

CALIDAD DE ENERGÍA EN SD

CALIDAD DE ENERGÍA



Las expresiones “calidad de potencia”, “calidad de energía eléctrica” o PQ se asocian a la forma de onda en las líneas de distribución del sistema eléctrico de energía que alimenta los dispositivos en sectores residenciales, comerciales e industriales .

Cuando dicha onda, generalmente sinusoidal, se deforma, genera efectos indeseados tanto en los dispositivos conectados al mismo punto de conexión común (PCC) que la fuente de perturbación, como en los sistemas que dependen de éstos dispositivos: sistemas de control, protección o producción

CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS DE TENSIÓN Y CORRIENTE

Las ondas de tensión y corriente están definidas por las siguientes características principales:

Número de Fases. La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.

Amplitud de la onda: la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda senoide.

- El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta".
- El valor máximo negativo, "vientre o valle".
- El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".

Frecuencia de la onda: La frecuencia (f) del movimiento ondulatorio se define como el número de oscilaciones completas o ciclos por segundo ($f=1/T$). Forma de la onda.

FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS

Según la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995 los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos:

- Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.
- Deformaciones en la forma de onda.

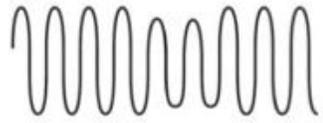
Tabla 1. Clasificación y Características Típicas de los Fenómenos Electromagnéticos

CATEGORÍAS	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE VOLTAJE
TRANSIENTES			
IMPULSIVOS			
Nanosegundos	5 ns rise	< 50 ns	
Microsegundos	1 μ s rise	50 ns - 1 ms	
Milisegundos	0.1 ms rise	> 1 ms	
OSCILATORIOS			
Baja Frecuencia	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
Media Frecuencia	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
Alta Frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN			
INSTANTÁNEAS			
Sag (Valles)		0.5 - 30 cycles	0.1 - 0.9 pu
Swell (Crestas)		0.5 - 30 cycles	1.1 - 1.8 pu
MOMENTÁNEAS			
Interrupciones		0.5 cycles - 3 s	< 0.1 pu
Sag (Valles)		30 cycles - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Swell (Crestas)		30 cycles - 3 s	1.1 - 1.4 pu

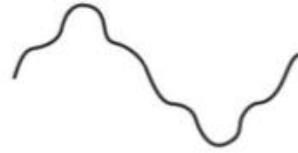
Cont.

CATEGORÍAS	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE VOLTAJE
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN			
TEMPORALES			
Interrupciones		3 s - 1 min	< 0.1 pu
Sag (Valles)		3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
Swell (Crestas)		3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN			
Interrupciones sostenidas		> 1 min	0.0 pu
Bajo Voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
Sobrevoltajes		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
Desbalance de Voltaje		Estado Estable	0.5 - 2%
DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA			
Desplazamiento de C.D.		Estado Estable	0 - 0.1%
Armónicos	0 - 100th H	Estado Estable	0 - 20%
Interarmónicos	0 - 6 kHz	Estado Estable	0 - 2%
Hendiduras		Estado Estable	
Ruidos	Banda - ancha	Estado Estable	0 - 1%
FLUCTUACIONES	< 25 Hz	intermitente	0.1 - 7%
VARIACIONES DE FRECUENCIA		< 10 s	

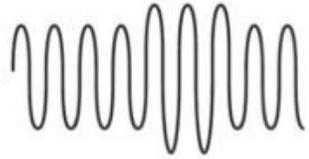
Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995



Sag



Distorsión armónica



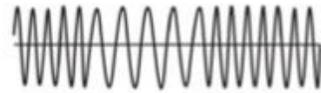
Swell



Ruido eléctrico



Interrupción del suministro



Variaciones de frecuencia



Transitorios



Variaciones de voltaje de larga duración

TRANSITORIOS DE VOLTAJE

Los transitorios de voltaje son variaciones rápidas asociadas con las maniobras de interruptores, fallas o sobre-voltajes inducidos debido a las descargas eléctricas atmosféricas.

Los transitorios de voltaje a diferencia de las variaciones lentas y rápidas de voltaje, no conservan la frecuencia fundamental, son señales de alta frecuencia, generalmente presentan sobre-voltajes de valores considerables que ponen a prueba la rigidez dieléctrica de los aislamientos de los equipos e instalaciones eléctricas.

Los transitorios se pueden clasificar dentro de dos categorías:

- Impulsivos

- Oscilatorios

Transitorios impulsivos

Un transitorio impulsivo es un cambio súbito a diferente frecuencia de la fundamental, en estado estacionario, de voltaje o corriente y es unidireccional en polaridad (principalmente positivo o negativo).

Los transitorios impulsivos son a menudo caracterizados por sus tiempos de elevación y decaimiento, que pueden ser descritos por su contenido espectral. Por ejemplo, un transitorio impulsivo de 1.2 x 50-ms 2000 V, nominalmente se eleva desde cero a su valor pico de 2,000 V en 1.2 ms y entonces decae a la mitad de su valor pico en 50-ms. La causa más común de transitorios impulsivos son las descargas eléctricas atmosféricas.

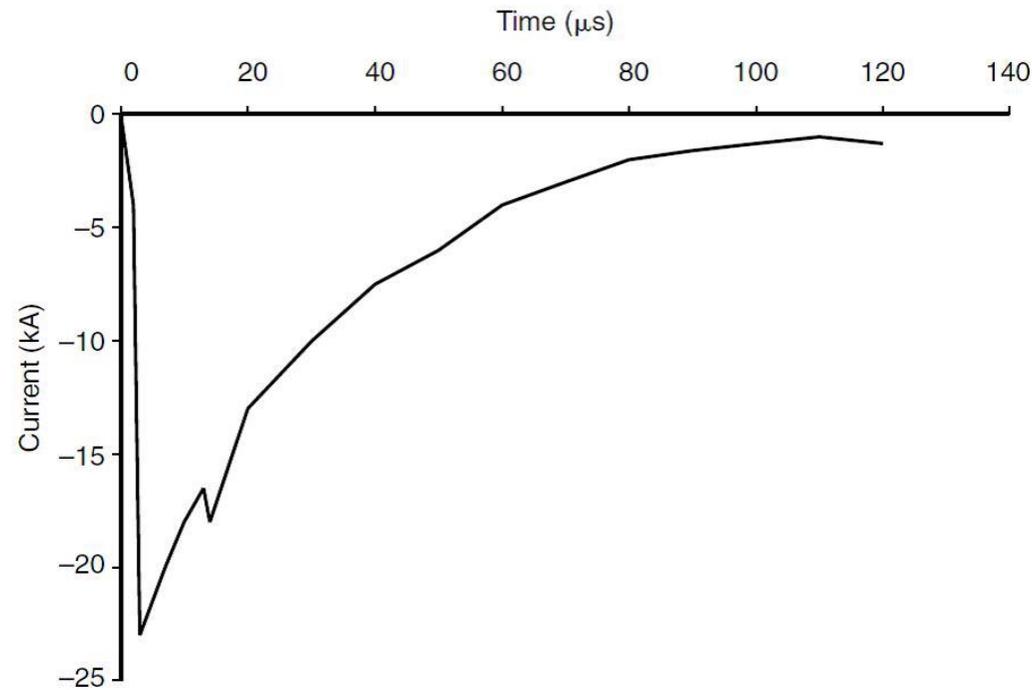


Figura. Transitorio impulsivo de corriente por golpe de descarga eléctrica atmosférica. Fuente <https://ingenieriainternacional.wordpress.com/ingenieria-internacional-e-informatica-2/%C2%BFsabias-que/calidad-de-energia/>

Transitorios oscilatorios

Un transitorio oscilatorio es un cambio súbito a diferente frecuencia de la fundamental, en la condición de estado estacionario de voltaje o corriente o ambos que incluye tanto valores de polaridad negativos como positivos.

Un transitorio oscilatorio consiste de un voltaje o una corriente, cuyo valor instantáneo cambia rápidamente de polaridad. Se describe por su contenido espectral (frecuencia predominante), duración y magnitud.

La selección de los rangos de frecuencia de esta clasificación es para que coincidan con los tipos comunes de fenómenos transitorios oscilatorios en las redes eléctricas.

