)[13](#)[14](#)[15](#)

El **Notching** es una perturbación periódica de tensión causada por la operación normal de los dispositivos electrónicos cuando la corriente se conmuta de una fase a otra; se denomina por su nombre en inglés dado que no tiene una traducción literal en español.

Los componentes de frecuencia asociados con los casos de **notching** pueden ser bastante altos y no pueden ser caracterizados con los dispositivos empleados normalmente para el análisis de Armónicas.

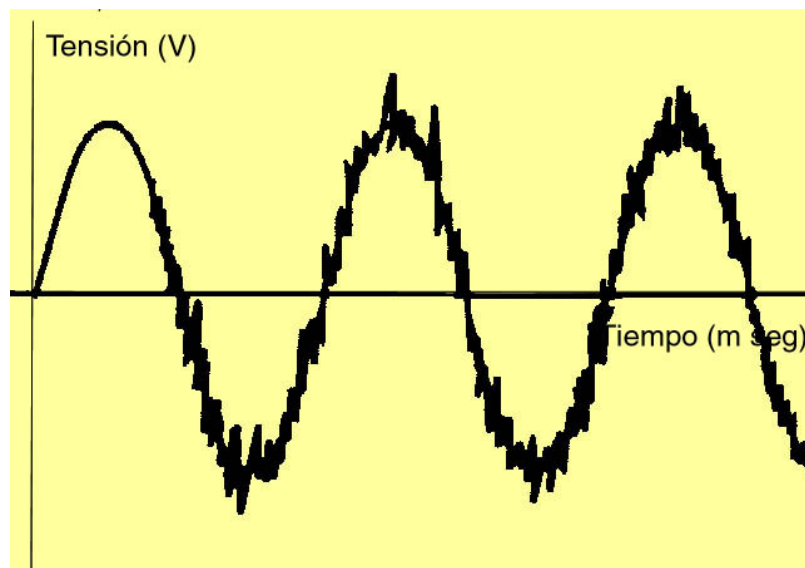
En la Figura siguiente se muestra un ejemplo de forma de onda de tensión con presencia de notching, originado cuando se conmuta la corriente de una fase a otra en un convertidor trifásico. Se observa que la duración del fenómeno tiene una duración del orden de μseg .

Durante este periodo existe un cortocircuito momentáneo entre dos fases que tiende a llevar la tensión lo mas cercano a cero que la impedancia del sistema lo permite.



El **Ruido Eléctrico** es una descripción genérica de un problema que puede obedecer a múltiples causas que no pueden ser clasificados como distorsiones Armónicas o Transitorios, y que pueden ocasionar problemas a los equipamientos.

Básicamente, consiste en distorsiones no deseadas de la señal de tensión (como se puede observar en la Figura siguiente) con un contenido espectral inferior a 200 kHz, que se superponen a las tensiones o corrientes de los sistemas de potencia.



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

- Dispositivos electrónicos,
- Circuitos de control,
- Chispas de contactos y switches.
- Puestas a tierra pobres.
- Lámparas fluorescentes.
- Cargas con rectificadores de estado sólido, etc.

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

[menú](#)
[índice](#)
[1](#)
[2](#)
[3](#)
[4](#)
[5](#)
[6](#)
[7](#)
[8](#)
[9](#)
[10](#)
[11](#)
[12](#)
[13](#)
[14](#)
[15](#)

Actualmente, los equipos que contribuyen en gran medida al problema de las Armónicas son las computadoras personales (PC's), los equipos de oficina y otros dispositivos electrónicos que emplean una alimentación de potencia de tipo conmutada para generar la tensión continua de trabajo. Estos tipos de equipos generan importantes corrientes con fuertes componentes de terceras armónicas.

Los alimentadores de potencia conmutada, generalmente llamados Fuentes Conmutadas o "de switching" (por su nombre en inglés) se emplean en los modernos equipos electrónicos que requieren alimentación en corriente continua de entre 3 y 15 V. Hasta no hace mucho esta tensión era proporcionada por un sistema tradicional compuesto por un transformador, un rectificador, un filtro y un regulador de tensión.

Las Fuentes Conmutadas pueden ser la causa de problemas, pero son tantas las ventajas que su empleo suele ser muy conveniente. Normalmente incluyen los filtros que se requieren para operar a altas frecuencias, suelen ser mucho más pequeños y eficientes que otros tipos de dispositivos más antiguos y tienen pérdidas mucho menores que los reguladores serie.

La eficiencia de estos dispositivos es del orden del 75%, habiéndose logrado reducir las pérdidas a la mitad, permitiendo la reducción de costos operativos y haciendo necesaria una menor refrigeración. Las consecuencias son un fuerte incremento de las cargas no lineales en los sistemas de distribución.

Además de las Fuentes Conmutadas existen muchas otras fuentes que pueden contribuir de manera significativa a la presencia de Armónicas, entre ellas tenemos:

- **Balastos fluorescentes:** en la iluminación con tubos fluorescentes que empleen balastos magnéticos convencionales, las terceras Armónicas está típicamente en el rango del 13 al 20% de la fundamental. Los balastos electrónicos tienen componentes de terceras Armónicas de mayor amplitud, del orden del 80% de la fundamental.
- **Variadores electrónicos de velocidad:** a los efectos de la calidad de la energía estos productos se pueden dividir en dos grupos:
 - Fuentes Inversoras de Tensión.
 - Fuentes Inversoras de Corrientes.

Los primeros emplean grandes capacitores para proporcionar tensión constante al inversor. Este permite acomodar la forma de onda de tensión para variar la frecuencia y proveer tensión alterna al motor.

Los dispositivos de tipo Inversores de Tensión tienen asociados un alto porcentaje de Armónicas a sus corrientes de entrada, especialmente de la 5ta. a la 7ma.

Los equipos Inversores de Corriente, por otra parte, se emplean para aplicaciones de gran potencia y suelen tener contenidos de 5tas. armónicas.

- **UPS estáticas:** en estos sistemas la Corriente Alterna de entrada (CA) se rectifica en Corriente Continua (CC), que es invertida en circuitos de pulsos para obtener Corriente Alterna con frecuencia constante entre 50 y 415 Hz. La tensión rectificada se obtiene con tiristores.

La distorsión de salida de una UPS, para una carga dada, depende del diseño de la UPS y de la impedancia de salida. Por ello muchos fabricantes de estos equipos suelen especificar la distorsión en la tensión de salida (un valor típico es del 5% de Distorsión Armónica Total ó THD). Ello significa que las UPS estáticas sólo debieran aplicarse bajo condiciones de cargas lineales.

- **Rectificadores:** La característica de los circuitos de rectificación es su no linealidad, generando corrientes con un elevado contenido de Armónicas. Los diodos rectificadores de onda completa son los que presentan mayores características de no-linealidad.
- **Filtros:** muchos equipos electrónicos emplean capacitores como filtros de entrada, los que tienen una no linealidad mucho mayor que los reactores de línea. A su vez, las características de las cargas pueden incrementar aún más la no linealidad de las corrientes de entrada.

<i>menu</i>	<i>indice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Efectos de las Armónicas sobre las cargas eléctricas	Pág. 9/15

La presencia de corrientes Armónicas no afecta de la misma forma a las diferentes cargas, pudiendo mencionarse en forma genérica que los inconvenientes mas severos que se observan cuando estas cargas se conectan a líneas monofásicas correspondientes a sistemas trifásicos que tienen un neutro en común. Las principales consecuencias de estos fenómenos sobre las cargas son:

1. Sobre los transformadores y generadores:

Cuando las corrientes de carga presentan un elevado contenido Armónico, se verifica un fenómeno de calentamiento considerablemente mayor que el que ocurriría para el mismo valor RMS de una corriente sinusoidal. Las principales razones para que ello ocurra son:

- **Histéresis:** cuando el acero se magnetiza crea pérdidas por histéresis, originando el sobrecalentamiento del núcleo laminado de acero. Las pérdidas por histéresis son mayores, para una corriente eficaz determinada, a las elevadas frecuencias Armónicas, donde las reversiones magnéticas son mucho más rápidas que a la fundamental de 50 Hz.
- **Corrientes parásitas:** Los campos magnéticos alternos también inducen corrientes sobre las láminas de acero cuando el cambio de flujo magnético corta el conductor. Este flujo de corrientes parásitas a través de la resistencia del acero genera pérdidas por calentamiento. Debido a las altas frecuencias las pérdidas son considerablemente mayores para corrientes Armónicas que para la misma corriente RMS a 50 Hz.
- **Efecto pelicular:** Un menor, pero aún considerable efecto de calentamiento a frecuencias elevadas está causado por el efecto skin en los conductores.

También pueden verificarse problemas de dimensionamiento o de protección aguas arriba de un transformador trifásico. En presencia de corrientes Armónicas la corriente de entrada no refleja la corriente de carga total, y la potencia aparente de entrada del transformador puede ser menor que la potencia aparente de salida. Por ello, los transformadores y sus protecciones deben ser dimensionados para transportar estas sobrecargas.

Las protecciones de los circuitos de entrada deben estar dimensionadas para proteger también las corrientes de falla.

Un método conservador para dimensionar los transformadores para una carga dada, es basarse en el estado instantáneo de los picos de corriente RMS, dado que la transferencia de energía ocurre básicamente en esos momentos. Por lo tanto, debe verificarse la habilidad del transformador para suministrar energía en los momentos pico sin sobrecalentamientos excesivos.

El factor K de los transformadores (en BT) indica cuanto se debe reducir la potencia máxima de salida cuando existen Armónicos. Por ejemplo, si en un transformador de 1000 kVA se encontrara que el factor de desclasificación es 1.2, la máxima potencia que podríamos transmitir sería 833 kVA.

2. Sobre los motores:

En los motores y generadores se produce sobrecalentamiento debido a las corrientes Armónicas de secuencia negativa (5tas. Armónicas) y a las corrientes parásitas.

Los motores son normalmente cargas lineales, pero cuando se alimentan con tensiones Armónicas, el motor produce corrientes Armónicas que pueden causar su sobrecalentamiento debido a los ya mencionados efectos de histéresis, corrientes parásitas y efecto pelicular.

Como regla general podemos decir que el total de distorsiones Armónicas de tensión no debe exceder del 5%.

3. Sobre los conductores:

Las corrientes Armónicas pueden producir un importante sobrecalentamiento del conductor neutro de la instalación y de sus conexiones, pudiendo llegar a producir fallas en la instalación.

Ello se debe a que las Armónicas de secuencia cero se suman en el neutro en vez de cancelarse como sucedería con cargas lineales balanceadas.

Cuando la forma de onda de corriente se asemeje a una senoidal las lecturas de medidores de corriente del tipo Valor Medio o del tipo RMS Verdadero coincidirán en las mediciones realizadas en el neutro. En sistemas balanceados la 3ra. Armónica tiene una amplitud mucho mas grande que la 9na. y que la fundamental resultando entonces una corriente circulante por el neutro (debida a 3ra. Armónica) casi senoidal pura.

Asimismo, se puede producir el sobrecalentamiento de las fases por efecto pelicular.

4 Sobre la Barra de Neutro:

Se sobrecarga debido a las armónicas de secuencia cero. Asimismo, se producen fugas por el neutro ocasionadas por el sobrecalentamiento en caso de sobrecargas.

5 Sobre el tablero de distribución:

Calentamientos debidos a corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos.

