

Calidad de la energía – Introducción

El concepto de Calidad de la Energía Eléctrica (CEE) admite variaciones en función del entorno en el cual se lo considere, y su medida y estándar de comparación está en función de las necesidades de cada usuario.

Para el alcance correspondiente a este artículo, se considera que la CEE comprende el conjunto de características técnicas que definen la disponibilidad de energía eléctrica en una instalación.

Referiremos en este reporte a la CEE en base a la tensión y corriente aplicadas. Si bien también forman parte del concepto de CEE otros varios temas tales como variación de frecuencia, componentes de c.c. y transitorios oscilatorios, no se consideran aquí por ser poco representativos en instalaciones comerciales e industriales.

En una instalación eléctrica, los apartamientos que se produzcan en las características técnicas esperadas de tensión y corriente, provocan una merma en la calidad de la energía eléctrica suministrada a las redes y equipos de los consumidores, pudiendo producir pérdidas económicas, fallas en equipamiento eléctrico y electrónico y, en una medida significativa, ineficiencias en el uso de la energía.

La CEE tiene impacto por un lado en la eficiencia técnica por parte del funcionamiento de los procesos y por otro lado en la eficiencia económica por parte de la gestión de la energía.

Los siguientes son los temas a abordar a continuación:

- Factor de Potencia
- Perturbaciones:
 - Variaciones de tensión
 - Armónicas
 - Desbalance de fases

Calidad de la energía - Factor de potencia

1. CONSIDERACIONES GENERALES

En una instalación eléctrica, la potencia consumida está formada por dos componentes.

- Un componente es la potencia *activa* o útil, que es la potencia que se transforma en trabajo. Ya sea la rotación de un eje, el flujo luminoso, o el calor generado para elevar la temperatura de un ambiente.
- El otro componente es la potencia *reactiva*, que es la potencia invertida en los campos eléctricos y magnéticos establecidos mediante fenómenos físicos electrotécnicos, campos los cuales forman parte fundamental de muchos de los sistemas eléctricos y electromecánicos más usuales y que permiten que fluya la potencia útil para su utilización final. Ya sea en un motor para generar rotación de su eje, en una lámpara de descarga para

liberar energía luminosa o en una máquina soldadora para generar el arco eléctrico y las altas temperaturas requeridas.

- Con la composición de estos dos tipos de potencia se obtiene la llamada potencia *aparente*.

La potencia es una magnitud instantánea. Consecuentemente, computando la potencia consumida a lo largo de un período de tiempo determinado se obtiene la energía consumida en ese período de tiempo.

Definición: Considerando estas premisas, podemos decir que el factor de potencia (FP) de un circuito o instalación es la proporción entre las magnitudes de potencia *activa* o útil y de potencia *aparente*.

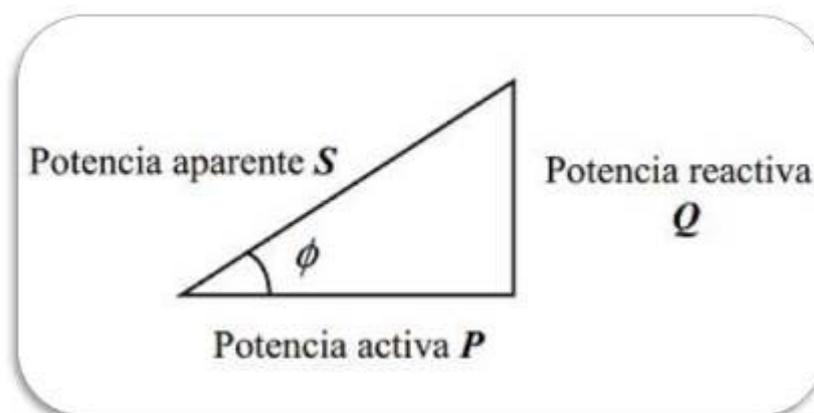
- Ejemplo: para un factor de potencia de valor 0,8, se puede decir que la potencia *activa* puesta en juego es de una magnitud igual al 80% de la potencia *aparente*.

Para continuar, abordemos algunas simples cuestiones técnicas:

1. La relación matemática que vincula los tres tipos de potencia mencionados es la siguiente:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

2. esta relación puede representarse gráficamente debido a su analogía con el teorema de Pitágoras:



(Nota técnica: Observar que la relación entre las potencias S, P y Q no es lineal.)