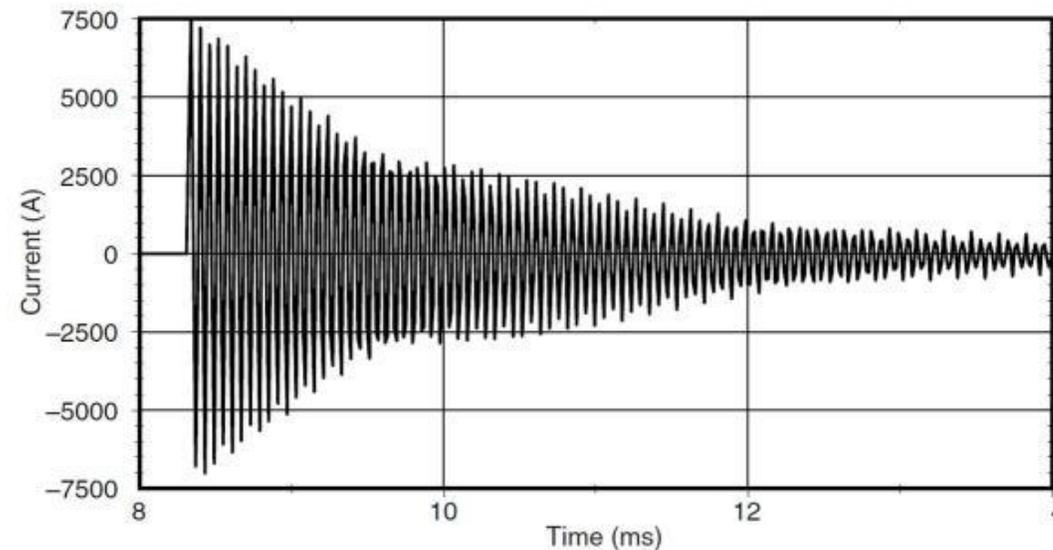


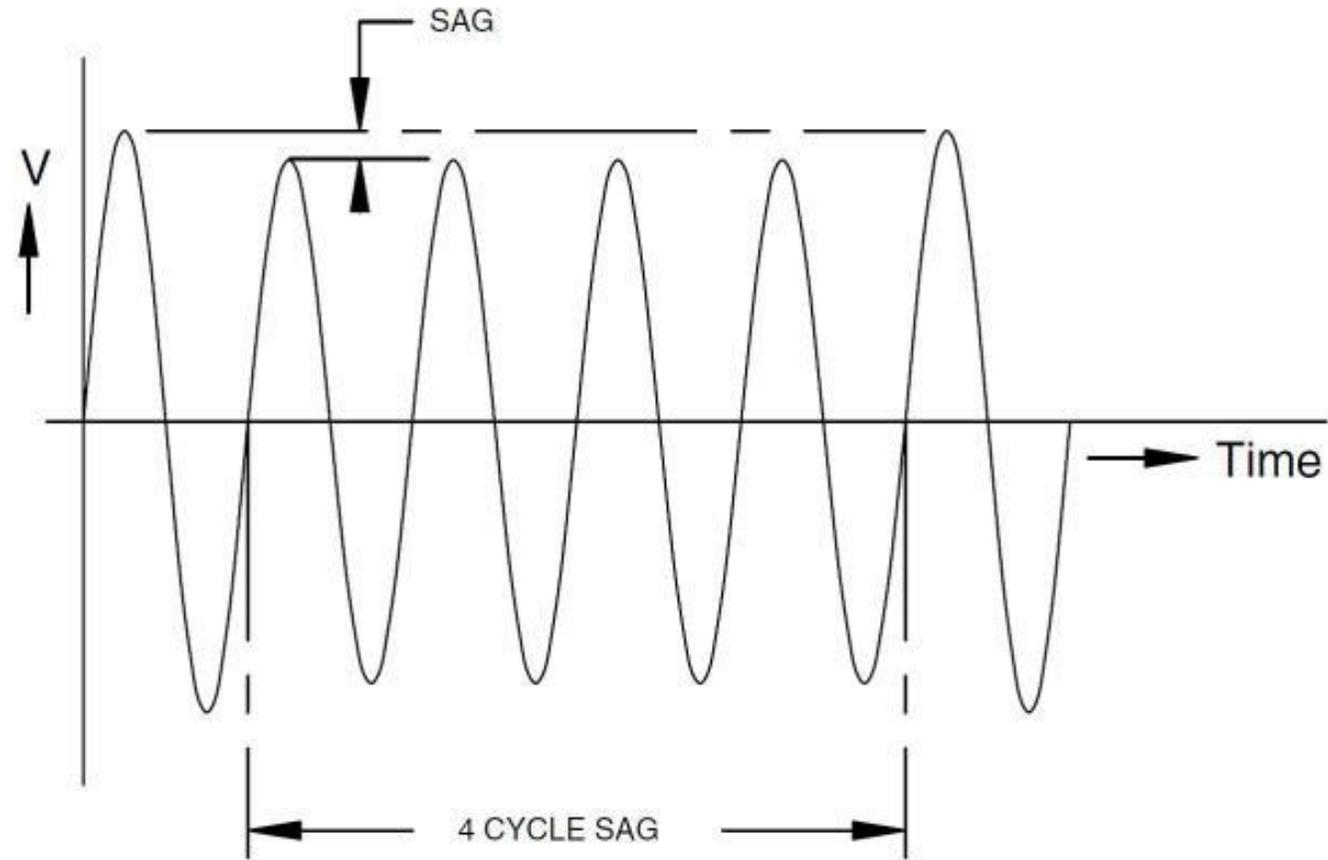
Figura. Corriente transitoria oscilatoria causada por la maniobra de un banco de capacitores. Fuente <https://ingenieriainternacional.wordpress.com/ingenieria-internacional-e-informatica-2/%C2%BFsabias-que/calidad-de-energia/>

Variaciones de voltaje de corta duración (interrupciones, SAGS Y SWELLS DE VOLTAJE)

Las variaciones de voltaje de corta duración son causadas por condiciones de falla, la energización de grandes cargas que requieren altas corrientes de arranque o la pérdida de conexiones en el cableado del sistema eléctrico. Dependiendo del sitio de la falla y de las condiciones del sistema eléctrico, la falla puede causar depresiones de voltaje temporal (sags), elevaciones de voltaje (swells) o una pérdida completa del voltaje (interrupciones). La condición de falla puede estar cercana o remota al punto de interés. En cualquier caso, el impacto sobre el voltaje durante la condición de falla es una variación de corta duración, hasta que los dispositivos de protección operan para liberar la falla.

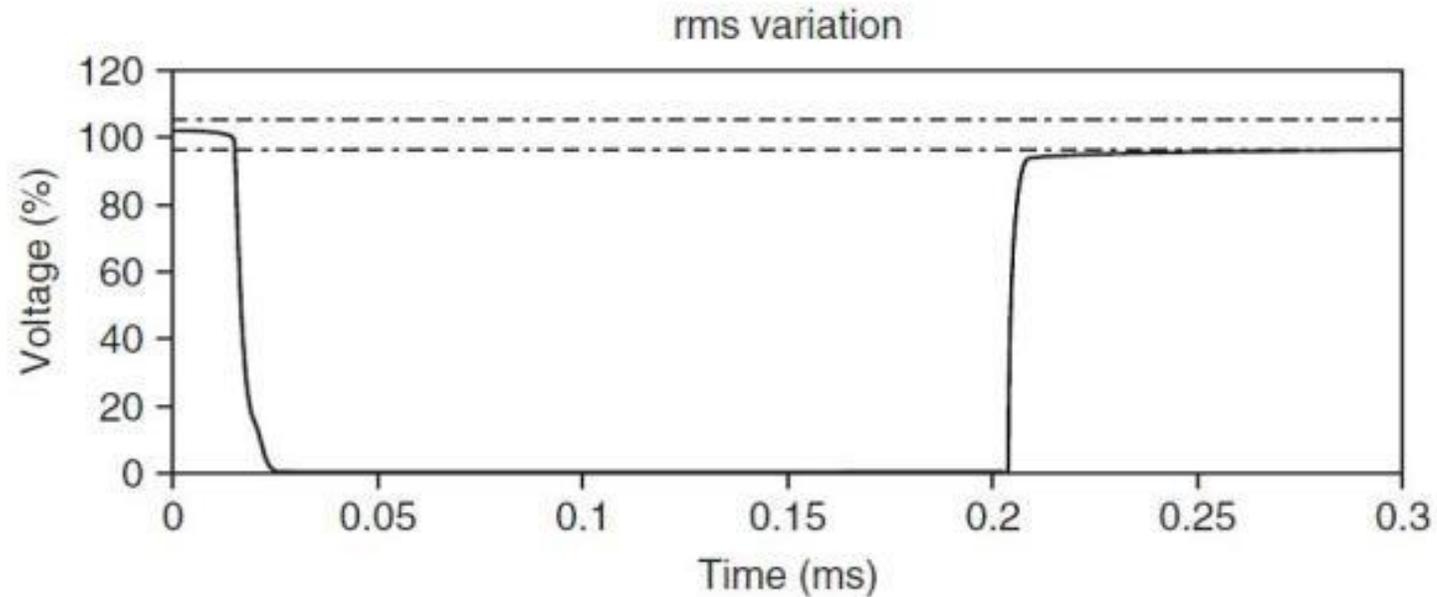
Sag's de voltaje

Los sags de voltaje están asociados con fallas en el sistema, pero pueden también ser causados por maniobras de cargas grandes o arranques de motores grandes (generalmente de una variación de larga duración).



Interrupción

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en los sistemas de potencia, fallas en el equipo y mal funcionamiento de los controles. Las interrupciones se miden por su duración, puesto que la magnitud del voltaje es siempre menor del 10 % del nominal. La duración de una interrupción debido a una falla en el sistema de la suministradora se determina por el tiempo de operación de los dispositivos de protección de la compañía suministradora.



VARIACIONES DE VOLTAJE DE LARGA DURACIÓN (interrupciones, BAJO VOLTAJE Y SOBRE-VOLTAJE)

Las variaciones de larga duración consideran las desviaciones rms (raíz media cuadrática) a la frecuencia del sistema eléctrico para tiempos mayores de 1 minuto. La norma ANSI C84.1-1999 especifica las tolerancias del voltaje en estado estacionario que se esperan del sistema de potencia. Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando los límites ANSI se exceden por más de 1 minuto.

Sobre-voltajes

Los sobre-voltajes son el resultado de la maniobra de la carga (es decir, el switcheo para dejar fuera una carga grande), las variaciones en la generación del sistema, o variaciones en la compensación reactiva sobre el sistema (es decir, el switcheo para conectar al banco de capacitores).

Los sobrevoltajes resultan debido a que el sistema es muy débil para la regulación deseada de voltaje o los controles de voltaje son inadecuados. Los ajustes incorrectos de los tap's sobre los transformadores también pueden resultar en sobre-voltajes.

Bajos voltajes

Los bajos voltajes son el resultado de eventos que son lo contrario a los que causan sobre-voltajes. Agregando una carga, switchando para remover un banco de capacitores causará un bajo voltaje hasta que el equipo de regulación de voltaje en el sistema pueda traer de regreso al voltaje dentro de sus tolerancias. Los circuitos sobrecargados pueden resultar en bajos voltajes también. El arranque de motores también es una de las causas más comunes de bajo voltaje.

INTERRUPCIONES SOSTENIDAS

Cuando el voltaje de suministro es cero, por un periodo de tiempo que excede a 1 minuto, la variación de voltaje de larga duración se considera una interrupción sostenida. Las interrupciones de voltaje más grandes de 1 minuto son a menudo permanentes y requieren de la intervención humana para reparar el sistema para su restauración.