6 Sobre los capacitores empleados para corregir el Factor de Potencia:

Dado que los capacitores pueden ser la impedancia más baja de un sistema a las Armónicas resultantes, pueden quemar los fusibles del capacitor o recalentar el mismo.

Los sistemas se vuelven típicamente resonantes entre la 5ta. Y la 7ma. Armónica cuando los capacitores corrigen el Factor de Potencia a > 0.95 o la potencia reactiva excede el 30% de la potencia aparente (kVA).

7 Sobre los dispositivos de protección contra sobrecorrientes:

Los dispositivos de protección contra sobre-corrientes como fusibles y desconectores son afectados por el calentamiento debido al efecto pelicular en corrientes con alto contenido Armónico.

En los dispositivos mas antiguos la operación dependía de fuerzas electromagnéticas proporcionales al cuadrado del pico de corriente, pero no a la corriente RMS. Con corrientes de 3ra. Armónica aparecen grandes picos de corriente que pueden producir una apertura prematura.

8 Sobre los dispositivos de protección:

Con el incremento de las Armónicas estos dispositivos de protección se ven afectados, produciéndose disparos en situaciones en las que no debiera producirse este fenómeno; ello se debe al calentamiento adicional en el tablero generado por la circulación de corriente de 3ra. Armónica en el conductor neutro.

En ocasiones se efectúan los denominados disparos por simpatía de los disyuntores diferenciales; ante algún fenómeno particular se produce la apertura de diversos diferenciales de manera simultánea, y en algunos casos hasta se disparan a la vez diferenciales ubicados en diferentes tableros.

Se pueden producir disparos en el propio circuito debido a los Armónicos que circulan en esa parte de la instalación. Como consecuencia de ello aparece una corriente adicional en el secundario del transformador del propio diferencial, del que depende el mecanismo de disparo.

Debido a esa corriente adicional los equipos sufren una modificación en su forma de actuar, dando la apariencia de que los equipos están descalibrados.

Se han desarrollado diferentes gamas de diferenciales, conocidas como tipos AC, A y B.

Los de tipo AC están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y tienen un funcionamiento correcto con funciones de fuga a tierra perfectamente senoidales, detectando solamente fugas de corriente alterna, siendo insensibles a las corrientes rectificadas (pulsantes), con o sin componentes de continua.

Los de tipo A están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y

pueden funcionar correctamente con corrientes pulsantes y con una componente de continua de hasta 6 mA.

Los de tipo B están protegidos contra disparos intempestivos debidos a sobrecargas transitorias y se han diseñado para un funcionamiento correcto con cualquier componente continua.

9 Sobre los instrumentos de medición:

Las Armónicas pueden causar errores en la medición de energía cuando se utilizan equipos de inducción. Las Armónicas pueden ocasionar que los discos corran más rápido o más lento para la misma corriente RMS. Si este medidor se utiliza para facturar el consumo el pago puede ser más alto o más bajo de lo que debiera.

Para otros tipos de instrumentos que deban operar con tensiones o corrientes distorsionadas debe recordarse que solo deben utilizarse los que miden valores "RMS verdaderos", dado que para estas condiciones los restantes suministran valores erróneos en presencia de Armónicas los medidores de valor medio leen valores mas bajos que los reales).

10 Sobre los equipos electrónicos:

Cuando se distorsiona la forma de onda los equipos pueden sufrir fallas en su funcionamiento. Por ejemplo, los equipos electrónicos que tienen relojes que cuentan el pasaje por cero de la onda de tensión o corriente pueden no operar adecuadamente, debido a que existen muchos cruces por cero. De esta forma los relojes corren mas rápido causando que el equipo que se quiere controlar opere de manera incorrecta.

11 Sobre los reguladores de tensión:

Muchos de estos dispositivos de control emplean circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión o corriente. A 50Hz. ello es claro, pero con un elevado contenido Armónico puede haber muchos mas cruces por cero, lo que puede causar inestabilidad en la velocidad y en el control de frecuencia.

12 Sobre los sistemas de comunicaciones:

Pueden ocurrir interferencias (ruidos eléctricos intermitentes), que pueden llegar a ser lo suficientemente intensos como para corromper las señales, causando fallas en su funcionamiento.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

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

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

En la Figura 4.8 podemos observar el diagrama vectorial de una carga no lineal que, a diferencia del diagrama de una carga lineal que es bidimensional en este caso pasa a ser tridimensional por la aparición de una componente denominada distorsión.

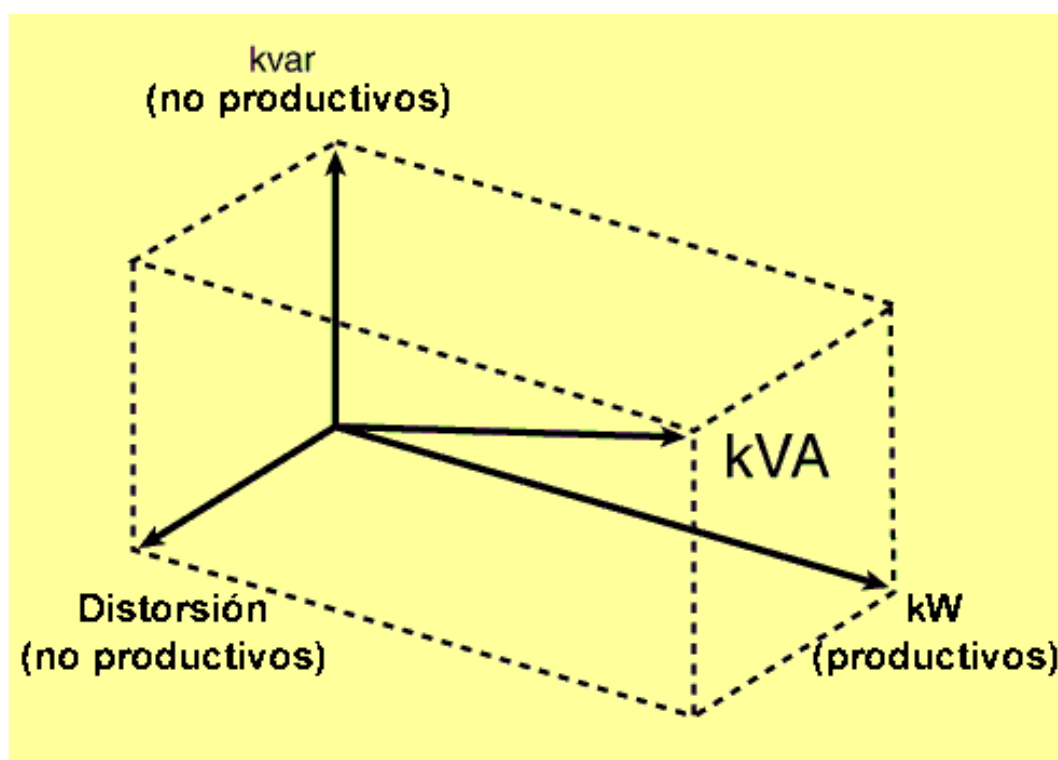


Figura 4.8

Para entender el dibujo del factor de potencia se debe considerar que ambos, los kVar y la distorsión son no-productivos. La suma vectorial resultante nos da los kVA efectivos, que obviamente son mayores que los productivos.

En síntesis, la distorsión del Factor de Potencia es otro factor adicional por los que se debe prestar atención a la presencia de corrientes Armónicas.

La resonancia ocurre cuando la inductancia en el sistema forma un circuito resonante a una o mas de las frecuencias Armónicas producidas por las cargas no lineales.

Este circuito resonante puede generar una tensión inusualmente elevada, causando problemas de aislamiento y fallas en los equipos. Asimismo, los circuitos resonantes pueden generar corrientes muy elevadas, sobrecargando partes del circuito. Dado que la inductancia y la capacitancia de estos sistemas suelen ser variables, los efectos de la resonancia son difíciles de calcular.

El problema de la resonancia se incrementa con el número de capacitores colocados en la instalación a efectos de mejorar el factor de potencia. En estos casos la falla en los capacitores puede deberse al elevado contenido de Armónicas del sistema.

La reactancia de un capacitor baja en relación directa con el aumento de la frecuencia de la tensión aplicada. Por lo tanto, con altas frecuencias Armónicas, la reactancia de los capacitores aplicados para mejorar el factor de potencia o para la supresión de transitorios, puede ser tan baja que constituya un virtual corto circuito.

Se debe prestar especial atención a las Armónicas resonantes 5ta. y 7ma. originadas en capacitores, dado que son las predominantes. Los convertidores de 6 pulsos empleados en muchos dispositivos de variación de velocidad son fuente de gran cantidad de Armónicas. De esta forma, cuando ocurre la resonancia el flujo de corrientes Armónicas retorna a la fuente de Armónicas y al capacitor. La corriente puede ser muy superior a la normal, causando la falla de los capacitores y el accionamiento de los dispositivos de protección.

La solución habitual consiste en emplear filtros de Armónicas, los que se aplican como capacitores puros en las cargas terminales.

[menú](#)[índice](#)[1](#)[2](#)[3](#)[4](#)[5](#)[6](#)[7](#)[8](#)[9](#)[10](#)[11](#)[12](#)[13](#)[14](#)[15](#)

En sistemas trifásicos de 4 hilos las corrientes de cargas fase a neutro fluyen por cada fase del conductor y retornan por el neutro común. Las corrientes de las tres fases están separadas 120° y, si las cargas trifásicas son lineales y están balanceadas (las tres cargas son iguales), la corriente en el neutro es igual a cero, como se observa en la Figura 4.9.

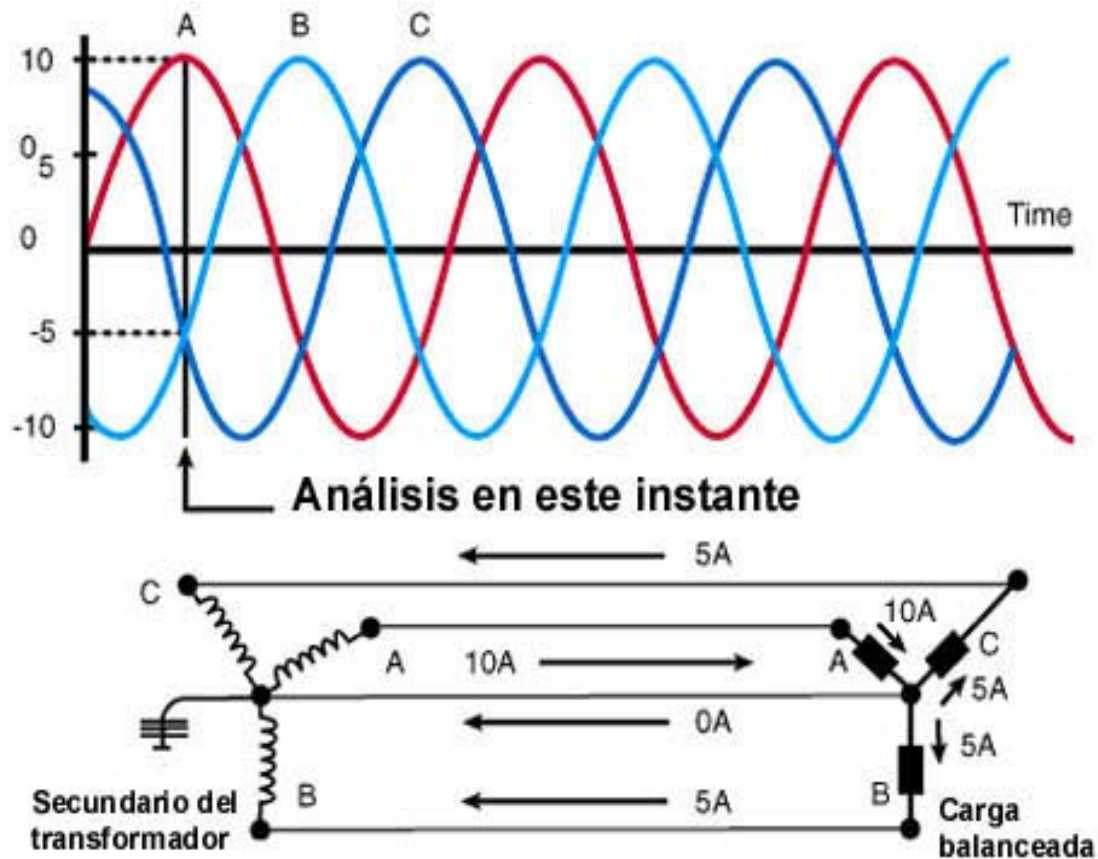


Figura 4.9

En presencia de Armónicas, esta relación se rompe. Las armónicas de orden par se cancelan, por lo que las más significativas resultan ser aquellas de orden impar.