3. Entonces, la relación entre S (potencia *aparente*) y P (potencia *activa*) queda definida por la relación trigonométrica $\text{Cos}(\phi) = P/S$.

4. De esto se concluye la definición matemática de factor de potencia, en coincidencia con la definición planteada previamente:

$$FP = \cos (\phi) = P/S$$

5. o, de forma similar,

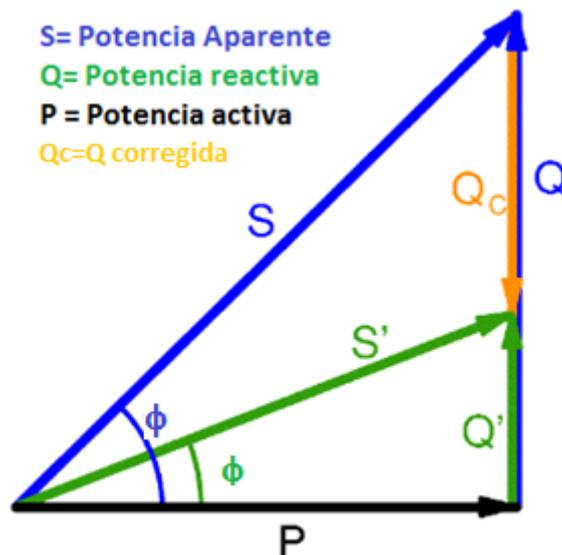
$$P = S \times FP$$

Teóricamente el factor de potencia puede tomar un valor en todo el rango entre 0,00 y 1,00.

Los casos extremos serían de potencia *activa* nula para $FP=0$ y potencia *activa* máxima igual a la potencia *aparente* para $FP=1$.

*(Nota técnica: La potencia reactiva y el factor de potencia pueden ser además del tipo inductivo o capacitivo. Sin embargo, a nivel industrial y residencial el factor de potencia resulta de tipo **inductivo**, en el caso general. Por lo tanto, en este reporte no abordaremos esta diferenciación).*

Se observa en el siguiente gráfico cómo a menores valores de potencia reactiva menor es el ángulo ϕ , y por lo tanto más se acerca a 1 el factor de potencia $FP=\cos (\phi)$.



2. CONSIDERACIONES COMERCIALES

Considerando la potencia como un producto comercial, se deduce que es deseable que la mayor parte posible de la potencia disponible *aparente* sea potencia útil o *activa*, tratando de maximizar la porción de potencia útil (aprovechable) puesta en juego a lo largo de toda una instalación, desde la

generación hasta el consumo. Esto es lo mismo que decir que el caso buscado es que el factor de potencia tienda a 1.

Un caso práctico puede ser fijar como objetivo un valor de aproximadamente 0,9 o 0,95 inductivo, lo cual es efectivo y realizable.

Dado que la energía *reactiva* no se factura (se factura energía *activa*), las empresas distribuidoras controlan el factor de potencia del consumidor mediante aplicación de multas cuando el factor de potencia disminuye de un valor fijado debido a una excesiva demanda de potencia *reactiva*. Hay que tener en cuenta que la potencia *reactiva* (y por lo tanto el factor de potencia) puede ser compensada por el consumidor puertas adentro de la instalación.

Por lo antedicho, las empresas distribuidoras exigen mantener el factor de potencia por encima de ciertos valores, de modo de asegurar una eficiencia en su instalación superior o al menos igual a un cierto valor definido.

- Ejemplo multa por consumo excesivo de energía *reactiva*¹:
Clientes con consumo de hasta 50kW.
FP entre 0,85 y 0,75 -> 10% de recargo sobre el total de la factura
FP menor a 0,75 -> 20% de recargo sobre el total de la factura

3. CONSIDERACIONES DE EFICIENCIA TÉCNICA

En una instalación eléctrica, se tienen de forma inevitable pérdidas de energía debidas al flujo de corriente a través de los distintos componentes de la instalación hasta el consumo en el cual se obtiene el trabajo útil buscado.