Las interrupciones son el resultado de fallas en el sistema de potencia, fallas en el equipo, déficit de generación, mal funcionamiento de los controles y del mantenimiento programado. Las interrupciones se miden por su duración y la magnitud del voltaje es siempre o casi cero.

RUIDO ELÉCTRICO

El ruido eléctrico se define como señales eléctricas no deseadas con contenido espectral de banda amplia menor de 200 kHz sobrepuestas sobre la corriente o voltaje del sistema eléctrico en los conductores de fase, en los conductores del neutro o en las líneas de señales. Básicamente, el ruido consiste de cualquier distorsión no deseada de señales de energía que no se pueden clasificar como transitorios o distorsión armónica. El ruido en redes eléctricas es causado principalmente por dispositivos de electrónica de potencia, circuitos de control, equipo de arqueo (soldadoras, punteadoras, hornos de arco, etc) cargas con rectificadores de estado sólido y suministro de energía conmutada. Los problemas de ruido se incrementan de manera considerable por la inadecuada puesta a tierra.

El rango de frecuencia y nivel de magnitud del ruido depende de la fuente que lo produce y las características del sistema eléctrico. La magnitud típica del ruido es menor del 1% de la magnitud del voltaje. Los disturbios por ruido afectan principalmente los dispositivos electrónicos tales como minicomputadoras y controladores programables. Los problemas causados por el ruido se pueden mitigar a menudo con filtros, transformadores de aislamiento y acondicionadores de línea.

La norma "IEEE 518-1982, Guide for the Installation of Electrical Equipment to Minimize Electrical Noise Inputs to Controllers from External Sources", se desarrolló específicamente para documentar los impactos y métodos para controlar el ruido eléctrico.

El ruido puede ocurrir en:

- Modo común o
- Modo normal

El ruido en modo común se puede eliminar con el uso de transformadores de aislamiento mientras que el ruido en modo normal requiere de filtrado o acondicionadores de línea. Las buenas prácticas de cableado y de puesta a tierra impactan de manera significativa sobre los niveles de ruido que experimentan ciertas cargas. El método adecuado para controlar el ruido, depende principalmente del método de acoplamiento, el rango de frecuencia del ruido y la susceptibilidad del equipo que se desea proteger.

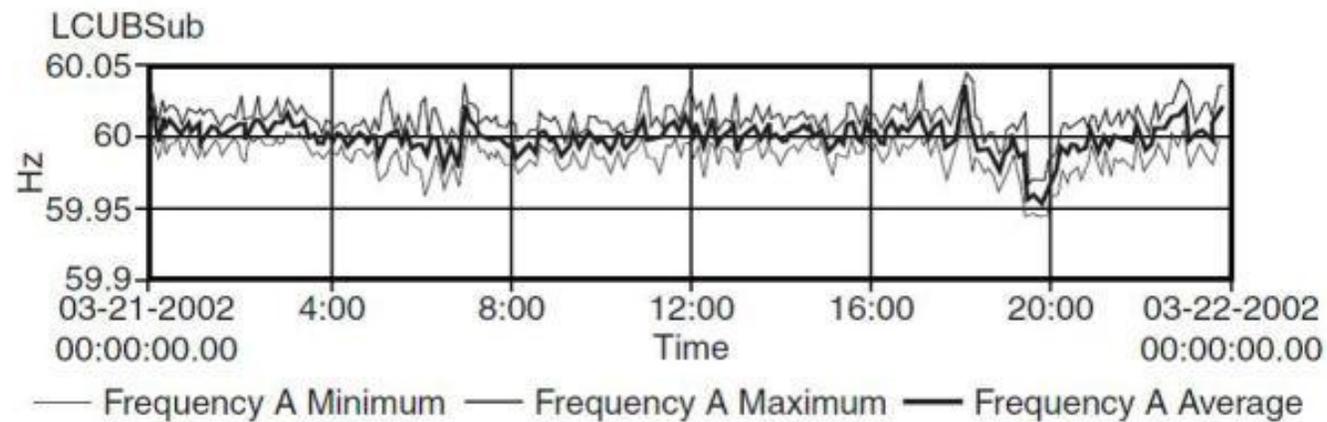
VARIACIONES DE LA FRECUENCIA

Las variaciones de la frecuencia se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico de su valor nominal (es decir, 50 o 60 Hz).

La frecuencia del sistema eléctrico está relacionada directamente con la velocidad rotacional de los generadores que suministran de energía a la red. Existen ligeras variaciones en la frecuencia debido principalmente al balance dinámico entre los cambios de generación y carga. El tamaño de la variación en la frecuencia y su duración depende de las características de la carga y la respuesta del sistema de control de generación a los cambios en la carga.

La figura ilustra las variaciones de la frecuencia para un periodo de 24 horas sobre un bus típico en 13 kV's de una subestación.

Las variaciones de la frecuencia que salen de los límites aceptados por la normatividad internacional, para la operación normal en estado estacionario de los sistemas eléctricos pueden causar fallas en el sistema de transmisión, en la carga y otras fuentes de generación.



Distorsión armónica

La distorsión de la forma de onda se define como una desviación en estado estacionario de una onda senoidal a la frecuencia del sistema, principalmente se caracteriza por el contenido espectral de la desviación. Existen cinco tipos principales de distorsión de la forma de onda.

- Offset de CD
- Armónicas
- Interarmónicas
- Resaque

Offset de CD

La presencia de un voltaje o corriente de CD en un sistema de potencia de CA se determina por un offset de CD. Esto se puede presentar como el resultado de un disturbio geomagnético o asimetría de los convertidores de electrónica de potencia. La corriente directa en redes de CA puede tener un efecto perjudicial para los núcleos de los transformadores, porque se saturan en operación normal. Esto causa calentamiento adicional y pérdidas en la vida del transformador.

