



WHITEPAPER

Problemas y soluciones de la calidad de la energía.

Los problemas relacionados con la calidad de la energía son los que preocupan más hoy. El uso generalizado de equipo electrónico como el de tecnología de la información, mandos de velocidad variable (VSD), controladores lógicos programables (PLC), iluminación de energía eficiente, la integración de generación renovable en la red eléctrica, etc., llevan a un cambio completo de los generadores eléctricos y la naturaleza de las cargas. Estos generadores y cargas son simultáneamente los principales responsables y víctimas de los problemas de la calidad de la energía.

El aumento en la sensibilidad de la mayoría de las instalaciones y procesos a los problemas de la calidad de la energía convierte la disponibilidad de energía eléctrica de buena calidad en un factor crucial para el desarrollo del sistema de energía eléctrica. La atenuación de los problemas de calidad de la energía es parte de los requerimientos de los códigos de red en estos días. Para garantizar el acatamiento al código de red, las soluciones electrónicas de la energía están siendo demandadas cada vez más para el mejoramiento de la calidad de la energía.

1. Problemas de calidad de la energía.

La mala calidad de la energía puede causar innumerables problemas en cualquier instalación conectada a una red eléctrica. La instalación puede ser una planta generadora de electricidad (renovable o no), un consumidor (carga) u otra red eléctrica (transmisión, distribución o micro-red). Las fuentes de problemas de calidad de la energía incluyen:

- Equipo del usuario final.
- Sistema eléctrico y aterrizado del usuario final.
- Fenómenos meteorológicos (relámpagos, viento, hielo, etc.).
- Sistema de transmisión y distribución eléctrico.
- Sistema de generación de energía eléctrica.

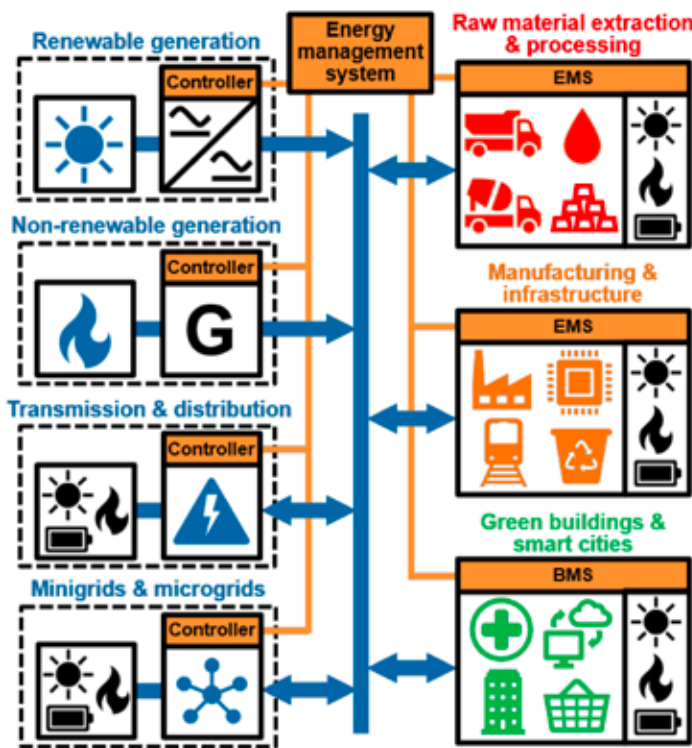


Fig. 1: Instalaciones que necesitan atenuar los problemas de calidad de la energía.

1.1. Tipos de calidad de la energía.

Los problemas de calidad de la energía (eventos o perturbaciones) se pueden clasificar de acuerdo con la naturaleza de la distorsión de la forma de onda. Pueden ser de estado estable o no. Los problemas de estado estable se pueden describir aún más por la amplitud, frecuencia, espectro, modulación, impedancia de la fuente, atributos de la profundidad y área de la muesca. Los problemas del estado no estable se pueden describir más con otros atributos como el índice de la elevación, índice de incidencia y potencial de la energía.

Categoría	Duración	Magnitud del voltaje
Distorsiones de la forma de onda		
Compensación DC	Estado estable	0 – 0.01%
Armónicas	Estado estable	0 – 20%
Interarmónicas	Estado estable	0 – 2%
Graduación	Estado estable	
Ruido	Estado estable	0 – 1%
Variaciones de corta duración		
Caída de voltaje (inst.)	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
Caída de voltaje (moment.)	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Caída de voltaje (temp.)	3 s - 60 s	1.1 - 0.9 pu
Onda de voltaje (inst.)	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
Onda de voltaje (moment.)	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
Onda de voltaje (temp.)	3 s - 60 s	1.1 - 1.2 pu
Interrupciones (moment.)	0.5 ciclos - 3 s	<0.1 pu
Interrupciones (temp.)	3 s - 60 s	<0.1 pu
Variaciones de larga duración		
Subvoltajes	>60 s	0.8 - 0.9 pu
Sobrevoltajes	>60 s	1.1 - 1.2 pu
Interrupciones sostenidas	>60 s	0.0 pu
Transitorias		
Transit. Impulsiv. (nanoseg)	<50 ns	
Transit. Impulsiv. (microseg)	50 ns - 1 ms	
Transit. Impulsiv. (miliseg)	>1 ms	
Transit. Oscilat. (baja frec.)	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
Transit. Oscil. (media frec.)	20 μs	0 - 8 pu
Transit. Oscil. (alta frec.)	5 μs	0 - 4 pu
Otros problemas de calidad de la energía		
Desbalanceo de voltaje	Estado estable	0.5 - 2 %
Fluctuac. de voltaje (interm.)	Intermitente	0.1 - 7 %
Variación de frec. energía	<10 s	
Bajo factor de potencia (atrasado o adelantado)	Intermitente	

Tabla 1: Problemas de calidad de la energía

1.2. Estándares internacionales de calidad de la energía.

Los estándares de calidad de la energía definen

los requerimientos que los generadores y cargas tienen que cumplir en su punto de conexión respectivo (bajo o alto voltaje) con el sistema de energía eléctrica. Los estándares garantizan que el equipo eléctrico pueda operar con el desempeño esperado sin degradar la operación de otro equipo conectado al sistema de energía eléctrica.

El involucramiento activo en los estándares haciendo esfuerzos de parte de las organizaciones internacionales como IEC, IEEE, UIE, CIGRE y CIRED ha impactado la estabilidad y desempeño de los sistemas de energía eléctrica. Existen muchos estándares internacionales de calidad de la energía, algunos de los más conocidos son IEC 61000, IEEE 519, IEEE 1453, EN 50160, G5/4, GOST 13109 y D- A-CH-CZ.