Estas corrientes Armónicas comenzarán después a "contaminar" la forma de onda de tensión en el interior de la instalación eléctrica, fenómeno que puede provocar daños entre los equipos electrónicos.

Las 3ras. Armónicas de cada una de las tres corrientes de fase, están entre sí en fase en cuanto tienen frecuencia triple respecto a la fundamental y están entre ellas desfasadas $1/3$ del período respecto al de la red. En el conductor de neutro estas corrientes en vez de cancelarse se suman y se podría obtener más corriente en el neutro, respecto a la presente en los conductores de fase.

Estas corrientes Armónicas generan calor, y con el tiempo el conductor neutro (cuya sección es generalmente igual o inferior a la de los conductores de fase) puede recalentarse peligrosamente. Por consiguiente, la tendencia a reducir la sección del neutro puede conducir a serios problemas por la existencia de Armónicas que no son casi nunca tenidas en cuenta en los cálculos, cuando se dimensiona la instalación.

Si las corrientes de carga tienen forma de onda distorsionada el balance de fases no necesariamente reduce las corrientes en el neutro. La 3ra. Armónica y superiores múltiplos de la tercera ($9na$, $15ta$, etc.) no se cancelan en el neutro.

En el ejemplo de la figura 4.10, el valor eficaz de las corrientes de neutro debidas a estas

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Métodos para reducir la presencia de Armónicas	Pág. 13/15

Los Analizadores de Línea de alta velocidad son de gran utilidad para encontrar el origen de los problemas de Armónicas. Una vez identificados, se puede realizar una gran variedad de acciones para reducir o eliminar los efectos de estas frecuencias no deseadas; entre ellas se pueden mencionar:

- Instalar filtros adecuados en los circuitos.
- Dimensionar el conductor neutro para que sea capaz de transportar las corrientes generadas, de forma de evitar sobrecalentamientos y fallas potenciales.
- Disminuir las cargas para que los transformadores se puedan acomodar a las corrientes Armónicas adicionales, o bien diseñar los transformadores para manejar las corrientes Armónicas especificadas.
- Adicionalmente, algunos equipos específicos se pueden proteger de las corrientes Armónicas mediante el empleo de Acondicionadores de Línea y Fuentes de Energía Ininterrumpible (UPS).

Las características de los dispositivos más comunes son:

1. Reactores de Línea

Los **Reactores de Línea** son generalmente un simple inductor cuya función es impedir el paso de las elevadas frecuencias Armónicas.

Es de aplicación la fórmula $XL = 2\pi fL$. Si la frecuencia sube también lo hace la resistencia. La componente de 50Hz pasa a través del inductor con pequeña oposición, pero las frecuencias mayores pasan con gran dificultad.

Las corrientes Armónicas disminuyen cuando se aplica un Reactor de Línea, pero a expensas de distorsiones en la forma de onda de tensión. No obstante, es posible limitar los picos de tensión.

2. Filtros de Armónicas

Los Filtros de Armónicas se pueden emplear para:

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

Algunos filtros incluyen dispositivos útiles tales como reguladores de tensión y corrección ante disminuciones momentáneas de tensión. Durante las tormentas existen áreas predispuestas a las fallas, en ellas la combinación de Filtros de Armónicas y estabilizadores de tensión permite beneficios tanto para las distribuidoras como para las cargas.

La instalación de los filtros de Armónicas se ajusta al diagrama de la Figura 4.11:

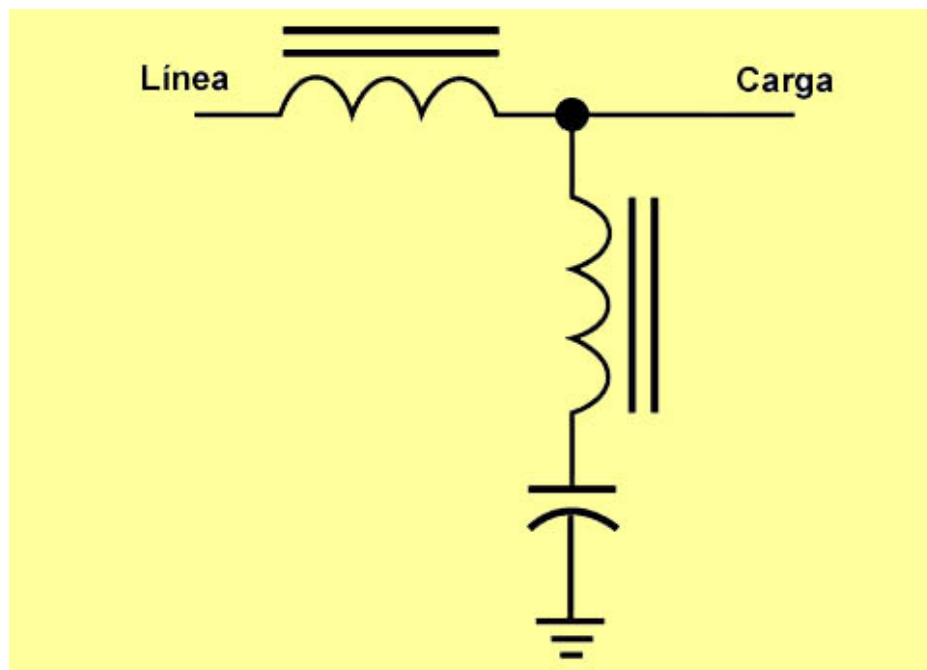


Figura 4.11

Para saber cual es el tipo de filtro mas adecuado para el control de Armónicas dentro de una instalación se debe efectuar una evaluación y planificación cuidadosa. Se debe observar que Armónicos están presentes y cual de ellos tiene una magnitud mayor que el resto para determinar si este podría ser el origen de los problemas; sobre la base de estas consideraciones es posible desarrollar un filtro acorde con ése Armónico en especial, que sintonice con la frecuencia correspondiente a su rango, para atenuarlo de manera significativa y si es posible anularlo.

Los tipos de filtros generalmente usados son:

- Filtros Pasivos
- Filtros Activos
- Filtros electrónicos

Los Filtros Pasivos suelen ser de tipo LC y disponen de una bobina serie y en paralelo que sintoniza con el Armónico a eliminar, cerrando las bobinas con condensadores entre fases.

Los Filtros Activos, o Compensadores Activos de Armónicas, analizan cada una de las fases de manera permanente teniendo en cuenta la forma de la Corriente de Carga. El análisis se realiza a través del Espectro Armónico, que está constituido por la suma de la intensidad fundamental y la de todos y cada uno de los Armónicos. El compensador genera una señal de corriente que es igual a la diferencia entre la corriente de carga y la intensidad fundamental. Esta diferencia, que es la suma de las corrientes Armónicas desfasadas 180° , se inyecta a la carga de modo que la resultante será una corriente senoidal igual a la intensidad fundamental de la fuente.

El compensador se intercala en paralelo entre la fuente y la carga y evita que los Armónicos circulen aguas arriba, contribuyen a la optimización de la impedancia de la instalación y mejoran la calidad de la tensión bajando la tasa de distorsión global de tensión; como consecuencia de ello el transformador estará menos desclasificado.

3. Acondicionadores Activos de Potencia

Existe otra tecnología de avanzada que permite la regulación de tensión y la cancelación de Armónicas en un equipo integrado. Normalmente se emplea para alimentar un grupo de equipos electrónicos sensibles.

Localizadas entre el sistema de potencia y las cargas, estos Acondicionadores transmiten sólo la fundamental de la fuente, cancelando las corrientes inyectadas al sistema hasta la Armónica 25ta., manteniendo la tensión dentro de las tolerancias. Se adaptan automáticamente al espectro de Armónicas generado por cualquier cambio en las cargas.

Un Acondicionador Activo de Potencia puede aplicarse sin necesidad de calcular las corrientes

Armónicas, con pequeños ajustes en los requisitos de los Filtros Pasivos.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Las características de los Filtros ayudan a determinar sucesos eventuales. Es muy común encontrarse con distorsiones en la tensión de salida y en algunos casos también aumenta la potencia de salida.

En la Tabla 4.2 se puede ver un resumen de la performance de los reactores de línea y otros tipos de filtros. En todos los casos, la alimentación a las cargas finales se realiza mediante rectificadores simple fase. Las cargas se variaron para permitir una amplitud de corriente que permita actuar a los filtros en los valores de carga especificados.

	Reactores de línea	Filtros Pasivos	Filtros Activos	Filtros Electrónicos
I RMS (sin filtro)	8.5	8.5	4.1	14.5
I RMS (con filtro)	6.6	6.9	2.9	10.9
Factor de Potencia (sin filtro)	0.71	0.71	0.66	-0.64
Factor de Potencia (con filtro)	0.81	0.95	-0.97	-0.98
Tensión THD de entrada	2.7%	3.1%	2.2%	2.1%
Tensión THD de salida	27.6%	25.7%	23.4%	0.6%
Pico de Tensión de entrada	168V	169V	170V	166V
Pico de Tensión de salida	128V	132V	154V	167V
Corriente THD de entrada	35.9%	27.0%	23.9%	2.1%
Corriente THD de salida	36.1%	32.9%	31.2%	123%
Potencia de entrada	729W	781W	340W	1253W
Potencia de salida	685W	697W	326W	1117W
% Eficiencia	93.9	89.2	95.9	89.1

Tabla 4.2

Es importante recordar que mientras el objetivo primario consiste en reducir la presencia de Armónicas, no se tienen en cuenta otros costos o consideraciones.

Por ejemplo, supongamos una instalación que tenga 1,000 filtros pasivos de características similares. Si el costo de la electricidad es de 8.8 centavos por kilowatt hora, el costo de electricidad para cada filtro es 0.74 centavos por hora. Ello significa que el costo total calculado para un periodo de un año, funcionando las 24 horas del día es de \$64753, que obviamente es un valor muy significativo.