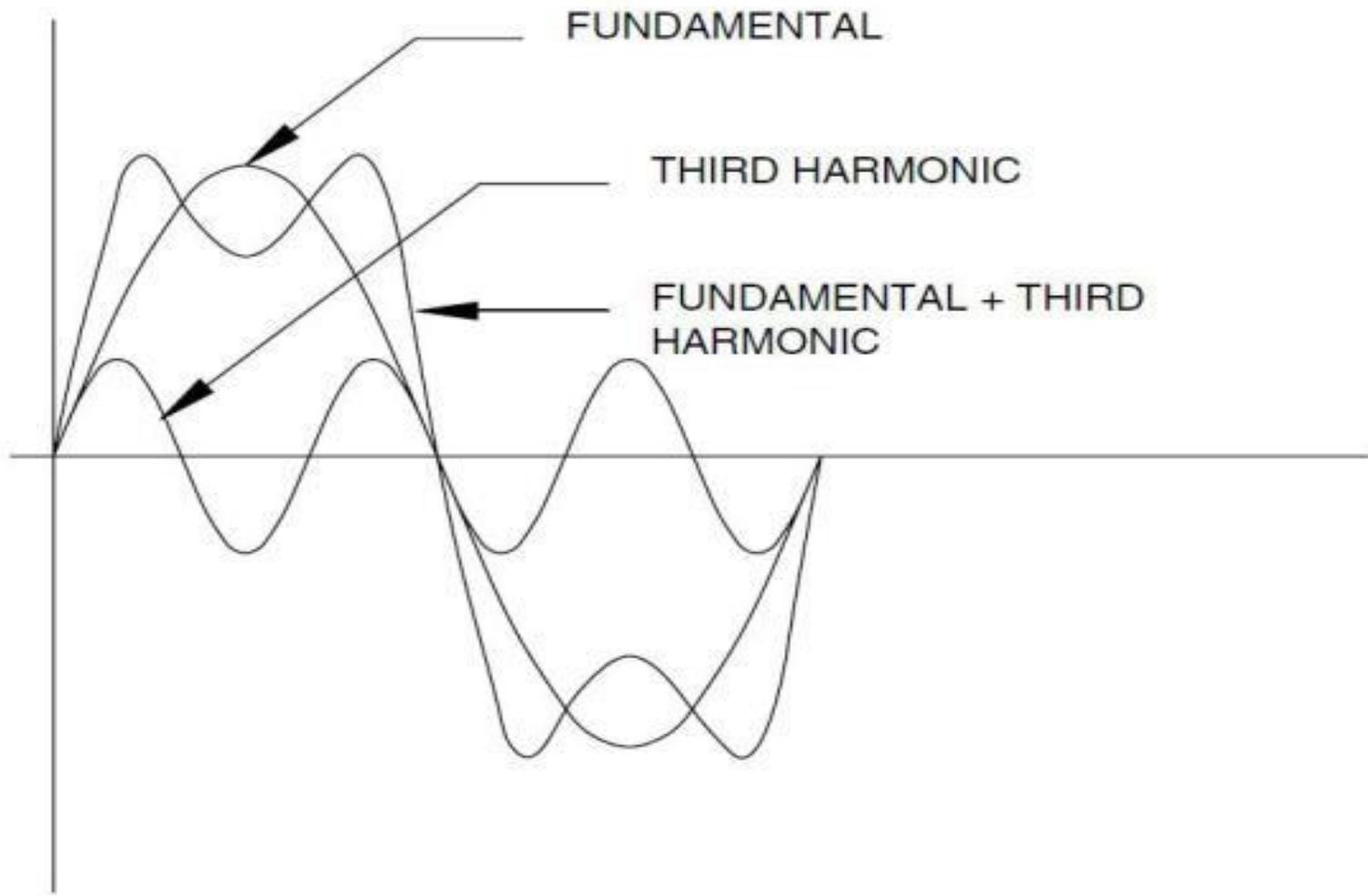
Armónicas

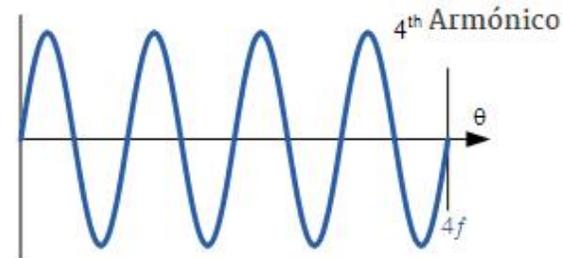
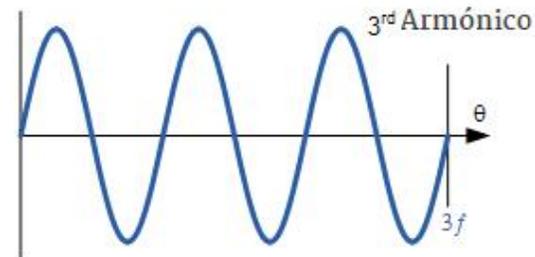
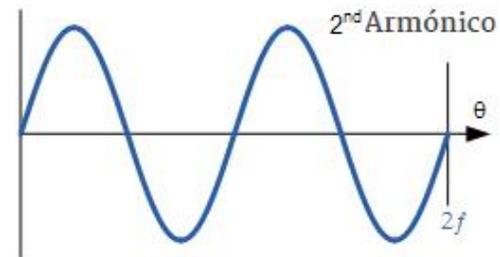
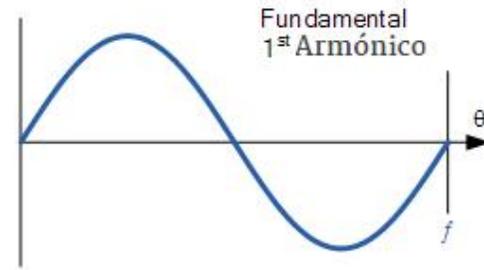
Las armónicas son voltajes o corrientes senoidales que tienen frecuencias que son enteros múltiplos de la frecuencia del sistema de suministro (la frecuencia fundamental; 50 o 60 Hz). Las formas de onda periódicamente distorsionadas se pueden descomponer en una suma de la frecuencia fundamental y las armónicas. La distorsión armónica se origina por las características no lineales de los dispositivos y cargas sobre la red eléctrica.

Los niveles de distorsión armónica se describen por el espectro completo de armónicas con magnitudes y ángulos de fase de cada componente. Es común usar una cantidad, distorsión armónica total (en inglés, THD) como una medida del valor efectivo de distorsión armónica.

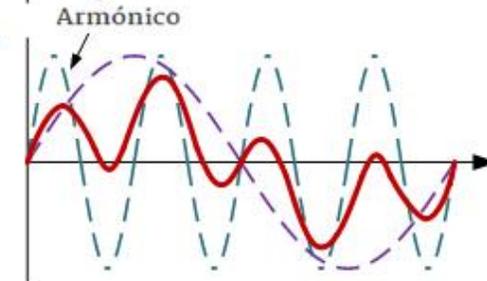
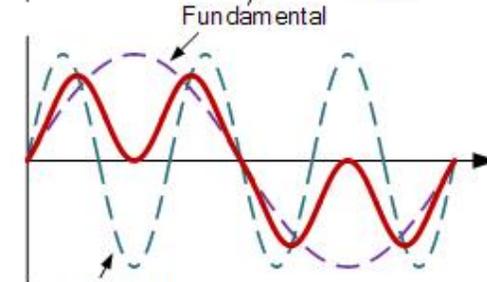
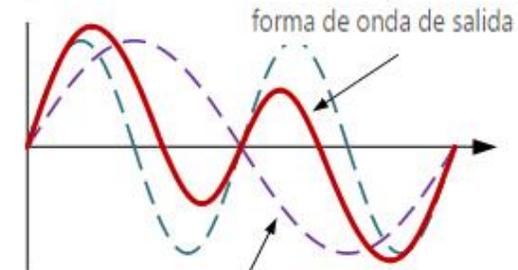
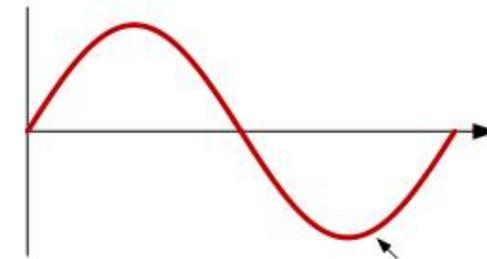
La distorsión armónica existe debido a las características no lineales de dispositivos y cargas sobre las redes eléctricas. Esos dispositivos no lineales caen dentro de una de las tres categorías siguientes:

- Electrónica de potencia
- Dispositivos ferromagnéticos (es decir, transformadores)
- Dispositivos de arco.





Forma de onda armónica



Forma de onda compleja

Voltaje armónicos

La distorsión armónica de voltaje se caracteriza por la distorsión total en el voltaje como se definió anteriormente. La distorsión de voltaje es causada por la interacción de las cargas no lineales (corrientes armónicas generadas) con las características de la impedancia del sistema de potencia. Se tiene un interés especial cuando se presentan las condiciones de resonancia en el sistema de potencia que causará la magnificación de las corrientes armónicas y altos niveles de distorsión de voltaje.

Corrientes armónicas

Las corrientes armónicas son causadas por la operación de los dispositivos o equipo no lineal en el sistema eléctrico

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
- Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
- Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- Provocan la disminución del factor de potencia.
- Están asociados con el calentamiento de condensadores.
- Pueden provocar ferresonancia.
- Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.
- Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.
- Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.
- Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.

La mitigación de los efectos nocivos de los armónicos puede llevarse a cabo mediante:

- El monitoreo constante de los sistemas para detectar la presencia de armónicos indeseables.
- La utilización de filtros para eliminar los armónicos indeseables.
- El dimensionamiento los transformadores, máquinas y cables teniendo en cuenta la presencia de corrientes no sinusoidales (presencia de armónicos)

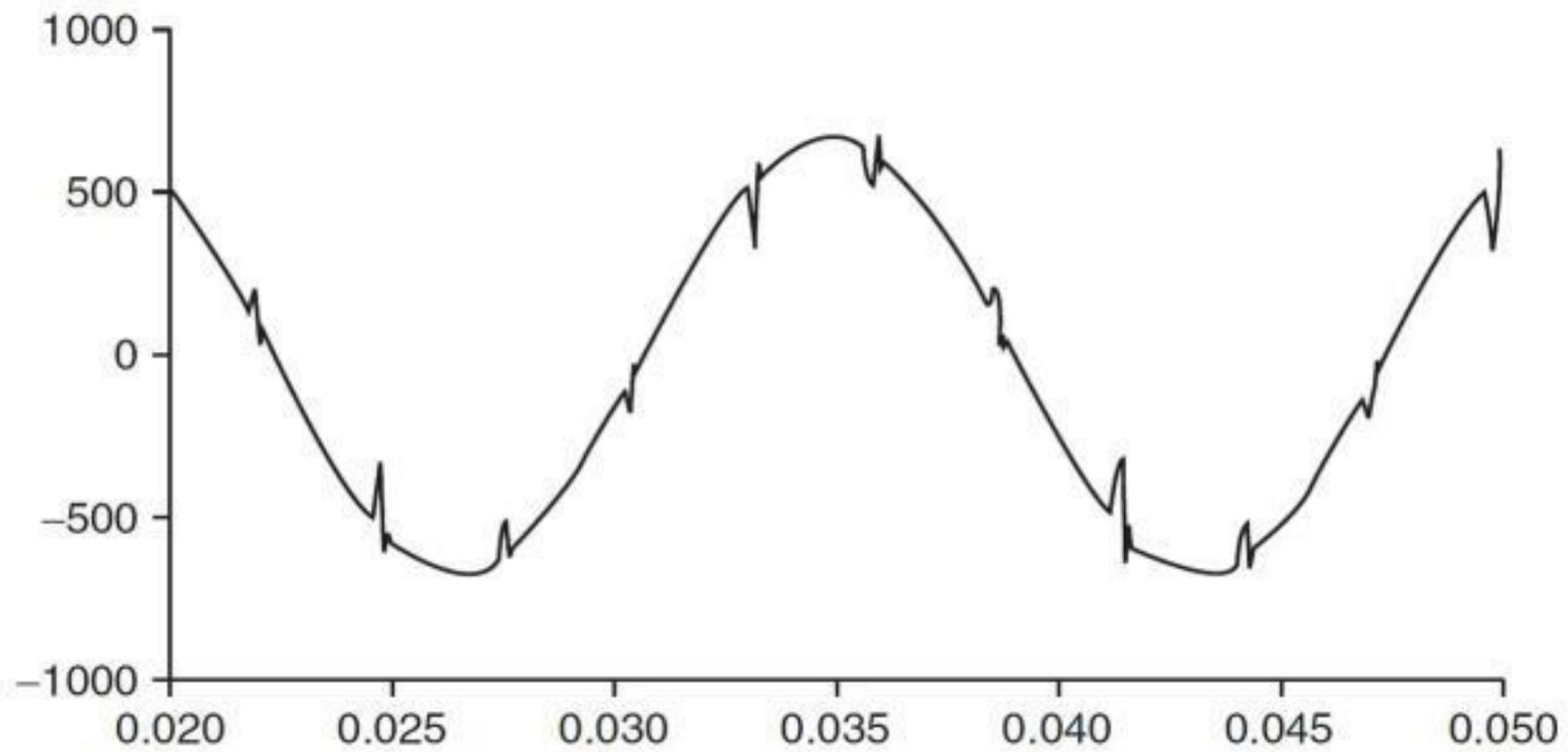
Inter-armónicas

Son los voltajes y las corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son enteros múltiples de la frecuencia fundamental (es decir, 50 o 60 Hz) y se denominan inter-armónicas. Pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda amplia. Las inter-armónicas se pueden encontrar en las redes eléctricas a todos los niveles de tensión. Las fuentes principales de inter-armónicas son los convertidores estáticos de frecuencia, los cicloconvertidores, los hornos de inducción y los dispositivos de arco.

Resaque - Muestras de Tensión (Notching)

El resaque es un disturbio periódico de voltaje causado por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Puesto que el resaque se presenta de manera continua, se puede caracterizar a través del espectro armónico del voltaje afectado. Sin embargo, se trata como un caso especial. Las componentes de frecuencia asociadas con el resaque pueden ser muy altas y no se pueden caracterizar rápidamente con el equipo de medición que normalmente se usa para análisis armónico.

Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos. La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo. La inserción de reactancias inductivas también puede servir como solución, para mitigar el efecto de las muescas.



CONCEPTOS BÁSICOS

Conviene definir algunos términos sobre el tema armónicos que son fundamentales para la interpretación de cualquier medida y estudio:

- **Frecuencia fundamental (f_1):** Frecuencia de la onda original (50/60 Hz)
- **Orden de un armónico (n):** Número entero dado por la relación de la frecuencia de un armónico a la frecuencia fundamental. Con el orden se determina la frecuencia del armónico
(Ejemplo: 5º armónico $\rightarrow 5 \cdot 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$)
- **Componente fundamental (U_1 o I_1):** Componente sinusoidal de orden 1 del desarrollo en serie de Fourier de frecuencia igual a la onda periódica original.
- **Componente armónica (U_n o I_n):** Componente sinusoidal de orden superior a 1 del desarrollo en serie de Fourier de frecuencia múltiplo entero de la frecuencia origen.
- **Tasa de distorsión individual ($U_n\%$ o $I_n\%$):** Relación en % entre el valor eficaz de la tensión o corriente armónica (U_n o I_n) y el valor eficaz de la componente fundamental (U_1 o I_1).

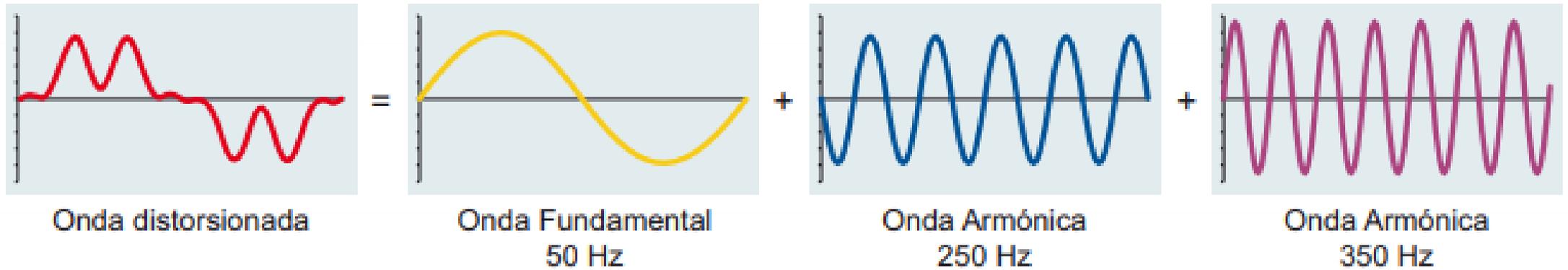
$$U_n\% = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100 \quad I_n\% = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100$$

- **Valor eficaz total (TRMS):** Es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todos los componentes que forman la onda.

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_5^2 + \dots} \quad I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}$$

- **Residuo armónico:** Diferencia entre la tensión o corriente total y el correspondiente valor fundamental.
- **Tasa de distorsión armónica (THD):** Relación entre el valor eficaz del residuo armónico de la tensión y/o corriente y el valor de la componente fundamental.

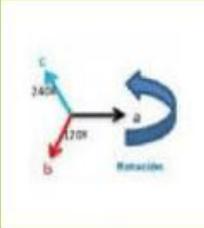
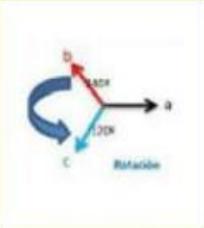
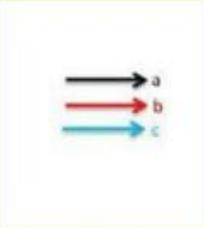
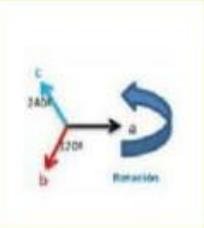
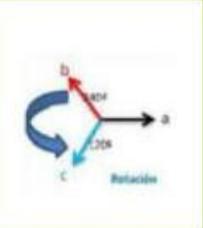
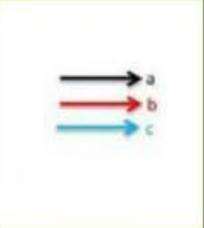
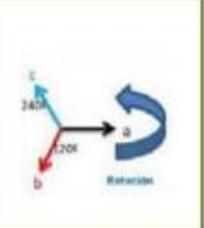
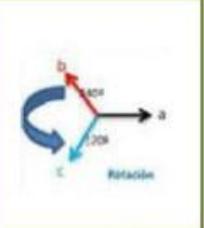
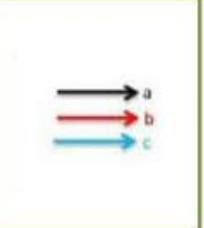
$$\text{THD}(U)\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_5^2 + \dots}}{U_1} \quad \text{THD}(I)\% = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1}$$



Orden	Fund.	2	3	4	5	6	7
Frecuencia	50	100	150	200	250	300	350
Secuencia	↻	↻	↑	↻	↻	↑	↻

Cada armónico tiene un orden / rango, una frecuencia y una secuencia determinada. El orden es el múltiplo de la frecuencia fundamental, la frecuencia es la frecuencia del armónico, múltiplo de la fundamental y la secuencia: positiva / directa, negativa / inversa o cero / homopolar; es la rotación del vector con respecto a la frecuencia fundamental.

Una secuencia positiva significa que el campo magnético generado rotará en la misma dirección que el de la fundamental, una secuencia negativa en dirección contraria y una secuencia homopolar generará un campo que fluctúa pero no gira.

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

Tendrán **secuencia positiva** los armónicos eléctricos que cumplan la expresión:

$$h = 3 \times K + 1$$

Por tanto, con esta secuencia tendríamos los armónicos de orden 7, 13 o 19.

El principal efecto que producen los armónicos de secuencia directa en tensión es sobre los motores, donde generan un campo giratorio en el mismo sentido de la componente fundamental, y por tanto acelera el motor.

Tendrán **secuencia negativa** los armónicos eléctricos que cumplan la expresión:

$$h = 3 \times K - 1$$

Por tanto, con esta secuencia tendríamos los armónicos de orden 5, 11 o 17.

El principal efecto que producen los armónicos de secuencia inversa en tensión es sobre los motores, donde generan un campo giratorio de sentido contrario de la componente fundamental, y por tanto hará de freno sobre el motor.

Tendrán **secuencia cero** los armónicos eléctricos que cumplan la expresión:

$$h = 3 \times K$$

Por tanto, con esta secuencia tendríamos los armónicos de orden 3, 9 o 15

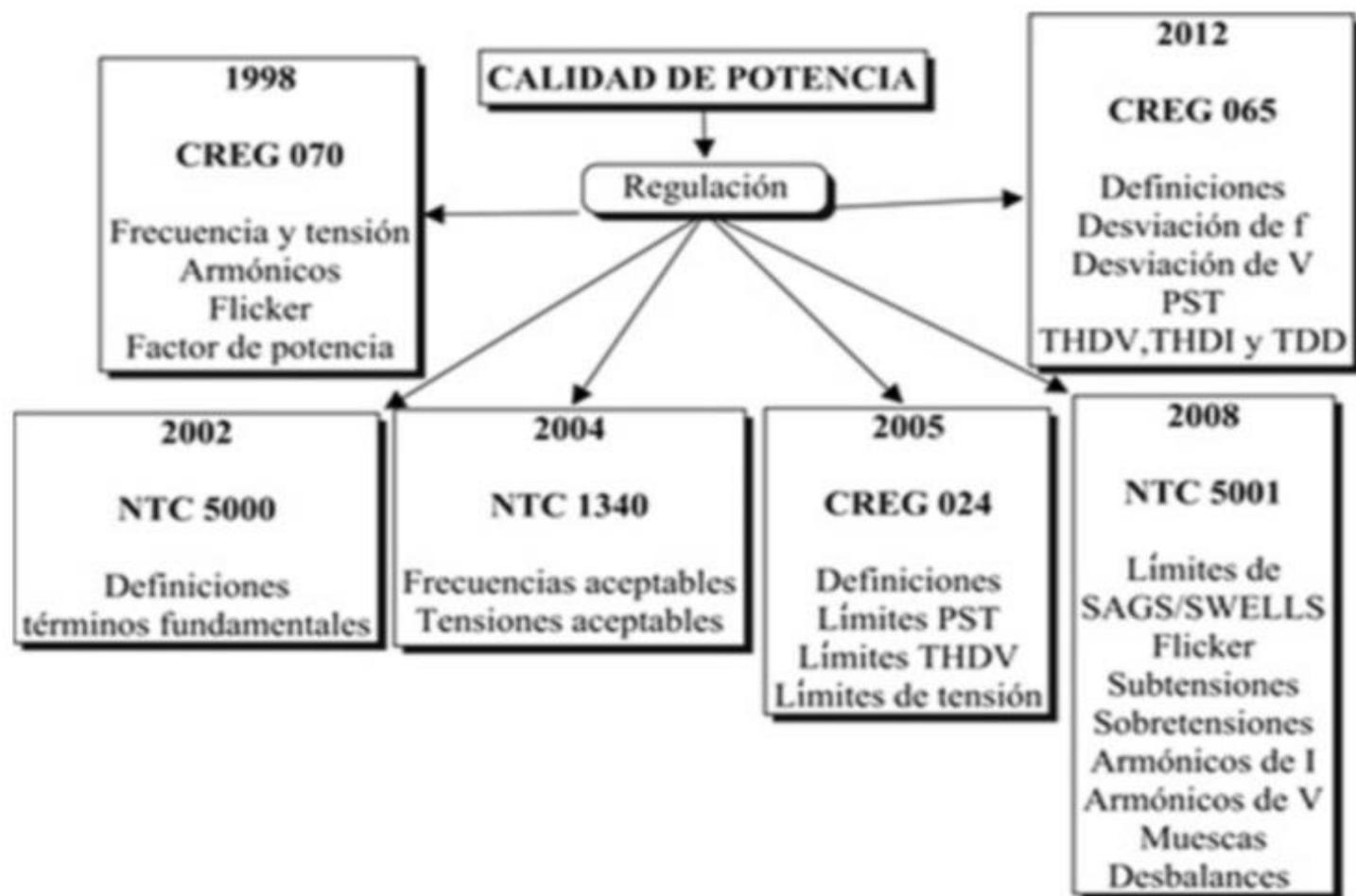
El principal efecto que producen los armónicos de secuencia homopolar en corriente es sobre el conductor de neutro por el cual retornan sumándose. Dicho de otra forma, si hay 10 A de tercer armónico por fase, por el neutro va a retornar 30 A, aun estando el sistema perfectamente equilibrado.