Aparte de los estándares internacionales, muchos países tienen sus propios estándares y recomendaciones de ingeniería locales en la calidad de la energía.

1.3. Calidad de la energía y código de red.

Así como la capacidad de generación de electricidad continúa aumentando mundialmente, incluyendo una alta participación de generación renovable, más cargas no lineales y otras desafiantes se conectan a la red eléctrica, se introducen requerimientos más estrictos con relación a la conexión de la red, operación, balanceo de la generación (renovable y no) y el consumo (cargas) se introducen por los operadores del sistema de operación (TSO) y los operadores del sistema de distribución (DSO) para garantizar que los sistemas de energía eléctrica continúan confiables y sólidos. Los códigos de red incluyen la atenuación necesaria de los problemas de la calidad de la energía que faciliten tener que acatarla para lograr el acatamiento del código de red.

2. Distorsiones de la forma de onda.

2.1. Desfasamiento CD.

2.1.1. Descripción

La presencia de un voltaje o corriente de corriente directa (CD) en un sistema de energía CA se llama desfasamiento CD. Una forma de onda periódica tiene un desfasamiento CD si el valor promedio de la forma de onda sobre un periodo no es cero.

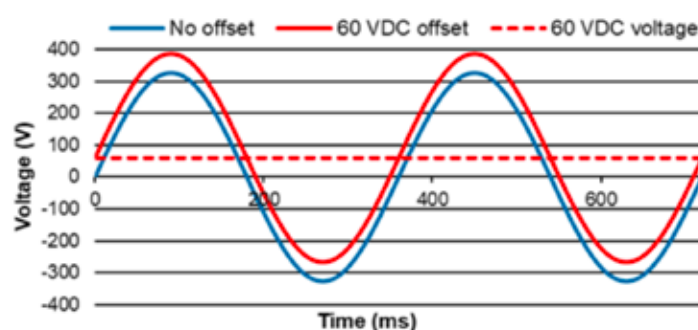


Fig. 2: Forma de onda de desfasamiento CD

2.1.2. Causas

El desfasamiento CD puede ocurrir como el resultado de una perturbación geomagnética o asimetría de los convertidores electrónicos de energía. La CD se puede inducir en un sistema de distribución CA debido a la falla de los convertidores de energía o suministros de energía CA/CD en el sistema.

2.1.3. Consecuencias

La CD en red CA agrega corriente indeseada a los dispositivos ya operando en su corriente nominal. Las consecuencias más comunes son el sobrecalentamiento y saturación de los transformadores debido a las corrientes CD circulantes (los transformadores se calientan y tampoco pueden entregar la energía completa a la carga).

El desfasamiento CD también causa erosión

electrolítica de los electrodos de aterrizado y otros conectores, corrientes de falla de tierra y disparo molesto del equipo.

2.2. Armónicas

2.2.1 Descripción

Las armónicas son una distorsión de la forma de onda eléctrica normal (sinusoidal). Las formas de onda del voltaje o la corriente asumen formas no sinusoidales. La forma de onda resultante corresponde a la suma de diferentes ondas sinusoidales con diferentes magnitudes y fases, teniendo frecuencias que son múltiplos de la frecuencia del sistema de energía fundamental.

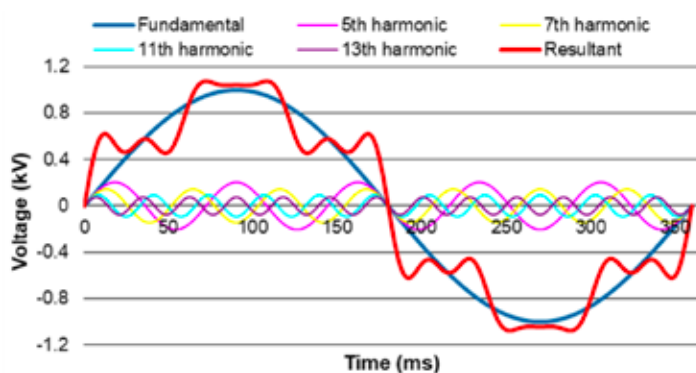


Fig. 3: Forma de onda de armónicas

2.2.2 Causas

Las fuentes clásicas de las armónicas son las máquinas eléctricas funcionando arriba del ángulo de la curva de magnetización (saturación magnética), hornos de arco, máquinas de soldar, rectificadores, ciclo-convertidores y motores de escobillas de CD.

Las fuentes modernas de armónicas son todas las cargas no lineales, como el equipo electrónico de potencia incluyendo VSD, fuentes de poder de modo conmutado, inversores solares, generadores eólicos, computadoras personales, impresoras, lámparas LED, cargadores de batería y

sistemas UPS. Las cargas no lineales monofásicas prevalecen en los edificios de oficinas modernos, mientras que las cargas no lineales trifásicas están generalizadas en plantas y aplicaciones industriales así como en plantas de generación y red de transmisión y distribución.

2.2.3 Consecuencias

Las corrientes armónicas causan voltajes armónicos entre la impedancia de la red lo cual se suma al voltaje fundamental del sistema resultando en una distorsión de aquel. Algunas de las consecuencias de las armónicas son:

- Mal funcionamiento del equipo y reducción de la duración de la vida.
- Interferencia de las comunicaciones.
- Mala operación de fusibles e interruptores.
- Disparo molesto de los relevadores de protección.
- Calentamiento del equipo y conductores.
- Aumento de la emisión de ruido del equipo.
- Errores de medición.
- Saturación de los transformadores.
- Problemas de sincronización y conmutación de los generadores.
- Probabilidad de aumento de la resonancia.

Las armónicas en aplicaciones de bajo voltaje se acumulan en los cables neutros de las instalaciones y podrían causar sobrecarga y consecuencias adicionales como incendio de los cables y falla de los transformadores.

2.3. Interarmónicas

2.3.1 Descripción

Las interarmónicas son un tipo de distorsión de la forma de onda que normalmente es el resultado de una señal impuesta en el voltaje de suministro por algún equipo eléctrico. Esto resulta en voltajes o corrientes que tienen componentes de la frecuencia que no son múltiplos integrales de

la frecuencia fundamental a la cual el sistema de suministro está diseñado para operar (50 o 60 Hz). Las interarmónicas pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda ancha.