Los grandes filtros ubicados en los tableros son más eficientes y tienen un menor costo a largo plazo. Si no se suministran a las cargas picos de tensión, se requiere una menor energía almacenada. Picos de tensión repentinos, aún dentro de los niveles de tolerancia de las cargas, pueden deteriorar a las mismas.

Problemas de Forma de Onda	Cap. 4
Soluciones para sistemas de distribución de potencia	Pág. 15/15

Los métodos tradicionales para combatir corrientes Armónicas, como la conexión a transformadores estrella - triángulo no son efectivos cuando las cargas consisten principalmente en dispositivos de conmutación. La conexión a este tipo de transformadores cambia la forma de onda pero subsiste el calentamiento del neutro, debido a que no se verifica la cancelación de corrientes en el mismo.

La alimentación eléctrica puede hacerse más compatible con el sistema de distribución empleado, para ello deben considerarse básicamente dos aspectos:

- primero, los usuarios necesitan un sistema que permita la cancelación del neutro para todo tipo de cargas, incluyendo cargas conmutadas.
- segundo, las cargas deben presentar un comportamiento ante el sistema de distribución como si se tratara de cargas lineales.

Ello se consigue mediante una adecuada separación de las fases de cada rama de alimentación; para ello se emplean los siguientes sistemas:

1. Sistema anti-fase

La cancelación de las corrientes de neutro ocurre cuando los circuitos que comparten el neutro están separados 180° . Esta técnica, llamada **anti-fase**, provoca la cancelación de la fundamental y todas las Armónicas del neutro común.

El anti-fase se consigue generando tres fases adicionales que se presenten 180° fuera de fase respecto de las tres originales. Las seis fases resultantes generan corrientes sobre el neutro en pares superpuestos. Cuando el sistema está balanceado, las corrientes en el neutro son cero.

Esta cancelación ocurre tanto a frecuencia fundamental como a todas las Armónicas.

No es necesario el balance completo de las cargas para que esta técnica sea de utilidad. Lo más importante es que desaparecen los picos de corriente.

Los sistemas anti-fase resuelven el problema de los usuarios pero no mejoran la situación para las empresas distribuidoras de energía, que no ven ninguna diferencia si se emplean estos sistemas.

2. Sistema inter-fase:

El valor de la potencia instantánea es proporcional al cuadrado de la corriente en el neutro. Nótese que la potencia instantánea va de cero al máximo seis veces en cada ciclo. En comparación, con cargas resistivas o con combinaciones resistivas/capacitivas, el flujo trifásico de potencias es continuo y uniforme.

Ello puede lograrse agregando un segundo juego de fases que tengan su pico de corriente cuando el primero presente corriente cero, uniformizando el flujo de potencia.

Una distribución de 6-fases permite optimizar la alimentación a los usuarios (*anti-fase*) o a la compañía distribuidora (*inter-fase*), pero no ambos a la vez. Para ello debe recurrirse a otros métodos.

3. Sistema de 12 fases:

En un sistema de 12 fases igualmente separadas las fases a 0° , 120° y 240° representan el sistema convencional de tres fases. Las fases a 180° , 300° y 60° representan las *anti-fases* de las mismas. Las inter-fases de las mismas están formadas por el conjunto de fases a 30° , 90° , 150° , 210° , 270° y 330° ; el resultado es un flujo uniforme en la alimentación.

El **sistema de 12-fases** se obtiene mediante un convertidor que recibe la alimentación a través de una conexión trifásica en triángulo. Este equipo produce 12 fases en estrella igualmente espaciadas, permitiendo una distribución óptima en 12 ramales de circuitos.

Ninguna de las 12 fases generadas está en fase con la fuente de alimentación original. Los

dispositivos de conmutación que operan directamente sobre la línea de alimentación producen picos instantáneos, en momentos diferentes, sobre cada una de las doce fases generadas. Ello agrega diversidad y permite uniformizar la alimentación.

Los edificios de oficinas, que distribuyen potencia a 30 o más computadoras son los que más tienen para ganar con dispositivos de 12-fases.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap. 3
Características y Origen de los Transitorios	Pág. 1/12

El término **Transitorio** es ampliamente utilizado en el análisis de las variaciones en los sistemas de potencia para denotar un evento que aparece momentáneamente.

Otra definición de uso corriente se refiere a los cambios de estado, y establece que un transitorio es "la parte del cambio en una variable que desaparece durante la transición de un estado instantáneo en la condición de operación a otro". Desafortunadamente, esta definición puede ser usada para describir cualquier situación inusual que ocurra en un sistema de potencia.

Otro término de uso común, que se considera sinónimo de transitorio, es la palabra "**surge**", que se emplea en las distribuidoras de energía para describir el transitorio resultante de las descargas atmosféricas; de allí surgió el término "**surge arrester**" para describir a los supresores de transitorios. No obstante, debido a que existen muchas ambigüedades potenciales con este término es conveniente evitar su empleo, a menos que se aclare específicamente a que nos estamos refiriendo.

Un estudio de la General Electric determinó que un 20% de los transitorios se genera fuera de las instalaciones, mientras que el 80% se origina dentro de las mismas.

Entre las fuentes externas podemos mencionar el impacto directo de un rayo, que produce daños en forma inmediata, o el efecto indirecto de Sobre-tensiones atmosféricas por inducción en líneas, que siguen la trayectoria de menor impedancia y pueden afectar el servicio en nuestras instalaciones.

Los transitorios que se generan dentro de la instalación son consecuencia de la operación diaria de equipos, incluyendo desde las cargas inductivas, controles automatizados y las fuentes de alimentación no lineales, hasta la máquina copiadora, la impresora láser y el horno de microondas. Otra fuente interna es debida a la apertura de interruptores en circuitos de grandes corrientes.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Características y Origen de los Transitorios	Pág. 1/12

El término **Transitorio** es ampliamente utilizado en el análisis de las variaciones en los sistemas de potencia para denotar un evento que aparece momentáneamente.

Otra definición de uso corriente se refiere a los cambios de estado, y establece que un transitorio es "la parte del cambio en una variable que desaparece durante la transición de un estado instantáneo en la condición de operación a otro". Desafortunadamente, esta definición puede ser usada para describir cualquier situación inusual que ocurra en un sistema de potencia.

Otro término de uso común, que se considera sinónimo de transitorio, es la palabra "**surge**", que se emplea en las distribuidoras de energía para describir el transitorio resultante de las descargas atmosféricas; de allí surgió el término "**surge arrester**" para describir a los supresores de transitorios. No obstante, debido a que existen muchas ambigüedades potenciales con este término es conveniente evitar su empleo, a menos que se aclare específicamente a que nos estamos refiriendo.

Un estudio de la General Electric determinó que un 20% de los transitorios se genera fuera de las instalaciones, mientras que el 80% se origina dentro de las mismas.

Entre las fuentes externas podemos mencionar el impacto directo de un rayo, que produce daños en forma inmediata, o el efecto indirecto de Sobre-tensiones atmosféricas por inducción en líneas, que siguen la trayectoria de menor impedancia y pueden afectar el servicio en nuestras instalaciones.

Los transitorios que se generan dentro de la instalación son consecuencia de la operación diaria de equipos, incluyendo desde las cargas inductivas, controles automatizados y las fuentes de alimentación no lineales, hasta la máquina copiadora, la impresora láser y el horno de microondas. Otra fuente interna es debida a la apertura de interruptores en circuitos de grandes corrientes.

Transitorios	Cap. 3
Clasificación de Transitorios de acuerdo a su Origen	Pág. 2/12

En un sentido amplio, podemos decir que existen tres tipos básicos de Transitorios:

- Transitorios por Conmutación.
- Transitorios por Descargas Atmosféricas.
- Transitorios por Descargas electrostáticas.

Transitorios por conmutación:

Generalmente son debidos a la desconexión de una inductancia. Como el campo magnético del inductor colapsa, la energía almacenada es liberada, causando un pico de tensión que intenta mantener el flujo de corriente. Esto generalmente ocasiona que se peguen los contactos de relés resultando un transitorio explosivo. Tal suceso ocurre en el sistema de distribución de potencia cuando se desconecta la carga, se maniobra el banco de capacitores o sale de servicio una línea.

Transitorios similares a pesar de ser de mucha menor energía, se puede detectar cuando se maniobra en redes, solenoides o transformadores en todas las aplicaciones.

Este tipo de transitorios tiene una forma de onda amortiguada como la siguiente Figura 3.1:

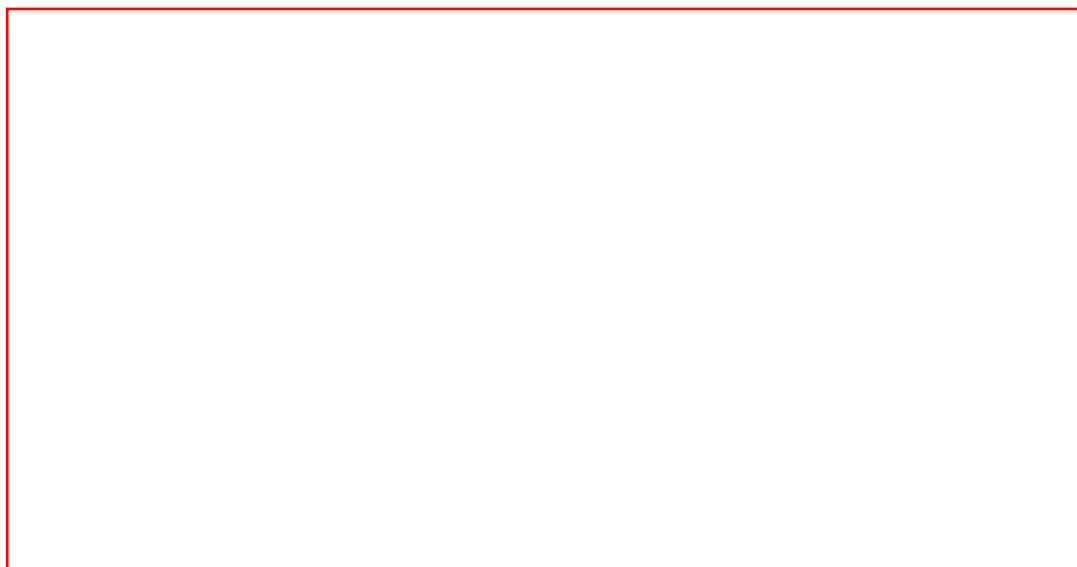


Figura 3.1

Transitorios por descargas atmosféricas:

Un rayo cercano a objetos sobre tierra o entre nubes produce campos electromagnéticos que pueden inducir tensiones en los conductores de circuitos primarios y secundarios. La caída directa de rayos sobre cables de alta tensión inyecta corrientes en circuitos primarios induciendo Sobre Tensiones.

En la Figura 3.2 se observa un Transitorio de este tipo, caracterizado por el Tiempo de Subida (T1) en que llega al Pico de Tensión y el Tiempo en que decae hasta el 50% de su Valor Pico (T2):



Figura 3.2

Transitorios por descargas electrostáticas:

Son los que se producen cuando un elemento esta electrostáticamente mas cargado que otro, y ambos se ponen en contacto. En este momento se produce una descarga que puede dañar o degradar los microchips. El cuerpo humano puede llegar a cargarse hasta 15KV electrostáticamente, y puede darse el caso de cargas menores en tiempo considerablemente mayores.