NORMAS PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

Para realizar una medición de CEL es muy importante tener en cuenta todas las normas nacionales e internacionales, ya que ellas proporcionan límites y directrices generales teniendo las características del sistema dependiendo el lugar, condiciones y necesidades. La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y la IEC (International Electrotechnical Commission) son las asociaciones más reconocidas dedicadas a la estandarización y desarrollo de técnicas y normas para la medición de CEL

Normas Relacionadas Con La Calidad De Potencia En Colombia

En Colombia, el marco regulatorio lo establecen y componen distintos entes. Sin embargo, los más relevantes son el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). El primero es una organización sin ánimo de lucro que se encarga de la normalización en el país para el desarrollo sostenible de las organizaciones, por lo que presta servicios de educación en metrología, entre otros. De gran interés son las Normas Técnicas Colombianas (NTC), específicamente las referentes a la calidad de potencia: NTC 5000 y NTC 5001. Por su parte, la CREG es una entidad creada por el gobierno nacional la cual tiene como objetivo principal garantizar la calidad, la cobertura del suministro y expansión de los servicios de energía eléctrica, gas natural y gas licuado en el país



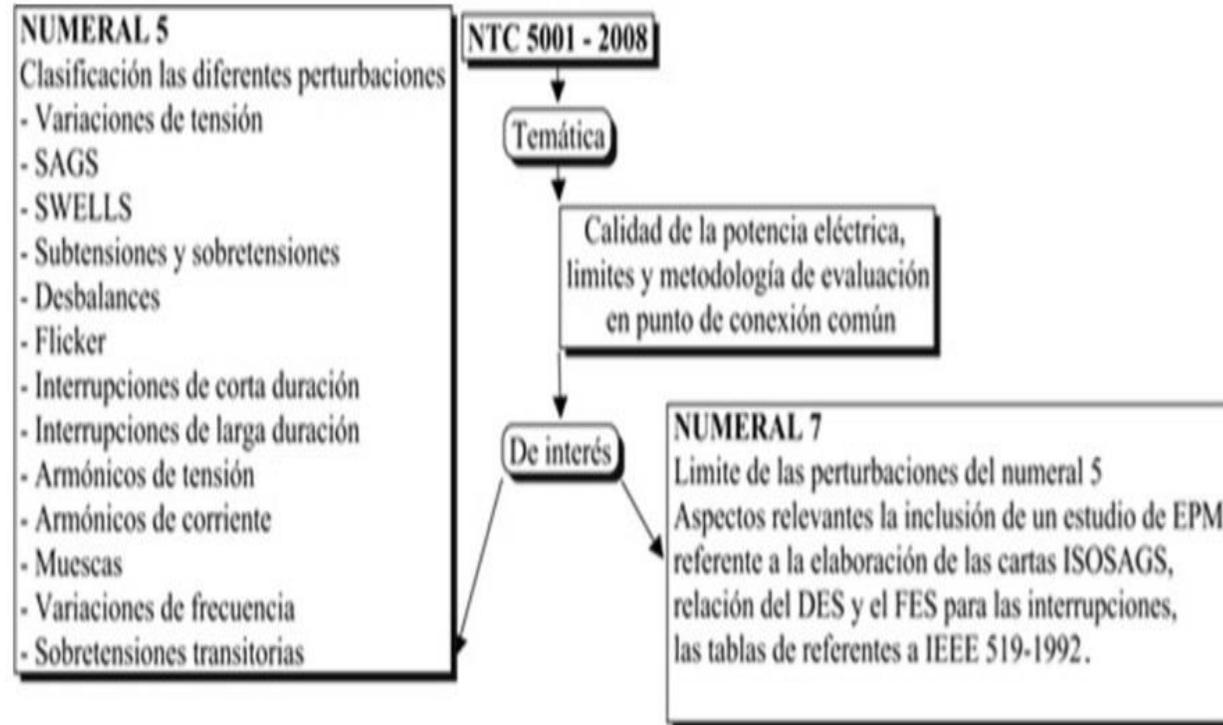
NTC 1340

Esta norma del año 2004 aborda conceptos mínimos de calidad de potencia . Sus temáticas centrales son las tensiones y frecuencias nominales en sistema de energía eléctrica en redes de servicio público