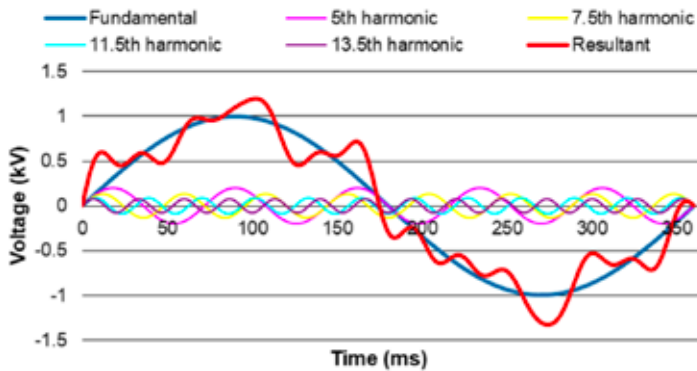


Fig. 4: Forma de onda de interarmónicas

2.3.2 Causas

Las interarmónicas generalmente son el resultado de la conversión de la frecuencia y a menudo no son constantes; varían con la carga. Las fuentes principales de la distorsión de la forma de onda interarmónica son los convertidores de frecuencia estáticos, hornos de inducción, dispositivos de arco, generadores de turbina eólica y equipo defectuoso.

Los cicloconvertidores (los cuales controlan motores lineales grandes usados en los molinos de rodillos, equipo de cemento y minería), crean algunos de los problemas de energía de suministro interarmónicos más significativos. Las señales portadoras de la línea eléctrica también pueden considerarse interarmónicos.

2.3.3 Consecuencias

Las corrientes interarmónicas pueden excitar resonancias muy graves en el sistema de potencia al coincidir la frecuencia de interarmónica variable con las frecuencias naturales del sistema. El efecto más notable de las interarmónicas es el parpadeo visual de las pantallas y luces, así como

causar calor en el equipo e interferencia en la comunicación.

2.4. Muestras de voltaje (notching)

2.4.1 Descripción

Las muescas de voltaje es una perturbación de voltaje periódica causada por la operación normal de dispositivos electrónicos de energía cuando la corriente se conmuta de una fase a otra. Puede ocurrir continuamente, por lo que se puede caracterizar por medio del espectro armónico del voltaje afectado. Los componentes de la frecuencia asociados con las muescas pueden ser muy altos y pueden no ser caracterizados inmediatamente con el equipo de medición normalmente usado para el análisis de armónicas.

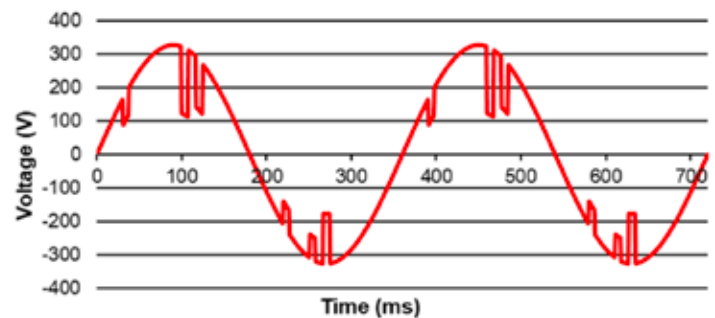


Fig. 5: Forma de onda de la graduación

La muesca introduce frecuencias armónicas y no-armónicas que son mucho más grandes que aquellas encontradas en sistemas de voltaje más alto. Normalmente estas frecuencias están en la gama de radio frecuencia.

2.4.2 Causas

Las muescas las causan los dispositivos electrónicos, como los mandos de velocidad variable, atenuadores de luz y soldadoras eléctricas bajo operación normal y, rectificadores o convertidores trifásicos que generan corriente continua CD.

2.4.3 Consecuencias

Las consecuencias usuales de la muesca son la interferencia de la señal introducida en los circuitos lógicos y de comunicación, el paro del sistema, pérdida de datos, problemas con la transmisión de datos y la sobrecarga de los filtros de interferencia electromagnética y otros circuitos capacitivos similares sensibles a la alta frecuencia.

2.5. Ruido

2.5.1 Descripción

El ruido son señales eléctricas de alta frecuencia no deseadas con contenido espectral de banda ancha menores a 200 kHz sobrepuestas a las formas de onda de voltaje o corriente del sistema de energía en los conductores de fase, conductores neutros o líneas de señal. Básicamente el ruido consiste de cualquier distorsión indeseable de la señal de energía que no se puede clasificar como distorsión armónica, interarmónica o transitoria.

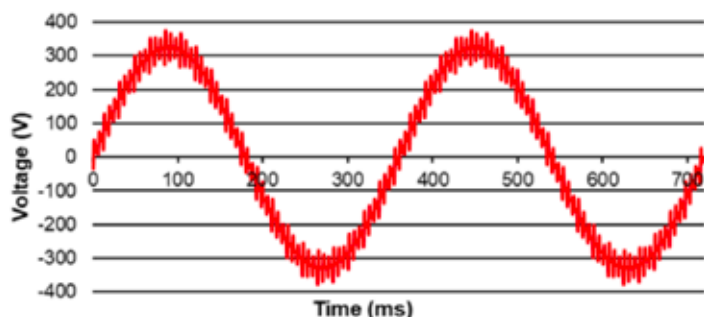


Fig. 6: Forma de onda de ruido

2.5.2 Causas

El ruido en los sistemas de energía puede ser causado por los dispositivos electrónicos de energía, circuitos de control, equipo de arco, cargas con rectificadores de estado sólido, máquinas de soldar, transmisores de radio y suministros de energía conmutados. Los problemas de ruido a menudo se exageran por la proximidad de fuentes de EMI (Interferencia electromagnética) o RFI (Interferencia de radiofrecuencia) y el aterrizado inapropiado que falla para conducir el ruido fuera

del sistema de energía eléctrica.

2.5.3 Consecuencias

El ruido puede causar perturbaciones en equipo electrónico sensible, normalmente no destructivo. Puede causar problemas técnicos al equipo como errores en el procesamiento de datos, mala operación del equipo, falla de componentes a largo plazo, falla del disco duro y distorsión de pantalla de video.

La corrupción de datos es uno de los resultados más comunes del ruido. Las EMI y RFI pueden crear inductancia (corriente y voltaje inducidos) en los sistemas de llevar datos. Como los datos están viajando en formato digital (unos y ceros que se representan con un voltaje o la falta de voltaje), el exceso de voltaje arriba de los niveles de operación de datos puede hacer que la apariencia de los datos diferentes u opuestos al original.

3. Variaciones de corta duración

3.1. Caída de voltaje

3.1.1 Descripción

Las caídas de voltaje también se les llama disminución de voltaje. Son una reducción del voltaje CA a una frecuencia dada entre el 10 y 90% del voltaje ms nominal, con una duración de 0.5 ciclos a un minuto. Dependiendo de la duración las caídas de voltaje se pueden clasificar en instantáneas, momentáneas y temporales.