Transitorios	Cap. 3
Clasificación de los Transitorios de acuerdo a su ocurrencia	Pág. 3/12

Considerando la frecuencia de ocurrencia los Transitorios se pueden clasificar en:

- Transitorios repetitivos
- Transitorios al azar.

Transitorios repetitivos:

El cambio repentino de las condiciones eléctricas en cualquier circuito, ocasionará la generación de transitorios de tensión, a partir de la energía acumulada en la inductancia y capacitancia del circuito. Es este efecto que acontece en la mayoría de las Sobre Tensiones y/o Sobre Corrientes de transitorios inducidos durante el encendido y apagado.

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

1. Cuando se energiza el primario de un transformador:

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

Un transformador de distribución de potencia puede acoplar transitorios de alta velocidad de onda, no mediante su relación de espiras sino a través de su elevada y constante capacitancia entre devanados del primario al secundario. Consecuentemente, un transformador de 13,8 kV. a 240 V. que recibe en su primario el impacto de un transitorio de 50 kV. libera un pico de 8,3 kV. en el lado de Baja Tensión, lo cual representa casi 35 veces su tensión nominal.

En la práctica, la gran mayoría de los tendidos eléctricos limitarán el transitorio a un valor de entre 2500 y 6000 V. debido a los aislamientos, al espacio entre los propios conductores, etc. Sin embargo, transitorios de este orden son suficientemente grandes para ocasionar daños muy severos en cualquier equipo.

2. Al desconectar el primario de un transformador:

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

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

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

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

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

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

Transitorios al azar:

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

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

Para evaluar estos transitorios se recurre a estudios estadísticos, pero aunque se ha recopilado una gran cantidad de información desprendida de numerosos monitoreos realizados, aún nadie puede declarar que en tal o cual sistema existe una “X” probabilidad de que se presente un transitorio por Sobre Tensión de “Y” amplitud. Por lo tanto, se suele calcular una situación promedio que sirve de referencia, pero que puede llegar a presentar desviaciones importantes.

Transitorios	Cap.3
Forma de Onda de los Transitorios	Pág. 4/12

La simulación o la representación de Transitorios típicos permite:

- Servir de guía para los diseñadores.
- Ofrecer formas de onda y niveles de tensión normalizados para clasificar los equipos supresores de Transitorios.
- Especificar métodos de ensayo para verificar los niveles de protección de los equipos.

Los ensayos de formas de onda de Transitorios conforman la siguiente convención:

Tiempo de Crecimiento / Duración hasta que decrecen al 50% de su valor de pico.

Por ejemplo la onda 8/20 microsegundos tiene un tiempo de crecimiento de 8 microsegundos y toman 20 microsegundos para llegar al 50% del valor de pico en su cola (Figura 3.3).

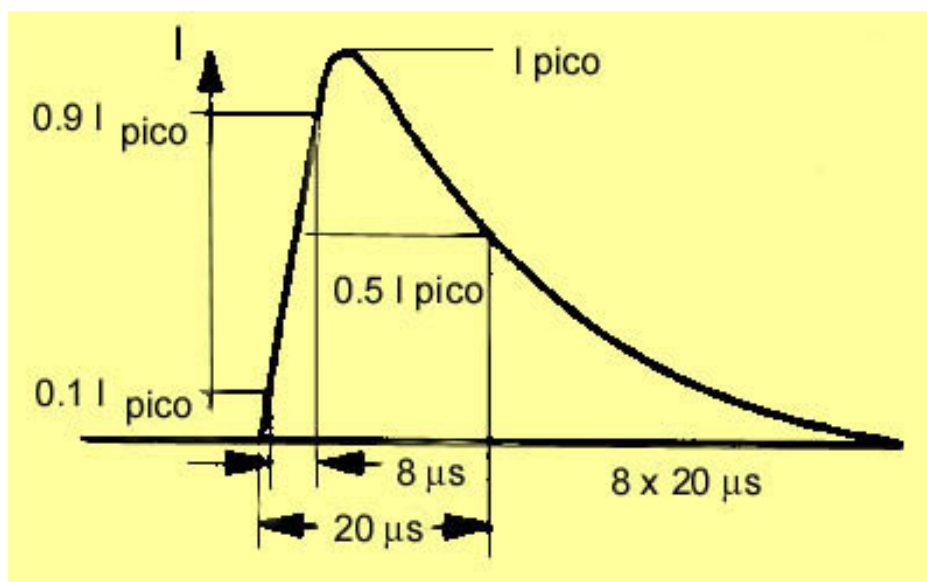


Figura 3.3

Aplicaciones a Líneas de CA:

La más conocida y utilizada forma de onda es la “Onda Combinada”, formada por una onda de tensión de 1,2 / 50 microsegundos en la apertura de un circuito, y una onda de corriente 8 / 20 microsegundos. Esta onda combinada es una simulación de una descarga de rayo sobre líneas de transmisión o de distribución. Esta forma de onda es normalizada y esta incluida en ANSI C62/41, UL 1449, CECC 42000 e IEC1000-4-5. La onda de corriente 8 / 20 microsegundos es utilizada como norma para definir las características de los varistores y otros componentes de supresión. Otra onda definida para transitorios en líneas de c.a. es la “Onda Amortiguada”. Esta oscilación tiene un crecimiento de 0,5 microsegundos y una frecuencia de 100 khz, con un factor de decaimiento de 0,6 durante cada medio ciclo. Está definida en ANSI C62.41 y otras normas.

El transitorio rápido explosivo (EFT) representa el tipo de transitorio explosivo, que puede ocurrir debido a la maniobra de cargas inductivas o rebote de contacto en un relé. El pulso definido es una serie de pulsos que individualmente toman la característica de una onda 5/50 nanosegundos. La explosión dura alrededor de 15 milisegundos y se repite cada 300 milisegundos, estando normalizado el rango de repetición. Las normas para EFT están definidas en IEC 1000-4-4 (similar a la IEC801-4).

Aplicaciones en Telecomunicaciones:

Las formas de onda especificadas en telecomunicaciones siguen la misma convención que las 8/20

microsegundos, pero tienen normalmente una mayor duración. Los más comunes pulsos son la 10/100 microsegundos (onda de corriente), que se origina en mediciones de transitorios de Sobre Tensión en líneas de telefonía durante tormentas eléctricas.

Otra onda típica en telecomunicaciones es la 10/700 microsegundos (onda de tensión) que está especificada en la norma CCITT recomendación K17 para ensayos de protección contra Sobre Tensiones en estaciones repetidoras. Otras formas de onda son la 0.5/700 microsegundos y la 100/700 microsegundos, ambas ondas de tensión.

Aplicaciones en problemas de tipo electromagnético:

Con el desarrollo de las técnicas digitales y teléfonos celulares, los requerimientos respecto a transitorios se han expandido de las tradicionales formas de onda hasta incluir la 8/20 microsegundos, y lo más importante en teléfonos celulares, los transitorios de tipo electromagnético, denominados con la sigla ESD.

Se han desarrollado modelos humanos para simulación de descargas electrostáticas. El más popular de ellos es la IEC1000-4-2 (igual que 801-2) que define 2 ensayos.

Uno es la descarga de aire que simula un evento ESD real pero tiene una pobre repetición. El segundo es una descarga de contacto que tiene una predecible descarga de onda corriente. Notar el muy bajo tiempo de subida del impulso inicial que es atribuido a una descarga a través de, de por ejemplo, un destornillador.

Transitorios	Cap. 3
Protección contra Transitorios	Pág. 5/12

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

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

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

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

Tanto en las normas IRAM como en otras normativas internacionales (ANSI / IEEE C 26.41, la IEC 664 o las Euronormas) definen la severidad de las exposiciones a transitorios por categorías, de acuerdo a su ubicación relativa en los edificios (Figura 3.4).

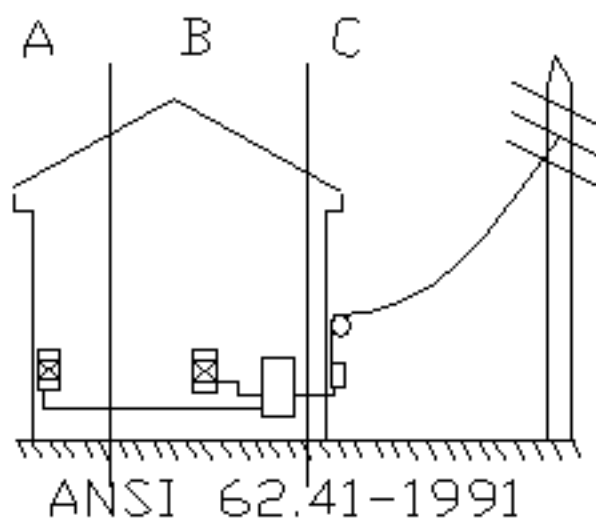


Figura 3.4

La elección de los dispositivos supresores se realizará sobre la base de estas categorías.

Las principales ventajas de instalar un dispositivo Supresor de Transitorios son:

- Los interruptores no se disparan sin causa aparente.
- Se evitan fallas en el funcionamiento de los microprocesadores.
- No se arruinarán los circuitos electrónicos sin explicación.
- Los motores no perderán velocidad durante su funcionamiento.

- Mejorará la expectativa de vida de los equipos.
- Disminuirán los problemas de arranques de tubos fluorescentes.
- Se evitará el problema de pérdida de memoria en computadoras o PLC durante su funcionamiento.
- Los relés de tiempo y medidores no darán lecturas incorrectas.
- Disminuirá el recambio de contactores, tubos fluorescentes, balastos, etc.
- Disminuirán los tiempos muertos y lucros cesantes por equipos fuera de servicio.
- No se observarán equipos destruidos ni dañados en el caso de intromisión en la red de una descargas atmosféricas.

Transitorios	Cap.3
Variaciones de Tensión	Pág. 6/12

Esta categoría comprende a las denominadas:

- Disminuciones de Tensión o Baja Tensión (*sags*)
- Incrementos de Tensión o Sobre Tensión (*swells*)
- Pérdidas Completa de Tensión (*interruptions*)

A su vez, y de acuerdo a la duración de las mismas, estas variaciones pueden ser:

- Microcortes o **Instantáneas**.
- De **Corta Duración** o **Momentáneas**, si no exceden de 1 minuto.
- De **Larga Duración** o **Temporarias**, cuando exceden de 1 minuto.

Las más comunes son las variaciones de tensión de corta duración, que están causadas por condiciones de falla, por la energización de cargas que requieran corrientes de arranque importantes o por pérdidas intermitentes de conexión en el cableado. En este caso, el impacto es de corta duración ya que es el período que transcurre desde que se verifican las condiciones de falla hasta que actúan los dispositivos de protección.

Estos problemas suelen ser corregidos o compensados con procedimientos comunes, como ser acondicionadores de línea o alimentadores de energía ininterrumpibles (UPS). En los casos donde se debe garantizar la continuidad del suministro puede ser necesario el empleo de generadores de reserva.

Problemas de Potencia	Cap. 2
Baja-tensiones	Pág. 7/12

Se define como **Baja-tensión (sag)** a una disminución de entre el 10 y el 90% en los valores de tensión o corriente RMS, a la frecuencia de la red. Tal como se mencionó precedentemente, pueden ser **Instantáneas**, **Momentáneas** o **Temporarias**.