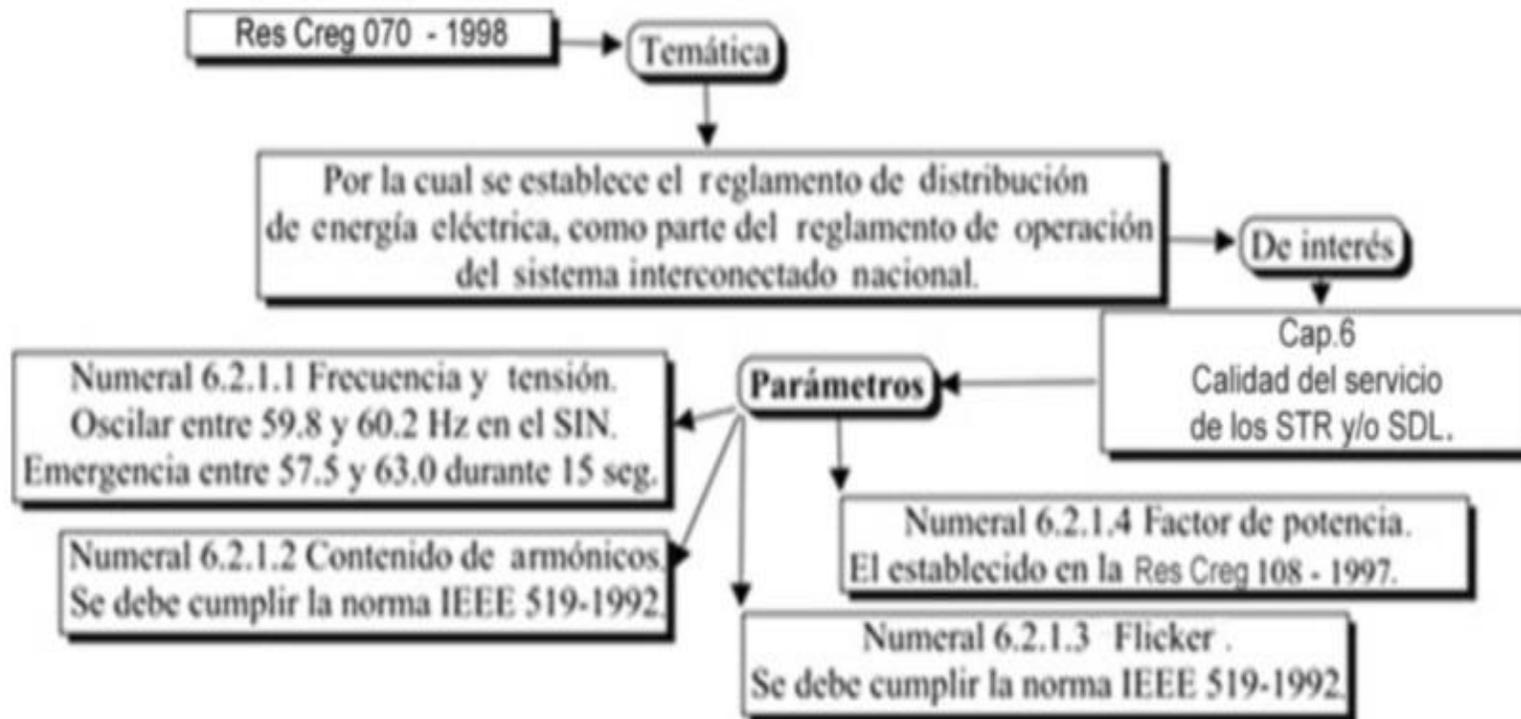


NTC 5001

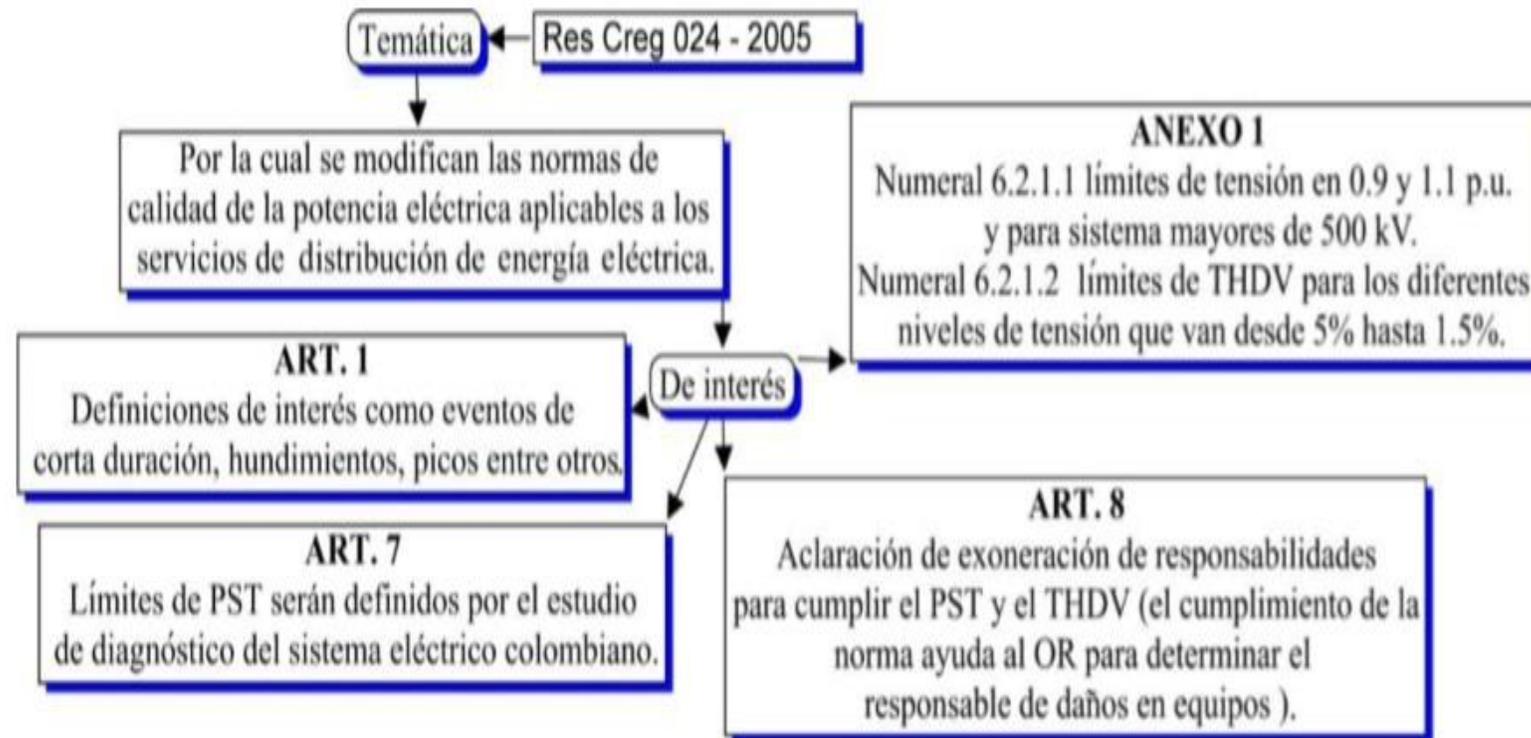
La NTC 5001 del 2008 es la norma técnica colombiana de calidad de potencia eléctrica. Su propósito es establecer los límites y la metodología de evaluación en un punto de conexión común; es una norma que contiene aspectos similares a la norma IEEE 1159



CREG 070 DE 1998

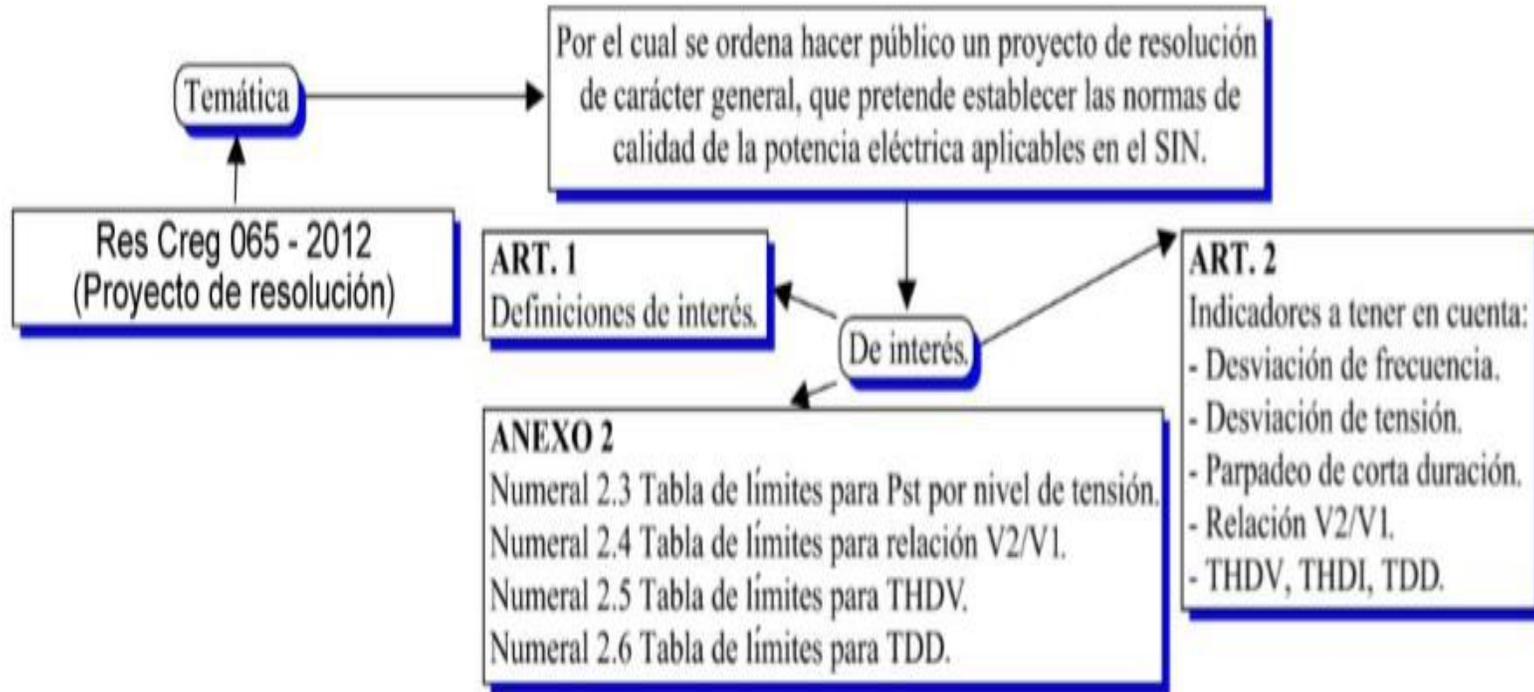


CREG 024 DE 2005



CREG 065-2012

En 2012, la CREG presenta este proyecto de resolución, el cual trata de complementar y compilar las anteriores en una sola. El objetivo es presentar claramente las políticas de calidad de potencia y ajustarlas para que sean similares a la norma NTC-5001. Esta resolución tiene en cuenta indicadores como desviaciones de frecuencia, desviaciones de tensión, *flicker*, desbalances, distorsión total de demanda (TDD) y distorsión armónica de tensión (THDV) y corriente (THDI). Además, establece los límites de los indicadores respectivos y cómo se deben medir dichos fenómenos.



Normas Internacionales

IEEE 1159 - 1995: Guía para el monitoreo de calidad de potencia.

Esta norma fue desarrollada y diseñada para establecer una guía para la medición de CEL, con el fin de estandarizar los algoritmos básicos y datos aplicados por los fabricantes de equipos de medición; esto no fue posible debido a que los fabricantes establecen sus propios diseños y productos, sin embargo esta norma permitió establecer técnicas para el uso de instrumentos y la interpretación de resultados

Para esta interpretación de datos y buenas técnicas de medición se describen ciertas condiciones y pasos para tener presentes antes y durante las mediciones y monitoreo.

- Determinar objetivos de la medición
- Localización de los puntos a monitorear
- Reconocimiento del sistema eléctrico a medir (Diagramas unifilares y parámetros eléctricos del sistema).
- Detección de las fuentes generadoras de distorsiones.
- Recopilar toda la información relevante del sistema eléctrico.
- Determinar límites y umbrales de medición.
- Tiempo de la medición.
- Interpretación de datos

IEEE 519: Recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.

Esta norma o estándar se desarrolló con el fin de regular y limitar los contenidos de armónicos de corriente y tensión ($\text{THD-i} < 3\%$ y $\text{THD-v} < 5\%$) causados por cargas no lineales en los sistemas eléctricos. Los límites que se diseñaron en este estándar son para controlar distorsión de corrientes/tensiones armónicas y calidad de la tensión generadas por armónicos eléctricos siempre en el punto de conexión común PCC. Además aclara sobre la diferencia de las técnicas usadas en las mediciones de los sistemas eléctricos ordinarios y las técnicas requeridas para el monitoreo de armónicos eléctricos.

- Monitorear los valores existentes de armónicos y chequear nuevamente los niveles y límites admisibles o recomendados.
- Probar los equipos que generen armónicos
- Diagnosticar y arreglar las situaciones en las que la actuación de los equipos sea inaceptable a la subestación alimentadora o al usuario.
- Observar los niveles de tierra existentes y rastrear las tendencias a tiempo de voltajes y corrientes armónicas (modelos diarios, mensuales o estacionales).
- Realizar mediciones para la verificación de los estudios por simulación que incluyan flujo de carga armónica.
- Realizar mediciones de corrientes y voltajes armónicos con sus respectivos ángulos de fase. Tales mediciones pueden ser hechas con o sin una parte de las cargas no lineales conectadas, y puede ayudar a determinar la impedancia del punto de manejo armónico en una situación dada

Tabla 3. Instrumentos básicos usados para la medición de tensiones y corrientes no sinusoidales

Equipo de medición	Información obtenida
Osciloscopio	La gráfica de la onda proporciona información del tipo de distorsión y la resonancia de la onda de tensión y corriente
Analizadores de espectro	Este equipo muestra una gráfica de potencia eléctrica en función de la frecuencia, evidenciando armónicos e interarmónicos.
Analizadores de armónicos	Estos equipos muestran una la amplitud de una señal lineal, evidenciando el grado y tipo de armónico.