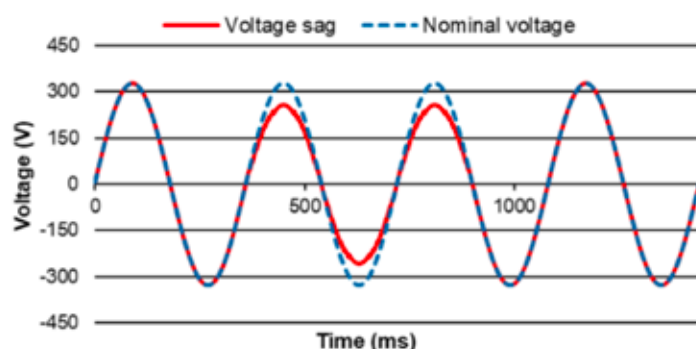


Fig. 7: Forma de onda de una caída de voltaje

3.1.2 Causas

Las caídas de voltaje las causan normalmente fallas en la red de transmisión o distribución (la mayoría de las veces en alimentadores en paralelo) y fallas en la instalación del consumidor.

También a menudo son el resultado de la conmutación en cargas con corrientes de arranque altas como los motores grandes. Un motor puede demandar seis veces su corriente de operación normal, o más, mientras arranca. Crear una carga eléctrica grande y repentina como éstas es probable que cause una caída de voltaje significativa para el resto del circuito en que se encuentra.

3.1.3 Consecuencias

Las caídas de voltaje causan una mala operación del equipo de tecnología de la información como los sistemas de control basados en un microprocesador (PC, PLC, VSD, etc.) que pueden llevar a un paro del proceso. También causan el disparo de los contactores y los relevadores electromagnéticos y la desconexión y pérdida de eficiencia en las máquinas rotatorias eléctricas.

3.2. Oleada de voltaje

3.2.1 Descripción

Una oleada de voltaje es un aumento momentáneo del voltaje CA, a la frecuencia de energía, fuera de las tolerancias normales, por una duración de 0.5 ciclos a un minuto. Dependiendo de la duración, las oleadas de voltaje pueden clasificarse en instantáneas, momentáneas y temporales.

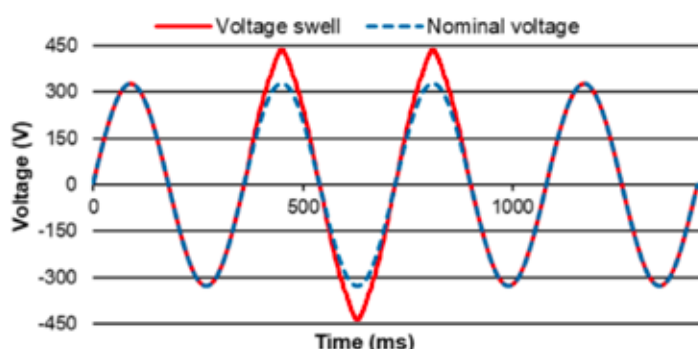


Fig. 8: Forma de onda de oleada de voltaje

3.2.2 Causas

Las oleadas de voltaje normalmente las causan el arranque/paro de cargas pesadas, fuentes de energía mal dimensionadas, transformadores mal regulados (principalmente durante las horas fuera de picos) y conexiones de neutro de alta impedancia.

3.2.3 Consecuencias

Las oleadas de voltaje pueden causar errores de datos, parpadeo de luces y pantallas, degradación del aislamiento y los contactos eléctricos, daño de semiconductores en electrónica, y paro o daño de equipo sensible.

3.3. Interrupciones

3.3.1 Descripción

Una interrupción es la pérdida completa del suministro eléctrico por una duración de 0.5 ciclos a un minuto. Dependiendo de la duración, las interrupciones se pueden clasificar en momentáneas y temporales.

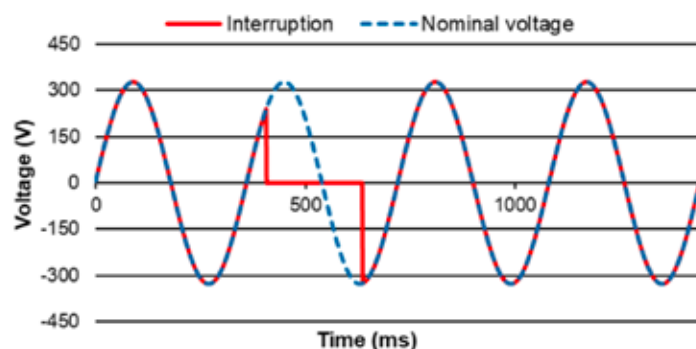


Fig. 9: Forma de onda de la interrupción

3.3.2 Causas

Las causas de las interrupciones pueden variar pero normalmente son el resultado de algún tipo de daño a la red de suministro eléctrico. Las interrupciones pueden suceder debido a la apertura y reconexión automática de los dispositivos de

protección para sacar de servicio una sección de la red que falla. Las causas principales de falla podrían ser falla del aislamiento, relámpagos o arco en aislamiento.

3.3.3 Consecuencias

Una interrupción puede causar una perturbación, daño y tiempo muerto. Causa el disparo de los dispositivos de protección, pérdida y errores en los datos, mala operación del equipo de procesamiento de datos y el paro de equipo sensible, como VSD, PC y PLC si no están protegidos para eso. Muchos procesos industriales dependen del movimiento constante de ciertos componentes mecánicos. Cuando estos componentes se apagan repentinamente por una interrupción, puede causar daño al equipo, pérdida de producción, más el costo asociado con el tiempo muerto, limpieza y volver a arrancar.

4. Variaciones de larga duración

4.1 Subvoltajes

4.1.1 Descripción

Los subvoltajes son una reducción del voltaje CA a una frecuencia dada entre el 80 y 90% del voltaje ms nominal, por una duración de más de un minuto.