Cuando no se especifica otra cosa, una Baja-tensión de 20% debe considerarse como un evento durante el cual la tensión RMS decrece en un 20%, llegando a 0.8 del valor nominal. Para ser totalmente claros se debe especificar el valor base ó nominal

Las consecuencias de las Baja Tensiones dependen de las cargas a las que alimentan pudiendo ocasionar en causar perdidas de memoria y / o de datos en las computadoras y daños físicos en los motores. Esto último ocurre debido a que no tienen control sobre sus cargas (los motores deben proporcionar el torque y la velocidad requeridas por la carga que tienen conectada).

La gran mayoría de las perturbaciones tipo Bajat-tensión se pueden asociar con fallas del sistema, pero también se pueden originar por la energización de cargas importantes o por el arranque de grandes motores.

Durante el arranque, un motor de inducción toma hasta 6 veces su corriente de carga nominal. Si la magnitud de corriente es importante en relación a la corriente de cortocircuito en ese punto del sistema, la Baja-tensión puede resultar significativa. En este caso, la tensión cae inmediatamente al 20% y retorna gradualmente a la normalidad en alrededor de 3 segundos. Nótese las diferencias entre estos tiempos y las Baja-tensiones debidas a fallas en los sistemas de las distribuidoras.

Transitorios	Cap.3
Sobre-tensiones	Pág. 8/12

Se define como **Sobre-tensión (swell)** a incrementos de entre el 10 y el 80% en la tensión o en la corriente RMS, a la frecuencia de la red. También en este caso podemos clasificarlas en **Instantáneas, Momentáneas o Temporarias**.

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

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

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

En la tabla 3.1 se resumen las principales cargas susceptibles a las Sobre-tensiones:

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

Tabla 3.1

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

Transitorios	Cap. 3
Interrupciones	Pág. 9/12

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

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

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

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

Algunas interrupciones suelen ser precedidas por disminuciones temporarias de tensión.

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

Si los equipos de nuestra instalación deben permanecer en funcionamiento durante los cortes, se deben prever alimentaciones de soporte mediante Generadores de Emergencia, Baterías, o Fuentes de Energía Ininterrompible (UPS)

Transitorios	Cap.3
Desbalance de Tensiones	Pág. 10/12

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

$$\text{Desbalance} = (\text{Max. desvío del prom.} / \text{prom. de tensión de las tres fases}) \times 100$$

Por ejemplo, las tensiones fase a fase son 370, 379 y 382, promediando 377. El desvío máximo del promedio es la fase de 370 volt. El desvío entre 370 y 377 es 7 volt. El porcentaje de desbalance es:

$$\text{Desbalance} = (7 / 377) \times 100 = 1,86\%$$

Cualquier sistema de potencia, aunque esté bien balanceado, siempre tiene en sus estados instantáneos un desbalance de tensiones del 1 al 1.5 % de su tensión nominal. Esto es causado por la asimetría en la geometría de las líneas de distribución sobrecalentadas, así como por cargas desbalanceadas, tanto en clientes con grandes cargas como por varios clientes monofásicos conectados al sistema de distribución. Los reguladores de tensión de una sola fase, con control de tensión de fase a tierra, pueden agravar el problema de desbalance de tensiones a los clientes aguas abajo.

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

Un Desbalance de Tensiones del 5 por ciento es el límite máximo aceptable; valores superiores no son admisibles debido al riesgo de sobrecalentamiento de las líneas.

Las empresas de energía suelen controlar constantemente este parámetro debido a su importancia, tanto en lo que se refiere a sus propios generadores como en las cargas de sus clientes.

Transitorios	Cap.3
Fluctuaciones de Tensión - Flicker	Pág. 11/12

Las **Fluctuaciones de Tensión** son variaciones sistemáticas de tensión o series de cambios de tensión al azar, con una magnitud que normalmente no excede el 10% (en mas o en menos) de la tensión especificada. Muchas veces las Fluctuaciones de Tensión suelen denominarse Flicker, y aún en las normas estos conceptos suelen estar vinculados.

En realidad, el término **Flicker** o parpadeo es la impresión subjetiva del ojo humano respecto de la fluctuación de la luminancia, ocasionada por una serie de variaciones rápidas de tensión.

Desde un punto de vista técnico, las **Fluctuaciones de Tensión** son fenómenos electromagnéticos mientras que el *Flicker* es el resultado indeseable de las fluctuaciones de tensión en algunas cargas.

Los Flicker constituyen problemas difíciles de cuantificar y resolver; pero para que se constituyan en una molestia se debe dar la combinación de dos factores:

- 1) la fluctuación en la tensión de alimentación de los circuitos de alimentación y
- 2) la presencia de una persona que observe el cambio en la intensidad de la luz originado en la fluctuación mencionada.

El factor humano complica el tema significativamente, por lo que históricamente los Flicker se trataron como un "problema de percepción". Los Flicker son siempre función de la sensibilidad del ojo humano; normalmente variaciones por debajo del 0.5% en los valores de Tensión ocasionan parpadeos imperceptibles de las lámparas.

Dado que las desviaciones pueden o no ser estrictamente periódicas las variaciones generalmente se expresan como un cambio en el valor RMS (su relación $\Delta V/V$). También existe una interpretación similar para las variaciones de la intensidad de la luz. Es decir que la señal de un *flicker* se define por su magnitud RMS expresada como un % de la fundamental.

Las Variaciones de Tensión son fácilmente medibles con los instrumentos tradicionales; ello dio lugar a las "curvas de Flicker", que están derivadas de experimentos controlados y determinan umbrales de percepción y / o de irritabilidad.

Como se trata de una impresión subjetiva, se consideró una muestra específica de la población, y se denominó "Umbral de Irritabilidad" a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada por el 50% de la muestra sin molestias. El intervalo de observación se limita a 10 minutos. A ese umbral de irritabilidad se lo valora como índice 1. Este índice se denomina "Índice de Severidad del Flicker de corta duración", abreviado PST.

El "Índice de Severidad del Flicker de Larga Duración" o PLT se calcula como promedio de los índices de corta duración en los doce intervalos de 10 minutos que hay en dos horas.

Los equipos que suelen tener importantes variaciones de carga, y pueden provocar fluctuaciones de tensión son:

- máquinas de soldadura por resistencia
- grandes motores con cargas variables
- hornos de arco
- instalaciones de soldadura por arco

Transitorios	Cap. 3
Variaciones de Frecuencia	Pág. 12/12

Las **Variaciones en la Frecuencia de la red** se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema (valor nominal especificado), en nuestro país de 50 Hz.

La frecuencia del sistema de potencia está directamente relacionada a la velocidad de rotación de los generadores de alimentación del sistema. Siempre existen pequeñas variaciones en la frecuencia como resultado de un balance dinámico entre las cargas y los cambios en la generación.

La amplitud de las variaciones de frecuencia y su duración depende de la respuesta a los cambios de cargas de los sistemas de control de la generación.

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

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

Transitorios	Cap. 3
Clasificación de Transitorios de acuerdo a su Origen	Pág. 2/12

En un sentido amplio, podemos decir que existen tres tipos básicos de Transitorios:

- Transitorios por Conmutación.
- Transitorios por Descargas Atmosféricas.
- Transitorios por Descargas electrostáticas.

Transitorios por conmutación:

Generalmente son debidos a la desconexión de una inductancia. Como el campo magnético del inductor colapsa, la energía almacenada es liberada, causando un pico de tensión que intenta mantener el flujo de corriente. Esto generalmente ocasiona que se peguen los contactos de relés resultando un transitorio explosivo. Tal suceso ocurre en el sistema de distribución de potencia cuando se desconecta la carga, se maniobra el banco de capacitores o sale de servicio una línea.

Transitorios similares a pesar de ser de mucha menor energía, se puede detectar cuando se maniobra en redes, solenoides o transformadores en todas las aplicaciones.

Este tipo de transitorios tiene una forma de onda amortiguada como la siguiente Figura 3.1:

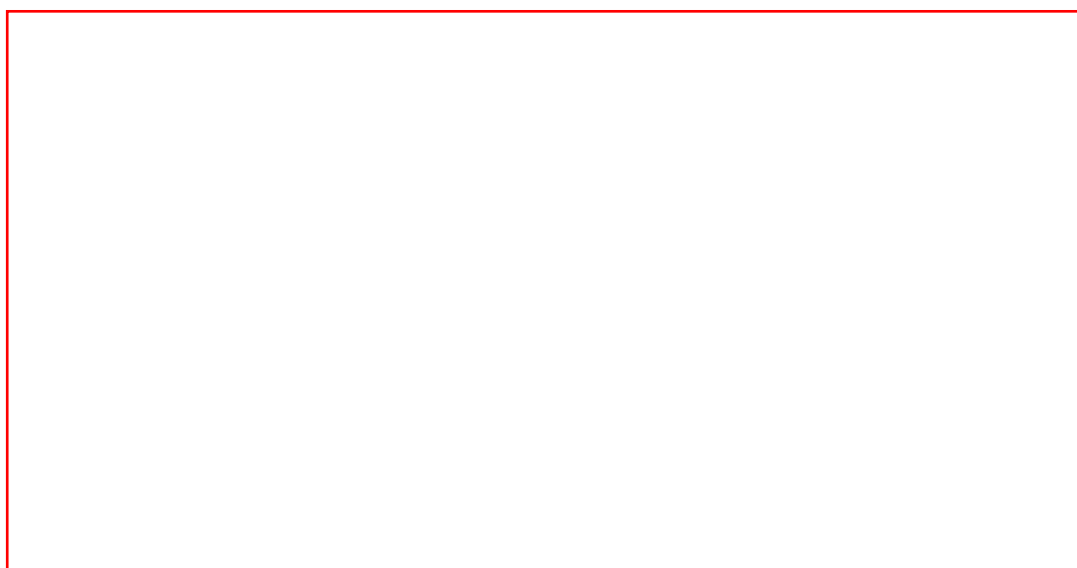


Figura 3.1

Transitorios por descargas atmosféricas:

Un rayo cercano a objetos sobre tierra o entre nubes produce campos electromagnéticos que pueden inducir tensiones en los conductores de circuitos primarios y secundarios. La caída directa de rayos sobre cables de alta tensión inyecta corrientes en circuitos primarios induciendo Sobre Tensiones.

En la Figura 3.2 se observa un Transitorio de este tipo, caracterizado por el Tiempo de Subida (T1) en que llega al Pico de Tensión y el Tiempo en que decae hasta el 50% de su Valor Pico (T2):



Figura 3.2

Transitorios por descargas electrostáticas:

Son los que se producen cuando un elemento esta electrostáticamente mas cargado que otro, y ambos se ponen en contacto. En este momento se produce una descarga que puede dañar o degradar los microchips. El cuerpo humano puede llagar a cargarse hasta 15KV electrostáticamente, y puede darse el caso de cargas menores en tiempo considerablemente mayores.

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Clasificación de los Transitorios de acuerdo a su ocurrencia	Pág. 3/12

Considerando la frecuencia de ocurrencia los Transitorios se pueden clasificar en:

- Transitorios repetitivos
- Transitorios al azar.

Transitorios repetitivos:

El cambio repentino de las condiciones eléctricas en cualquier circuito, ocasionará la generación de transitorios de tensión, a partir de la energía acumulada en la inductancia y capacitancia del circuito. Es este efecto que acontece en la mayoría de las Sobre Tensiones y/o Sobre Corrientes de transitorios inducidos durante el encendido y apagado.