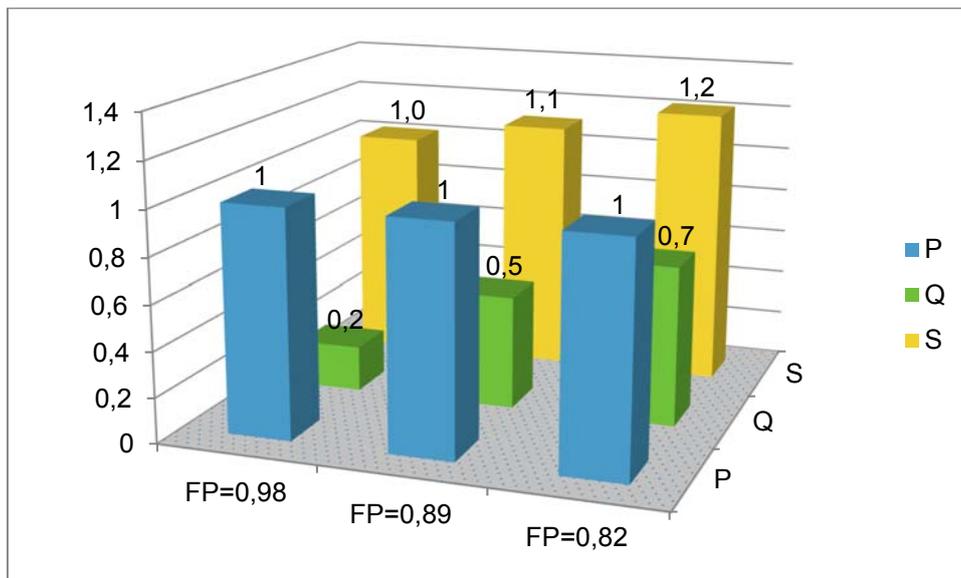
Estas pérdidas corresponden a la disipación de energía en forma de calor y son proporcionales cuadráticamente a la magnitud de la corriente circulante.

La corriente circulante es proporcional a su vez a la potencia *aparente*, la cual está formada por ambos componentes, la potencia *activa* y la potencia *reactiva*.

De esto se deduce que, para una misma potencia *activa* entregada a la carga:

- A menor consumo de potencia *reactiva* (o sea, mayor factor de potencia), menor consumo de potencia *aparente*.
 - A menor consumo de potencia *aparente*, menor valor de corriente circulante en la instalación.
 - A menor valor de corriente, menores pérdidas de energía en la instalación.
- Ejemplo: En el siguiente gráfico se observa para tres valores distintos de FP y un mismo valor de potencia *activa*, la proporción de potencia *reactiva* y *aparente* correspondientes.

¹ http://www.edenor.com.ar/cms/SP/CLI/HOG/INF_ENE_tarifa2.html



Para el caso de $FP = 0,82$ se tiene un 20% más de consumo de corriente que para el caso de $FP = 0,98$, lo que implica un 44% más de pérdidas por disipación de calor.

4. RESUMEN – PUNTOS CRÍTICOS DEL ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA DE UNA INSTALACIÓN

- A menor factor de potencia se tienen mayores pérdidas en la instalación. Esto es debido a que, para el mismo consumo de potencia *activa*, a menor factor de potencia mayor es la corriente demandada.
- Para una misma instalación con equipamiento eléctrico de un calibre determinado (cables, transformadores, tableros), cuanto más cercano está el factor de potencia a un valor de 1, mayor es la potencia *activa* que la instalación será capaz de manejar. Esto está relacionado con el punto anterior, dado que la potencia disipada en pérdidas es potencia que puede estar disponible para su uso en el caso de una instalación más eficiente.
- La legislación fija valores admisibles de factor de potencia con los que debe cumplir el consumidor, de modo de limitar la ineficiencia en la instalación de distribución. Excedidos estos límites, se le aplica una multa al consumidor. Como se dijo, hay que tener en cuenta que la empresa distribuidora solamente factura energía *activa*.

5. CONTROL DEL FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia puede ser controlado puertas adentro de una instalación. Algunas consideraciones son:

1. Al diseñar una instalación eléctrica, efectuar el estudio correspondiente para verificar que el factor de potencia estará dentro de los límites deseados. Tomar las consideraciones de diseño necesarias para lograr este objetivo.