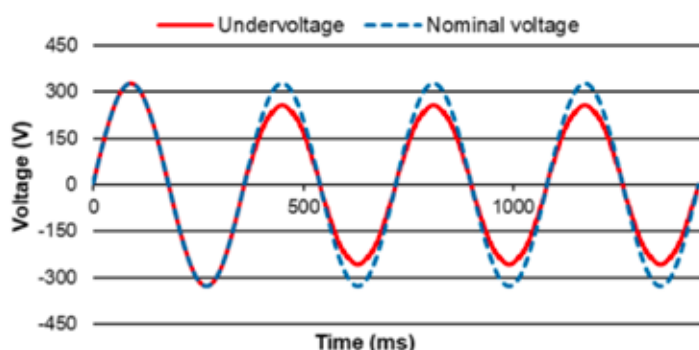


Fig. 10: Forma de onda de subvoltaje

4.1.2 Causas

Los subvoltajes son el resultado de problemas de largo plazo que también crean comas de voltaje. Algunas de las causas de los subvoltajes son la apertura y cierre de interruptores de circuito en líneas de T&D, arranque de motores grandes, energización de transformadores y regulación pobre del voltaje del sistema. En instalaciones con bancos de capacitores, los subvoltajes pueden suceder también cuando la carga se enciende y los bancos de capacitores se apaguen.

4.1.3 Consecuencias

Los subvoltajes pueden crear sobrecalentamiento en los motores y pueden llevar a la falla de cargas no lineales como los suministros de energía de computadoras. También llevan al paro del proceso en aplicaciones industriales.

4.2. Sobrevoltajes

4.2.1 Descripción

Los sobrevoltajes son un aumento del voltaje CA mayor al 110% a la frecuencia de la energía, por una duración de más de un minuto.

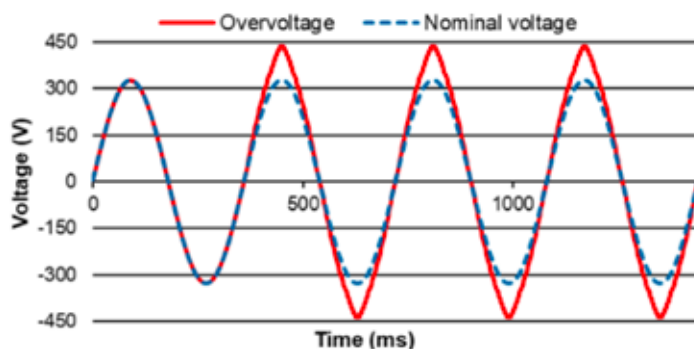


Fig. 11: Forma de onda del sobrevoltaje

4.2.2 Causas

Los sobrevoltajes son el resultado de problemas a largo plazo que también crean oleadas de voltaje. Los sobrevoltajes normalmente los causa la conmutación de la carga y también son

comunes en áreas donde los ajustes de los bornes de los transformadores de suministro se hacen incorrectamente y las cargas se han reducido.

La infraestructura de distribución muy pequeña aunada a periodos de alta demanda puede llevar a que las compañías de servicio aumenten los voltajes para poder suministrar la energía requerida, esto lleva a voltajes más altos de lo normal.

4.2.3 Consecuencias

Los sobrevoltajes pueden causar la falla de los componentes eléctricos que operan cerca de su voltaje nominal. Pueden crear también una alta demanda de corriente y causar el disparo innecesario de los interruptores de circuito posteriores, así como el sobrecalentamiento e inducir un esfuerzo en el equipo.

El equipo (bajo condiciones ambientales y de uso normales), que normalmente produce una cierta cantidad de calor, puede repentinamente aumentarlo debido al esfuerzo causado por un sobrevoltaje.

4.3. Interrupciones sostenidas

4.3.1 Descripción

Una interrupción sostenida es la disminución del voltaje de suministro a esencialmente cero voltios (menos de 0.1 pu) por una duración de un minuto.

Las interrupciones de más de un minuto a menudo son permanentes por naturaleza y requieren de la intervención manual para restablecerlas.

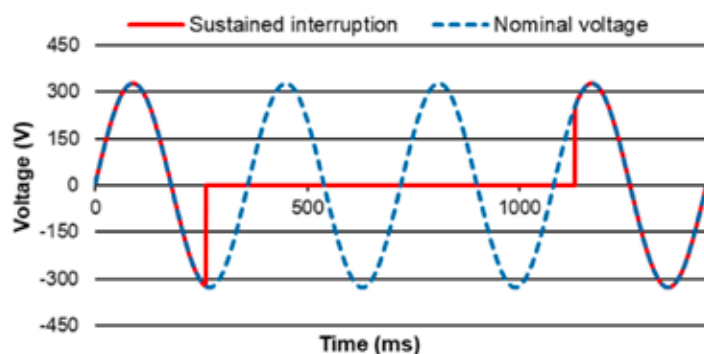


Fig. 12: Forma de onda de interrupción sostenida

4.3.2 Causas

Las causas de las interrupciones sostenidas pueden variar pero normalmente son el resultado de falla del equipo en el sistema de energía eléctrica, clima y objetos destructivos (árboles, carros, etc.) golpear líneas o postes de T&D, incendios, errores humanos y mala coordinación o falla de los dispositivos de protección.

4.3.3 Consecuencias

Las interrupciones sostenidas pueden causar la interrupción, daño y tiempo muerto en las aplicaciones industriales y en los edificios. Las consecuencias incluyen la pérdida de datos, paro de producción, manufactura de productos defectuosos, etc.

5. Transitorios

5.1 Transitorios impulsivos

5.1.1 Descripción

Los transitorios impulsivos son eventos repentinos de picos altos que elevan el voltaje y/o los niveles de corriente, bien sea en una dirección positiva o negativa.

Estos tipos de eventos se pueden categorizar más aún por la velocidad a la cual ocurren (rápida, media y lenta). Los transitorios impulsivos pueden ser eventos muy rápidos (tiempo de elevación de 5

ns desde el estado estable al pico del impulso) de duración de corto plazo (menos de 50 ns) y, pueden alcanzar miles de voltios, aún en bajo voltaje.

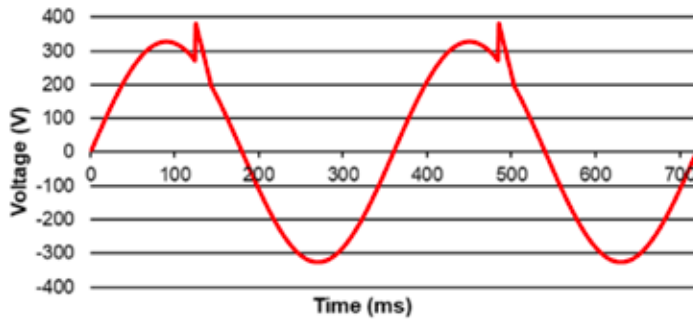


Fig. 13: Forma de onda de transitoria impulsiva

5.1.2 Causas

Las causas de los transitorios impulsivos pueden ir desde la pérdida (o corrupción) de datos, interferencia electromagnética, a daño físico del equipo como la destrucción de componentes (particularmente electrónicos) y de materiales de aislamiento.