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

1. Cuando se energiza el primario de un transformador:

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

Un transformador de distribución de potencia puede acoplar transitorios de alta velocidad de onda, no mediante su relación de espiras sino a través de su elevada y constante capacitancia entre devanados del primario al secundario. Consecuentemente, un transformador de 13,8 kV. a 240 V. que recibe en su primario el impacto de un transitorio de 50 kV. libera un pico de 8,3 kV. en el lado de Baja Tensión, lo cual representa casi 35 veces su tensión nominal.

En la práctica, la gran mayoría de los tendidos eléctricos limitarán el transitorio a un valor de entre 2500 y 6000 V. debido a los aislamientos, al espacio entre los propios conductores, etc. Sin embargo, transitorios de este orden son suficientemente grandes para ocasionar daños muy severos en cualquier equipo.

2. Al desconectar el primario de un transformador:

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

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

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

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

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

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

Transitorios al azar:

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

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

Para evaluar estos transitorios se recurre a estudios estadísticos, pero aunque se ha recopilado una gran cantidad de información desprendida de numerosos monitoreos realizados, aún nadie puede declarar que en tal o cual sistema existe una “X” probabilidad de que se presente un transitorio por Sobre Tensión de “Y” amplitud. Por lo tanto, se suele calcular una situación promedio que sirve de referencia, pero que puede llegar a presentar desviaciones importantes.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Forma de Onda de los Transitorios	Pág. 4/12

La simulación o la representación de Transitorios típicos permite:

- Servir de guía para los diseñadores.
- Ofrecer formas de onda y niveles de tensión normalizados para clasificar los equipos supresores de Transitorios.
- Especificar métodos de ensayo para verificar los niveles de protección de los equipos.

Los ensayos de formas de onda de Transitorios conforman la siguiente convención:

Tiempo de Crecimiento / Duración hasta que decrecen al 50% de su valor de pico.

Por ejemplo la onda 8/20 microsegundos tiene un tiempo de crecimiento de 8 microsegundos y toman 20 microsegundos para llegar al 50% del valor de pico en su cola (Figura 3.3).

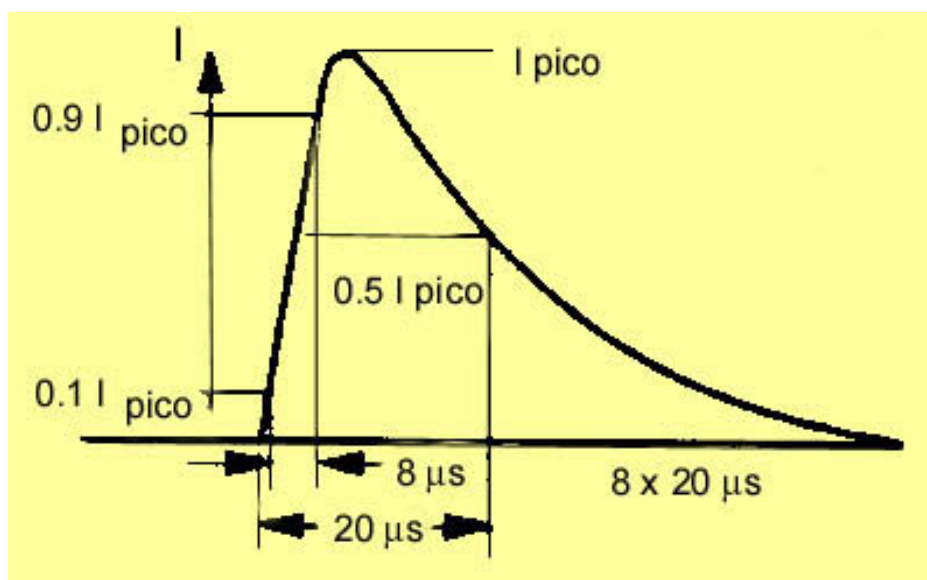


Figura 3.3

Aplicaciones a Líneas de CA:

La más conocida y utilizada forma de onda es la “Onda Combinada”, formada por una onda de tensión de 1,2 / 50 microsegundos en la apertura de un circuito, y una onda de corriente 8 / 20 microsegundos. Esta onda combinada es una simulación de una descarga de rayo sobre líneas de transmisión o de distribución. Esta forma de onda es normalizada y esta incluida en ANSI C62/41, UL 1449, CECC 42000 e IEC1000-4-5. La onda de corriente 8 / 20 microsegundos es utilizada como norma para definir las características de los varistores y otros componentes de supresión. Otra onda definida para transitorios en líneas de c.a. es la “Onda Amortiguada”. Esta oscilación tiene un crecimiento de 0,5 microsegundos y una frecuencia de 100 khz, con un factor de decaimiento de 0,6 durante cada medio ciclo. Está definida en ANSI C62.41 y otras normas.

El transitorio rápido explosivo (EFT) representa el tipo de transitorio explosivo, que puede ocurrir debido a la maniobra de cargas inductivas o rebote de contacto en un relé. El pulso definido es una serie de pulsos que individualmente toman la característica de una onda 5/50 nanosegundos. La explosión dura alrededor de 15 milisegundos y se repite cada 300 milisegundos, estando normalizado el rango de repetición. Las normas para EFT están definidas en IEC 1000-4-4 (similar a la IEC801-4).

Aplicaciones en Telecomunicaciones:

Las formas de onda especificadas en telecomunicaciones siguen la misma convención que las 8/20 microsegundos, pero tienen normalmente una mayor duración. Los más comunes pulsos son la

10/100 microsegundos (onda de corriente), que se origina en mediciones de transitorios de Sobre Tensión en líneas de telefonía durante tormentas eléctricas.

Otra onda típica en telecomunicaciones es la 10/700 microsegundos (onda de tensión) que está especificada en la norma CCITT recomendación K17 para ensayos de protección contra Sobre Tensiones en estaciones repetidoras. Otras formas de onda son la 0.5/700 microsegundos y la 100/700 microsegundos, ambas ondas de tensión.

Aplicaciones en problemas de tipo electromagnético:

Con el desarrollo de las técnicas digitales y teléfonos celulares, los requerimientos respecto a transitorios se han expandido de las tradicionales formas de onda hasta incluir la 8/20 microsegundos, y lo más importante en teléfonos celulares, los transitorios de tipo electromagnético, denominados con la sigla ESD.

Se han desarrollado modelos humanos para simulación de descargas electrostáticas. El más popular de ellos es la IEC1000-4-2 (igual que 801-2) que define 2 ensayos.

Uno es la descarga de aire que simula un evento ESD real pero tiene una pobre repetición. El segundo es una descarga de contacto que tiene una predecible descarga de onda corriente. Notar el muy bajo tiempo de subida del impulso inicial que es atribuido a una descarga a través de, de por ejemplo, un destornillador.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap. 3
Protección contra Transitorios	Pág. 5/12

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

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

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

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

Tanto en las normas IRAM como en otras normativas internacionales (ANSI / IEEE C 26.41, la IEC 664 o las Euronormas) definen la severidad de las exposiciones a transitorios por categorías, de acuerdo a su ubicación relativa en los edificios (Figura 3.4).

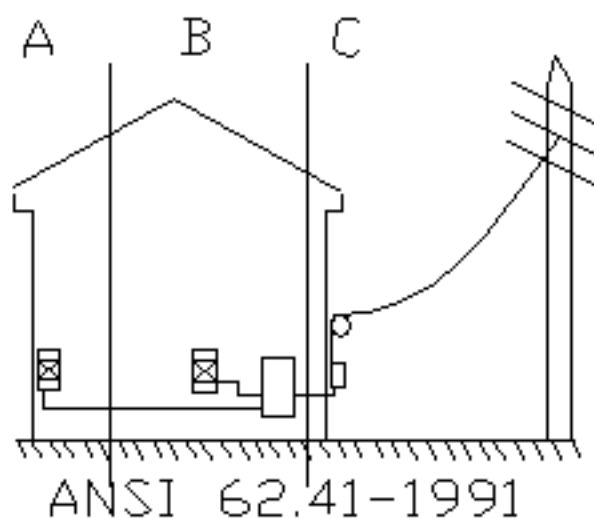


Figura 3.4

La elección de los dispositivos supresores se realizará sobre la base de estas categorías.

Las principales ventajas de instalar un dispositivo Supresor de Transitorios son:

- Los interruptores no se disparan sin causa aparente.
- Se evitan fallas en el funcionamiento de los microprocesadores.
- No se arruinarán los circuitos electrónicos sin explicación.
- Los motores no perderán velocidad durante su funcionamiento.
- Mejorará la expectativa de vida de los equipos.

- Disminuirán los problemas de arranques de tubos fluorescentes.
- Se evitará el problema de pérdida de memoria en computadoras o PLC durante su funcionamiento.
- Los relés de tiempo y medidores no darán lecturas incorrectas.
- Disminuirá el recambio de contactores, tubos fluorescentes, balastos, etc.
- Disminuirán los tiempos muertos y lucros cesantes por equipos fuera de servicio.
- No se observarán equipos destruidos ni dañados en el caso de intromisión en la red de una descargas atmosféricas.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Variaciones de Tensión	Pág. 6/12

Esta categoría comprende a las denominadas:

- Disminuciones de Tensión o Baja Tensión (*sags*)
- Incrementos de Tensión o Sobre Tensión (*swells*)
- Pérdidas Completa de Tensión (*interruptions*)

A su vez, y de acuerdo a la duración de las mismas, estas variaciones pueden ser:

- Microcortes o **Instantáneas**.
- De **Corta Duración** o **Momentáneas**, si no exceden de 1 minuto.
- De **Larga Duración** o **Temporarias**, cuando exceden de 1 minuto.

Las más comunes son las variaciones de tensión de corta duración, que están causadas por condiciones de falla, por la energización de cargas que requieran corrientes de arranque importantes o por pérdidas intermitentes de conexiónado en el cableado. En este caso, el impacto es de corta duración ya que es el período que transcurre desde que se verifican las condiciones de falla hasta que actúan los dispositivos de protección.

Estos problemas suelen ser corregidos o compensados con procedimientos comunes, como ser acondicionadores de línea o alimentadores de energía ininterrumpibles (UPS). En los casos donde se debe garantizar la continuidad del suministro puede ser necesario el empleo de generadores de reserva.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Problemas de Potencia	Cap. 2
Baja-tensiones	Pág. 7/12

Se define como **Baja-tensión (sag)** a una disminución de entre el 10 y el 90% en los valores de tensión o corriente RMS, a la frecuencia de la red. Tal como se mencionó precedentemente, pueden ser **Instantáneas**, **Momentáneas** o **Temporarias**.

Cuando no se especifica otra cosa, una Baja-tensión de 20% debe considerarse como un evento durante el cual la tensión RMS decrece en un 20%, llegando a 0.8 del valor nominal. Para ser totalmente claros se debe especificar el valor base ó nominal

Las consecuencias de las Baja Tensiones dependen de las cargas a las que alimentan pudiendo ocasionar en causar perdidas de memoria y / o de datos en las computadoras y daños físicos en los motores. Esto último ocurre debido a que no tienen control sobre sus cargas (los motores deben proporcionar el torque y la velocidad requeridas por la carga que tienen conectada).

La gran mayoría de las perturbaciones tipo Bajat-tensión se pueden asociar con fallas del sistema, pero también se pueden originar por la energización de cargas importantes o por el arranque de grandes motores.