Fuente: estándar IEEE 519 -1992

Las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos de medición también hacen parte del desarrollo de este estándar; la exactitud, selectividad, variación en el tiempo y ancho de banda son los requerimientos más importantes:

- **Exactitud**
- **Selectividad**
- **Promedio**
- **Respuesta dinámica.**
- **Ancho de banda:** Sobre este requerimiento la norma dice lo siguiente: “Ancho de banda del instrumento afectará fuertemente la lectura, especialmente cuando los armónicos sean fluctuantes. Es recomendable que sean usados instrumentos con un ancho de banda constante para un rango completo de frecuencias. El ancho de banda puede ser de 3 ± 0.5 Hz entre los puntos a -3 dB con una atenuación mínima de 40 dB a una frecuencia de $f_h + 15$ Hz. En situaciones en las que los interarmónicos y transitorios estén presentes, un ancho de banda más grande causará mayores errores positivos”

IEC 61000-4-30 Técnicas de ensayo y medición - Métodos de medición de calidad de potencia

IEC 61000-4-7: Guía general de mediciones e instrumentación armónicas e interarmónico, para los sistemas de suministro de energía y los equipos conectados a los mismos.

Flickermeter (medición de flickers) – Especificaciones de diseño y funciones.

Metodología para el monitoreo

- Identificación de las cargas.
- Identificación de los síntomas que pueden existir.
- Identificación de los puntos donde se realizarán las medidas y selección del instrumento.
- Establecer formatos para toma de datos.
- Realizar mediciones.
- Informe técnico.

Componente / Elemento	Síntomas	SÍ	NO	?
Conductor	- Calentamiento de conductores - Disparo de protecciones	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Conductor de neutro	- Calentamiento del conductor del neutro - Degradación del conductor - Disparo de protecciones	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Condensadores	- Calentamiento de los condensadores - Envejecimiento prematuro de los condensadores (pérdida de capacidad) - Destrucción de condensadores	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Transformadores	- Sobrecalentamiento de los devanados - Degradación de los devanados - Disminución del rendimiento - Necesidad de sobredimensionar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Motores	- Sobrecalentamiento de los devanados - Degradación de los devanados - Disminución del rendimiento - Vibraciones en el eje - Desgaste mecánico en rodamientos - Excentricidad del eje - Sobretensiones que destruyen los devanados	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Grupo electrógeno	- Dificultad de sincronización y conmutación del grupo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equipos de medida y control	- Medida incorrecta de magnitudes - Interferencias en equipos sensibles	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Métodos de Cálculo de la Corriente Residual Armónica

La corriente residual armónica es la diferencia entre la corriente total y la fundamental. El objetivo del filtro activo es eliminar o reducir al máximo esa corriente residual armónica, para que sólo quede la corriente senoidal pura.

Ejemplo:

Suponga un sistema trifásico equilibrado, con las siguientes medidas de corriente en cada armónico

- $I_1 = 910 \text{ A}$
- $I_5 = 164 \text{ A}$
- $I_7 = 82 \text{ A}$
- $I_{11} = 55 \text{ A}$
- $I_{13} = 55$
- Si THDV=3% hay que aplicar un factor de seguridad de 1,2
- Si THDV=5% aplicar un factor de seguridad de 1,5
- Si THDV >5 aplicar 1,8-2

Calculamos el valor eficaz (RMS) armónico, o corriente residual armónica

$$I_{RMS} \text{RESIDUAL} = \sqrt{I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + \dots + I_{13}^2} = \sqrt{164^2 + 82^2 + 55^2 + 55^2} = 199 \text{ A}$$

La corriente residual armónica es de 199 amperios. Si ahora repetimos el cálculo pero incluyendo la corriente fundamental (I1) tenemos:

$$I_{RMS} \text{CORRIENTE TOTAL} = \sqrt{910^2 + 164^2 + 82^2 + 55^2 + 55^2} = 931 \text{ A}$$

El THDI%, referido al valor fundamental (IEC 60050), se calcula como sigue:

$$THDI\% = \frac{\sqrt{164^2 + 82^2 + 55^2 + 55^2}}{910} \times 100 = 21,88\%$$

Si calculamos directamente del valor total de I Fundamental con el THDI%:

$$I_{FILTRO} = 910A \times 21,88\% = 199,1A$$

Otros métodos de cálculo de la corriente residual armónica

Conociendo las corrientes total eficaz y fundamental:

$$I_{RMS}RESIDUAL = \sqrt{I_{RMS}^2 - I_1^2}$$

Conociendo la corriente fundamental y la distorsión armónica en corriente %

$$I_{RMS}RESIDUAL = I_1 \times \frac{THDI\%}{100}$$

Conociendo la corriente eficaz total y la distorsión armónica en corriente %:

$$I_{RMS}RESIDUAL = I_{RMS} \times \sqrt{\frac{THDI\%^2}{100^2 + THDI\%^2}}$$

Otros métodos de cálculo de la corriente de filtro

$$I_{AFQ} = SF_h \times I_{\text{carga}} \times THDI\%$$

Siendo SFh el factor de sobrecarga del filtro que es un valor teórico. Sería muy adecuado incrementar todo lo que se pudiera la corriente nominal de los filtros por seguridad, pero los filtros se encarecen mucho al aumentar este concepto, por ello conviene ajustar en lo posible este factor de sobrecarga del filtro.

Un criterio práctico para tener el factor de sobrecarga SFh es el siguiente:

- Si THDV=3% hay que aplicar un factor de seguridad de 1,2
- Si THDV=5% aplicar un factor de seguridad de 1,5
- Si THDV >5 aplicar 1,8-2

Para calcular el factor de seguridad

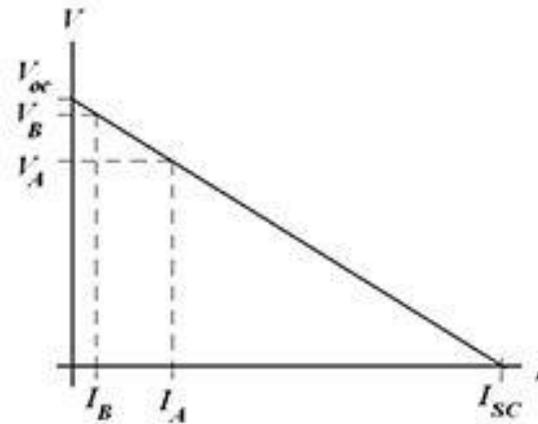
$$R_{SC} = \frac{I_{SC}}{I_{CNL}}$$

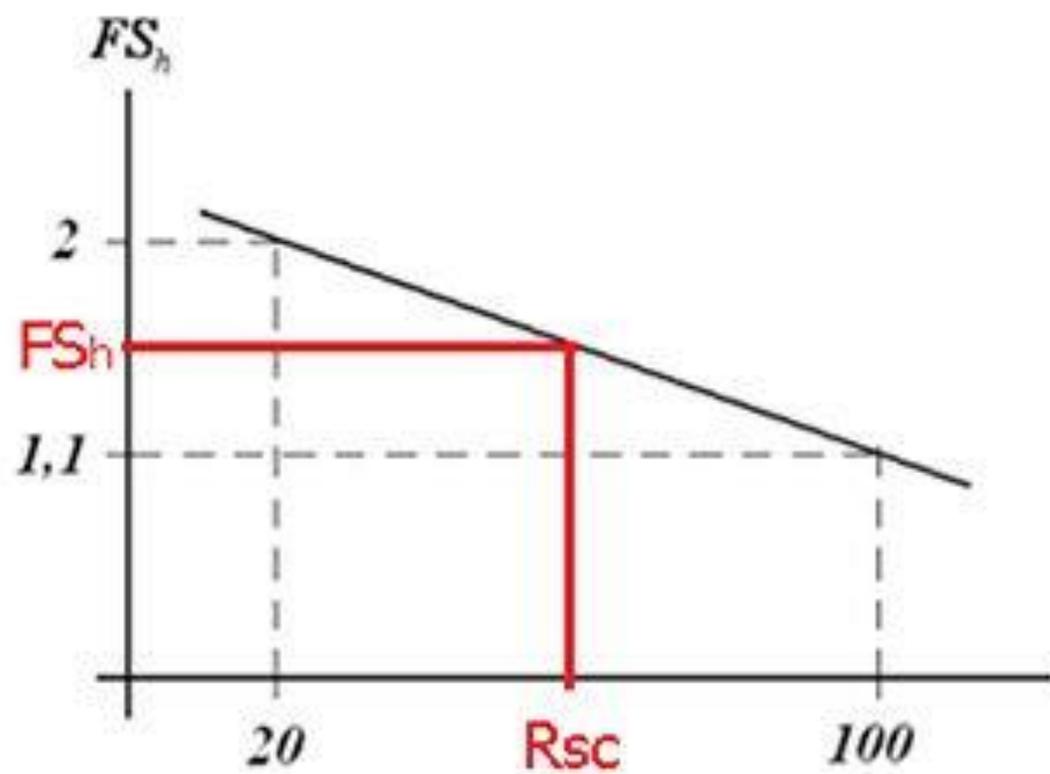


La relación de cortocircuito se define como la relación entre la corriente de cortocircuito de una red (ISC) y la corriente nominal del conjunto de convertidores no lineales (ICNL) que generan los armónicos que se pretenden filtrar.

En una instalación real, se puede valorar la corriente de cortocircuito (ISC) en el PCL teniendo la tensión en dicho punto para dos corrientes de carga distintas. Por ejemplo plena carga (IA) y 10% de carga (IB). Si VOC es la tensión nominal en vacío, la ISC, se puede calcular mediante la fórmula:

$$I_{SC} = V_{OC} \frac{I_B - I_A}{V_A - V_B}$$





$$SFh = 1,1 + \left[\frac{2 - 1,1}{100 - 20} \times (100 - Rsc) \right]$$

Para el ejemplo anterior, con un transformador de 630 KVA y una potencia de cortocircuito del 6%. Así, la potencia de cortocircuito es:

$$S_{cc} = \frac{630}{0,06} = 10500 \text{ kva}$$

Considerando la potencia en los convertidores es de 189 KVA

$$R_{sc} = \frac{10500}{189} = 55,55$$

$$SFh = 1,1 + \left[\frac{2 - 1,1}{100 - 20} \times (100 - 55,55) \right] = 1,59 \quad \longrightarrow \quad \text{Factor de Seguridad}$$

$$I_{AFQ} = SFh \cdot I_{load} \cdot THDI = 1,59 \times 910 \times 21,4\% = 309 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad \text{Corriente de Filtro}$$