5.2. Transitorios oscilatorios

5.2.1 Descripción

Un transitorio oscilatorio es un cambio repentino en la condición de estado estable en la señal de voltaje, corriente o ambos, los límites de señal tanto positivos como negativos, oscilando a la frecuencia natural del sistema.

El transitorio causa que la señal de energía varíe alternadamente y luego se encoja muy rápidamente. Los transitorios oscilatorios normalmente declinan a cero en un ciclo. Dependiendo de la frecuencia, pueden clasificarse en transitorios de frecuencia baja, media o alta.

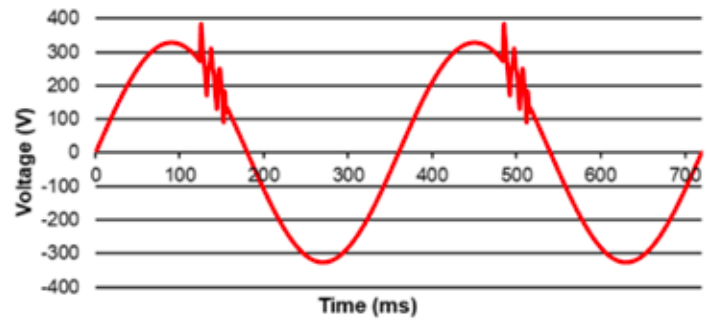


Fig. 14: Forma de onda de transitoria oscilatoria

5.2.2 Causas

Estos transitorios ocurren cuando se conmutan cargas inductivas o capacitivas como motores o bancos de capacitores. Un transitorio oscilatorio ocurre porque la carga se resiste al cambio. La iluminación, eliminación de falla del servicio y la energización del transformador y la ferro-resonancia pueden también causar transitorios oscilatorios.

5.2.3 Consecuencias

Los transitorios oscilatorios pueden causar la pérdida de datos, daño al equipo eléctrico y disparo de VSD.

6. Otros problemas de calidad de la energía

6.1. Desbalanceos del voltaje

6.1.1 Descripción

El desbalanceo del voltaje es una variación de éste en un sistema trifásico en el cual las tres magnitudes de voltaje o las diferencias de fase-ángulo entre ellas no son iguales.

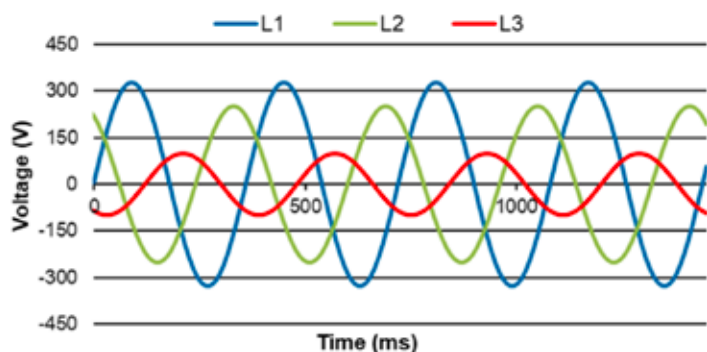


Fig. 5: Forma de onda de la graduación

6.1.2 Causas

El desbalance se debe principalmente a cargas desiguales en las líneas de distribución o dentro de la instalación. El desbalance puede ser causado por el suministro de servicios públicos externos debido a un mal funcionamiento del equipo, pero la fuente mas común de desbalance es interna y está causada por cargas o generadores ubicados dentro de la instalación.

El uso de cargas monofásicas como hornos de inducción, cargas de tracción, máquinas de soldadura y generadores monofásicos en un sistema de energía eléctrica trifásica da como resultado condiciones de desequilibrio en el sistema. Las corrientes desbalanceadas dan como resultado voltajes desequilibrados y afectan otras cargas y generadores conectados al sistema de energía eléctrico.

6.1.3 Consecuencias

Los sistemas desbalanceados implican la existencia de una secuencia negativa que es dañina para todas las cargas trifásicas. Las cargas más afectadas son las máquinas de inducción trifásicas. Los desbalances de voltaje normalmente se presentan como calentamiento, especialmente en motores de estado sólido. Los desbalanceos más grandes pueden causar calor excesivo a los componentes de motor y la falla intermitente de los controladores de motor.

6.2. Fluctuaciones de voltaje (parpadeo o flicker)

6.2.1 Descripción

Una fluctuación de voltaje es una variación sistemática de la forma de onda de voltaje o una serie de cambios de voltaje aleatorios, de dimensiones pequeñas, entre 0.1 y 7% del nominal a baja frecuencia, generalmente abajo de 30 Hz.

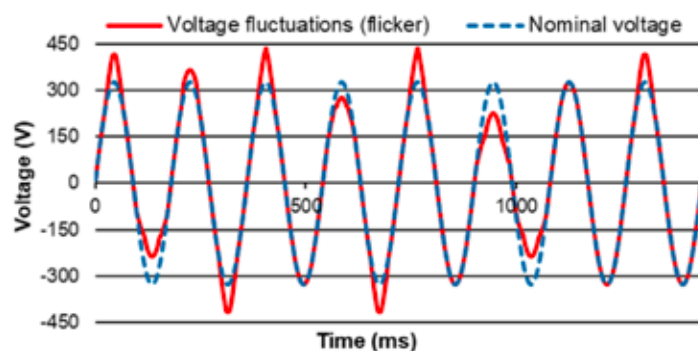


Fig. 17: Forma de onda de variación de frecuencia de energía

6.2.2 Causas

Los equipos que producen variaciones de corriente de carga rápidas y continuas (principalmente en el componente reactivo) pueden provocar fluctuaciones de voltaje. Normalmente, estas cargas tienen una alta tasa de cambio de potencia con respecto a la capacidad de cortocircuito en el punto de acoplamiento común. Ejemplos de estas cargas incluyen hornos de arco eléctrico, convertidores de frecuencia estáticos, cicloconvertidores, accionamientos de laminadores, bobinadoras y el proceso de arranque de motores grandes.

La fluctuación de voltaje también puede deberse al arranque y parada frecuentes de motores eléctricos (por ejemplo, ascensores), soldadores de arco, máquinas de soldadura por resistencia, atenuadores de lámparas, motores eléctricos grandes con cargas variables, calderas, grúas, sistemas HVAC, sistemas de imágenes médicas y cualquier otro tipo de cargas oscilantes.

Otras causas podrían ser la conmutación de condensadores, los cambiadores de tomas en carga del transformador (OLTC), los reguladores de voltaje escalonado y otros dispositivos que alteran el componente inductivo de la impedancia de la fuente. Las variaciones en la capacidad de generación, particularmente los tipos intermitentes como los generadores de turbinas eólicas, también producen fluctuaciones de voltaje.