Durante el arranque, un motor de inducción toma hasta 6 veces su corriente de carga nominal. Si la magnitud de corriente es importante en relación a la corriente de cortocircuito en ese punto del sistema, la Baja-tensión puede resultar significativa. En este caso, la tensión cae inmediatamente al 20% y retorna gradualmente a la normalidad en alrededor de 3 segundos. Nótese las diferencias entre estos tiempos y las Baja-tensiones debidas a fallas en los sistemas de las distribuidoras.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Sobre-tensiones	Pág. 8/12

Se define como **Sobre-tensión (swell)** a incrementos de entre el 10 y el 80% en la tensión o en la corriente RMS, a la frecuencia de la red. También en este caso podemos clasificarlas en **Instantáneas, Momentáneas o Temporarias**.

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

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

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

En la tabla 3.1 se resumen las principales cargas susceptibles a las Sobre-tensiones:

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

Tabla 3.1

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

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Interrupciones	Pág. 9/12

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

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

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

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

Algunas interrupciones suelen ser precedidas por disminuciones temporarias de tensión.

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

Si los equipos de nuestra instalación deben permanecer en funcionamiento durante los cortes, se deben prever alimentaciones de soporte mediante Generadores de Emergencia, Baterías, o Fuentes de Energía Ininterrumpible (UPS)

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Desbalance de Tensiones	Pág. 10/12

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

$$\text{Desbalance} = (\text{Max. desvío del prom.} / \text{prom. de tensión de las tres fases}) \times 100$$

Por ejemplo, las tensiones fase a fase son 370, 379 y 382, promediando 377. El desvío máximo del promedio es la fase de 370 volt. El desvío entre 370 y 377 es 7 volt. El porcentaje de desbalance es:

$$\text{Desbalance} = (7 / 377) \times 100 = 1,86\%$$

Cualquier sistema de potencia, aunque esté bien balanceado, siempre tiene en sus estados instantáneos un desbalance de tensiones del 1 al 1.5 % de su tensión nominal. Esto es causado por la asimetría en la geometría de las líneas de distribución sobrecalentadas, así como por cargas desbalanceadas, tanto en clientes con grandes cargas como por varios clientes monofásicos conectados al sistema de distribución. Los reguladores de tensión de una sola fase, con control de tensión de fase a tierra, pueden agravar el problema de desbalance de tensiones a los clientes aguas abajo.

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

Un Desbalance de Tensiones del 5 por ciento es el límite máximo aceptable; valores superiores no son admisibles debido al riesgo de sobrecalentamiento de las líneas.

Las empresas de energía suelen controlar constantemente este parámetro debido a su importancia, tanto en lo que se refiere a sus propios generadores como en las cargas de sus clientes.

menú	índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
----------------------	------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap.3
Fluctuaciones de Tensión - Flicker	Pág. 11/12

Las **Fluctuaciones de Tensión** son variaciones sistemáticas de tensión o series de cambios de tensión al azar, con una magnitud que normalmente no excede el 10% (en mas o en menos) de la tensión especificada. Muchas veces las Fluctuaciones de Tensión suelen denominarse Flicker, y aún en las normas estos conceptos suelen estar vinculados.

En realidad, el término **Flicker** o parpadeo es la impresión subjetiva del ojo humano respecto de la fluctuación de la luminancia, ocasionada por una serie de variaciones rápidas de tensión.

Desde un punto de vista técnico, las **Fluctuaciones de Tensión** son fenómenos electromagnéticos mientras que el **Flicker** es el resultado indeseable de las fluctuaciones de tensión en algunas cargas.

Los Flicker constituyen problemas difíciles de cuantificar y resolver; pero para que se constituyan en una molestia se debe dar la combinación de dos factores:

- 1) la fluctuación en la tensión de alimentación de los circuitos de alimentación y
- 2) la presencia de una persona que observe el cambio en la intensidad de la luz originado en la fluctuación mencionada.

El factor humano complica el tema significativamente, por lo que históricamente los Flicker se trataron como un "problema de percepción". Los Flicker son siempre función de la sensibilidad del ojo humano; normalmente variaciones por debajo del 0.5% en los valores de Tensión ocasionan parpadeos imperceptibles de las lámparas.

Dado que las desviaciones pueden o no ser estrictamente periódicas las variaciones generalmente se expresan como un cambio en el valor RMS (su relación $\Delta V/V$). También existe una interpretación similar para las variaciones de la intensidad de la luz. Es decir que la señal de un *flicker* se define por su magnitud RMS expresada como un % de la fundamental.

Las Variaciones de Tensión son fácilmente medibles con los instrumentos tradicionales; ello dio lugar a las "curvas de Flicker", que están derivadas de experimentos controlados y determinan umbrales de percepción y / o de irritabilidad.

Como se trata de una impresión subjetiva, se consideró una muestra específica de la población, y se denominó "Umbral de Irritabilidad" a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada por el 50% de la muestra sin molestias. El intervalo de observación se limita a 10 minutos. A ese umbral de irritabilidad se lo valora como índice 1. Este índice se denomina "Índice de Severidad del Flicker de corta duración", abreviado PST.

El "Índice de Severidad del Flicker de Larga Duración" o PLT se calcula como promedio de los índices de corta duración en los doce intervalos de 10 minutos que hay en dos horas.

Los equipos que suelen tener importantes variaciones de carga, y pueden provocar fluctuaciones de tensión son:

- máquinas de soldadura por resistencia
- grandes motores con cargas variables
- hornos de arco
- instalaciones de soldadura por arco

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transitorios	Cap. 3
Variaciones de Frecuencia	Pág. 12/12

Las **Variaciones en la Frecuencia de la red** se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema (valor nominal especificado), en nuestro país de 50 Hz.

La frecuencia del sistema de potencia está directamente relacionada a la velocidad de rotación de los generadores de alimentación del sistema. Siempre existen pequeñas variaciones en la frecuencia como resultado de un balance dinámico entre las cargas y los cambios en la generación.

La amplitud de las variaciones de frecuencia y su duración depende de la respuesta a los cambios de cargas de los sistemas de control de la generación.

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

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

<i>menú</i>	<i>índice</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-------------	---------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Se entiende por puesta a tierra la vinculación intencional de un conductor a tierra. Si esa unión se realiza sin interposición de impedancia (o resistencia) alguna, decimos que es una puesta a tierra directa, en caso contrario sería una vinculación indirecta.

El poner a tierra un sistema eléctrico tiene por objetivo, según lo indica la Norma IRAM 2281, proteger la vida humana y animal, los bienes y los sistemas eléctricos.

La importancia de la puesta a tierra en instalaciones domiciliarias, radica en la seguridad contra tensiones peligrosas para las personas por contactos indirectos. Las protecciones eléctricas deben, en estos casos de fallas, actuar desconectando la alimentación en tiempos que estén vinculados a los efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano.

Cuando una persona forma parte de un camino eléctrico recibe un shock eléctrico (Figura 2.1). La intensidad y el daño originados por el shock están determinados por el nivel de corriente, la duración de la descarga y el camino que sigue la misma a lo largo del cuerpo. En este caso, como se ve en la figura siguiente, la persona forma parte de un circuito en serie y ocurre, por ejemplo, cuando las personas toman contacto con un dispositivo que presente una falla.

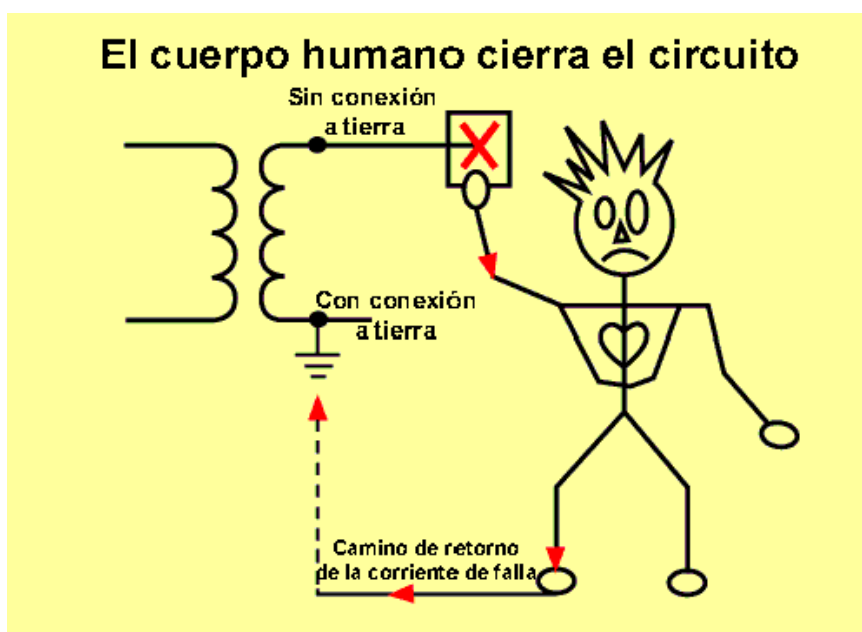


Figura 2.1

En un circuito en paralelo, como aquellos en que el dispositivo con falla tiene conexión a tierra, además de la persona existe otro camino para la corriente (Figura 2.2). En este caso, una parte mínima de la falla a tierra fluye a través de las personas, pero en una magnitud suficiente como para hacer actuar a las protecciones.

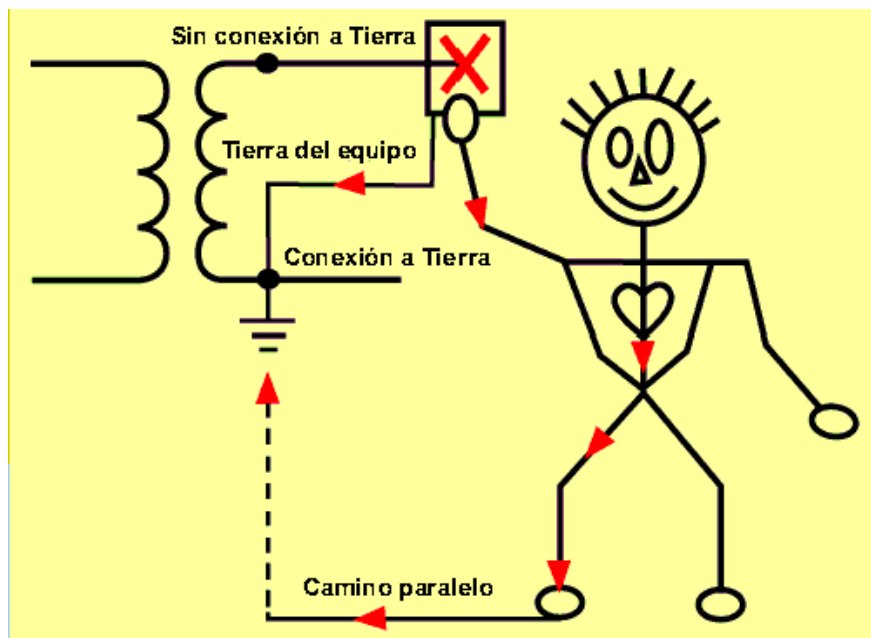


Figura 2.2

[menú](#)

[índice](#)

[1](#)

[2](#)

[3](#)

[4](#)

[5](#)

[6](#)

[7](#)

[8](#)

[9](#)

[10](#)

[11](#)

[12](#)

[13](#)

[14](#)

[15](#)