6.2.3 Consecuencias

El parpadeo, por ejemplo de iluminación y pantallas, se considera el efecto más significativo de la fluctuación de voltaje porque puede afectar el entorno de producción al causar fatiga del personal y niveles más bajos de concentración de trabajo. Además, las fluctuaciones de voltaje pueden someter a los equipos eléctricos y electrónicos a efectos perjudiciales que pueden interrumpir los procesos de producción con considerables costos financieros.

Otros efectos de la fluctuación de voltaje incluyen disparos molestos debido al funcionamiento incorrecto de relés y contactores, disparo no deseado de los sistemas UPS para cambiar al modo de batería y problemas con algunos equipos electrónicos sensibles, que requieren un voltaje constante (por ejemplo, laboratorios médicos).

6.3 Variaciones en la frecuencia

6.3.1 Descripción

La variación de frecuencia es extremadamente rara en los sistemas de energía eléctrica estables, especialmente en los sistemas interconectados a través de una red eléctrica. Las variaciones de frecuencia de energía se definen como la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de energía de su valor nominal especificado (50 o 60 Hz).

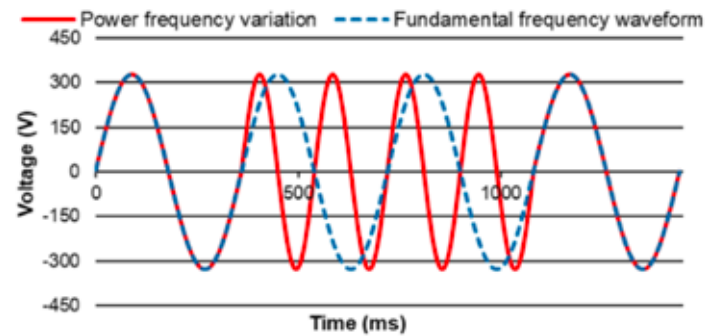


Fig. 5: Forma de onda de variación de frecuencia

6.3.2 Causas

Si bien es poco común en la energía generada por las empresas eléctricas, las variaciones de frecuencia son más comunes en sitios que tienen generadores de reserva dedicados o una infraestructura de energía deficiente. La variación de frecuencia es más común, especialmente si el generador está muy cargado. Las variaciones de la frecuencia de la energía también pueden ser creadas por las desconexiones de un gran bloque de carga o por la operación intermitente del equipo de carga.

6.3.3 Consecuencias

La variación de la frecuencia de energía afectaría a cualquier motor o dispositivo sensible que dependa de ciclos regulares y constantes de energía a lo largo del tiempo. Las variaciones de frecuencia pueden hacer que un motor funcione más rápido o más lento para igualar la frecuencia de la potencia de entrada. Esto haría que el motor funcionara de manera ineficiente y / o provocaría un aumento de calor y degradación a través del aumento de la velocidad del motor y / o el consumo de corriente adicional. La variación de la frecuencia de energía también podría producir parpadeos en las luces y detener algunos procesos de fabricación.

6.4. Bajo factor de potencia (atrasado o adelantado)

6.4.1 Descripción

El factor de potencia se define como la razón de los valores de la energía activa y los de la energía aparente y entonces sirve como la medida de la eficiencia con la que una carga está usando la energía.

En un sistema de energía eléctrica, una carga con un alto factor de potencia demanda menos corriente que una carga con un bajo factor de potencia para la misma cantidad de energía útil transferida teniendo así una mejor eficiencia.

El factor de potencia es un parámetro que puede ser afectado por las perturbaciones de la red como la distorsión o desbalanceo de la armónica. Es peor con un cambio de fase en aumento entre la corriente y el voltaje y con un aumento en la distorsión de la corriente.

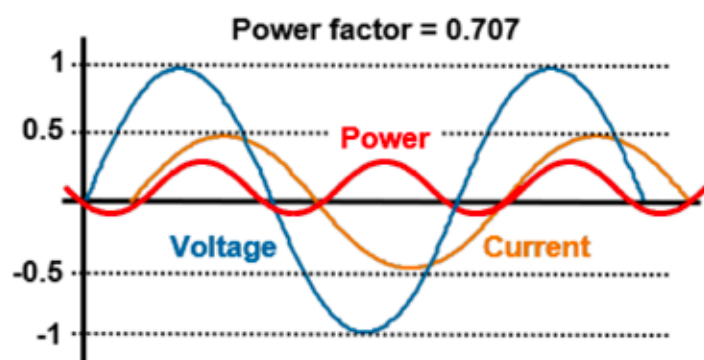


Fig. 18: Forma de onda del factor de potencia bajo

6.4.2 Causas

El bajo factor de potencia típicamente lo causa la presencia de cargas capacitivas o inductivas como motores, transformadores e iluminación. Otro contribuyente del bajo factor de potencia son las corrientes armónicas producidas por cargas no lineales. Estas corrientes están presentes en la corriente de carga, pero no en el voltaje. Las

corrientes armónicas no contribuyen en nada en el sistema de suministro de energía pero pueden bajar el factor de potencia.

El cambio de carga en el sistema de energía puede también causar un bajo factor de potencia. La carga en los sistemas de energía varía de alta a baja siguiendo la demanda. Durante los periodos de carga baja, debido al suministro de voltaje alto, hay un aumento de la corriente de magnetización la cual causa un bajo factor de potencia del sistema de energía.

6.4.3 Consecuencias

Si la instalación tiene un bajo factor de potencia, el servicio eléctrico necesita de suministrar más corriente de la que es necesaria para la energía que se necesita. Esto significa que el servicio eléctrico necesita comprar un equipo de generación, transmisión y distribución más grande y más caro con un índice de energía aparente más alto para producir una energía activa constante para las cargas y usar tamaños de conductor más grandes. Esto también produce altas pérdidas en el sistema de energía eléctrica. Debido a la alta corriente debido al bajo factor de potencia, las pérdidas del cobre aumentan en los conductores y los conmutadores. Los servicios eléctricos pasan estos costos a los clientes con un bajo factor de potencia. Típicamente se carga una sanción si el factor de potencia de los clientes cae a menos de un valor predeterminado, dependiendo del país el valor puede estar entre 0.98 y 0.85.

Las corrientes a bajo factor de potencia atrasado podrían causar caídas de alto voltaje en motores, transformadores y conductores. Esto resulta en una disminución del voltaje en el extremo de mando y requiere el uso de equipo extra para contrarrestar la caída de voltaje. Esto aumenta el costo del sistema de suministro de energía.

7. Soluciones a los problemas de calidad de la energía

Los síntomas de un problema de calidad de la energía pueden ser tan sutiles como una luz que se atenúa cuando arranca un motor grande o tan catastróficos como la falla del equipo y el paro del proceso. Una vez que se detectan estos síntomas en las instalaciones de los clientes, se requiere de una evaluación de calidad de la energía.

El objetivo principal de la evaluación es la de identificar apropiadamente qué es exactamente el problema (o problemas) de calidad de la energía de la instalación y su magnitud, para que pudiera seleccionarse la solución correctiva apropiada.

7.1. Posibles soluciones

Existen varias soluciones que se pueden aplicar una vez que se identifiquen el problema de calidad de la energía y su magnitud. Estas soluciones proporcionan diferentes niveles de atenuación del problema dependiendo de su complejidad técnica y la inversión financiera. Las soluciones de mejoramiento de calidad de la energía se pueden aplicar para resolver la mayoría de los problemas de calidad de la energía que los clientes pudieran enfrentar.

Las soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía se pueden dividir en convencionales como los bancos de capacitores conmutados de contactor o interruptor, bancos de reactor en derivación y filtros de armónica pasivos y, soluciones modernas electrónicas de potencia como los filtros de armónicas activas, generadores VAR estáticos, SVC, STATCOM, compensadores VAR híbridos (HVC) y BESS.

Categoría	Posibles soluciones
Distorsiones de forma de onda	
Compensación CD	Análisis de fallas. Reemplazar el equipo que falla.
Armónicas	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Reconfigurar el sistema de distribución. Instalar transformadores factor k. Sobredimensionar conductores neutros.
Interarmónicas	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Acondicionadores de energía y sistemas UPS.
	Reducir el acoplamiento entre equipo que genera distorsión y cargas sensibles.
Perturbación (notching)	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Reconfigurar el sistema de distribución. Relocalizar cargas sensibles. Instalar sistemas UPS.
Ruido	Retirar transmisores, reconfigurar aterrizado. Aumentar filtros de blindaje. Transformadores de aislamiento.
Variaciones de corta duración	
Caidas de voltaje	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Acondicionadores de energía o sistemas UPS. Transformadores de voltaje constante (ferroresonantes).
Oleadas de voltaje	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Acondicionadores de energía o sistemas UPS. Transformadores de "control" (ferroresonantes).
Interrupciones	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Instalar sistemas UPS.
Variaciones de larga duración	
Subvoltajes	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Acondicionadores de energía o sistemas UPS.
Sobrevoltajes	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Acondicionadores de energía o sistemas UPS. Transformadores de "control" (ferroresonantes).
Interrupciones sostenidas	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Instalar sistemas UPS.
Transitorias	
Transitorias impulsivas	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Supresores de incremento de voltaje de transitoria.
Transitorias oscilatorias	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Supresores de incremento de voltaje de transitoria. Acondicionadores de energía o sistemas UPS.

	Reactores de amortiguación e interruptores de cruce cero.
Otros problemas de la calidad de la energía	
Desbalances de voltaje	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Reconfiguración de las carga. Reparación de equipo con fallas. Reducir las corrientes de secuencia de fase negativa.
Fluctuaciones de voltaje (parpadeo)	Soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía. Retirar cargas problemáticas. Reconfigurar el sistema de distribución. Relocalizar cargas sensibles. Acondicionadores de energía o sistemas UPS.
Variaciones en la frecuencia de la energía.	Soluciones de mejoramiento en la calidad de la energía. Evaluación de los generadores defectuosos. Reconfigurar el sistema de distribución. Relocalizar cargas sensibles. Acondicionadores de energía o sistemas UPS.
Bajo factor de potencia (atrasado o adelantado)	Soluciones de mejoramiento en la calidad de la energía. Cambiar dispositivos antiguos por modernos. Operar el equipo solo dentro del voltaje nominal.

Tabla 2: Posibles soluciones para problemas de calidad de la energía.

7.2. Soluciones electrónicas de la energía

Existe una amplia gama de soluciones de electrónica de potencia que pueden resolver en tiempo real cualquier clase de problemas de calidad de la energía en sistemas de energía eléctrica de bajo y alto voltaje.

Filtros de energía activa	Filtros de armónica activos (AHF). Generadores VAR estáticos (SVG). Balanceadores de carga activos (ALB). Compensadores VAR híbridos (HVC).
Compensadores estáticos	Compensadores sincrónicos estáticos (STATCOM). Compensadores VAR estáticos (SVC). Reactores conmutados por tiristores (TSR). Reactores controlados por tiristor (TCR).
Dispositivos basados en almacenamiento de energía	Sistemas de calidad de energía ininterrumpidos (UPQ). Sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS).
Sistemas de energía híbridos	Sistemas de energía híbridos en red (HPS en la red). Sistemas de energía híbridos fuera de la red (HPS fuera de la red).

Tabla 3: Soluciones electrónicas para problemas de calidad de la energía

8. Conclusiones

La disponibilidad de energía eléctrica con alta calidad es crucial para que opere la sociedad moderna. Algunos generadores y consumidores están satisfechos con la calidad de la energía proporcionada por los servicios eléctricos, pero otros son más exigentes.

Para evitar las enormes pérdidas relacionadas con los problemas de calidad de la energía, los generadores y consumidores deben tomar acciones para evitar estos problemas. La selección de equipo menos sensible puede jugar un papel importante. Cuando hasta el equipo más resistente se ve afectado, entonces se deben tomar otras medidas, como la instalación de soluciones de mejoramiento de la calidad de la energía, generación distribuida o reconfiguración del sistema de energía eléctrica.

	AHF	SVG	ALB	HVC	SVC	STATCOM	Hybrid STATCOM	TSR	TCR	UPQ system	BESS	On-grid HPS	Off-grid HPS
Distorsiones de forma de onda													
Armónicas													
Interarmónicas													
Perturbación													
Variaciones de corta duración													
Caída de voltaje													
Oleada de voltaje													
Interrupciones													
Variaciones de larga duración													
Subvoltajes													
Sobrevoltajes													
Interrupciones sostenidas													
Transitorias													
Transitorias impulsivas													
Transitorias oscilatorias													
Otros probl. de calidad de energía													
Desbalances de voltaje													
Fluctuaciones de voltaje (parpadeo)													
Variaciones de frecuencia de energía													
Bajo factor de pot. (adel. o atrás.)													

Tabla 4: Soluciones electrónicas aplicadas a los problemas de calidad de la energía: Solución primaria (verde) y secundaria (amarilla).