2. Analizar el impacto sobre una instalación existente de
 - los equipos que se incorporen, verificar si se mantienen valores de factor de potencia aceptables o si éste debe ser corregido;
 - las modificaciones que se efectúen sobre la instalación.
3. Sobre la instalación ya montada, tomar mediciones para contrastar con los resultados obtenidos en los estudios previos.
4. En caso de que se disponga de la posibilidad, hacer el seguimiento por medición del factor de potencia de una instalación en el punto de conexión con la red de distribución, para distintos estados de carga típicos de la instalación y con cierta regularidad.

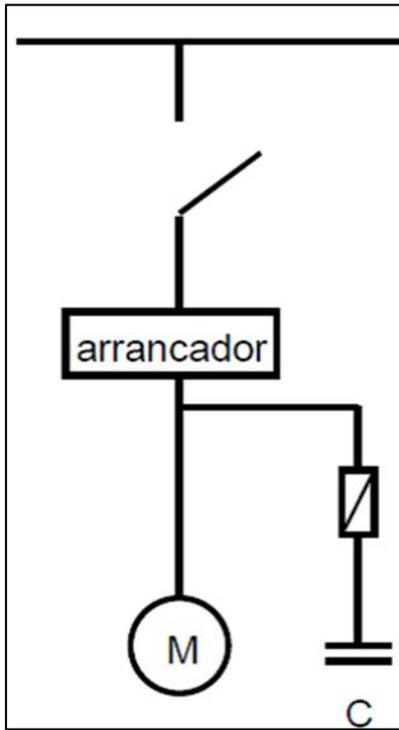
6. COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Para corregir el factor de potencia se puede considerar incorporar a la instalación capacitores o bancos de capacitores, mediante:

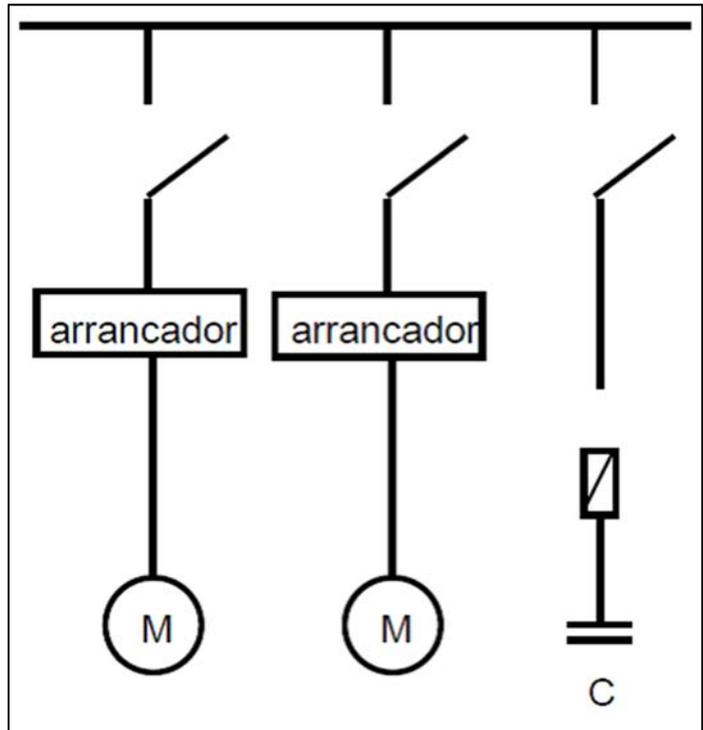
1. Compensación individual
2. Compensación general

El efecto del capacitor es compensar el consumo de energía *reactiva* propio de los equipos de la instalación. Esta compensación se efectúa aguas abajo del punto de conexión a la empresa distribuidora, por lo que la energía facturada corresponde a la demanda de la instalación mejorada por la compensación implementada.

- Compensación individual
Comprende la instalación de capacitores aplicados a la máquina en particular que genera el consumo de potencia *reactiva*, como es por ejemplo el caso típico de un motor o de un transformador.
- Compensación general
Comprende la compensación del factor de potencia mediante la instalación de un banco de capacitores en el tablero de distribución, compensando en forma general el consumo de potencia *reactiva* generado por las cargas alimentadas desde el mismo.

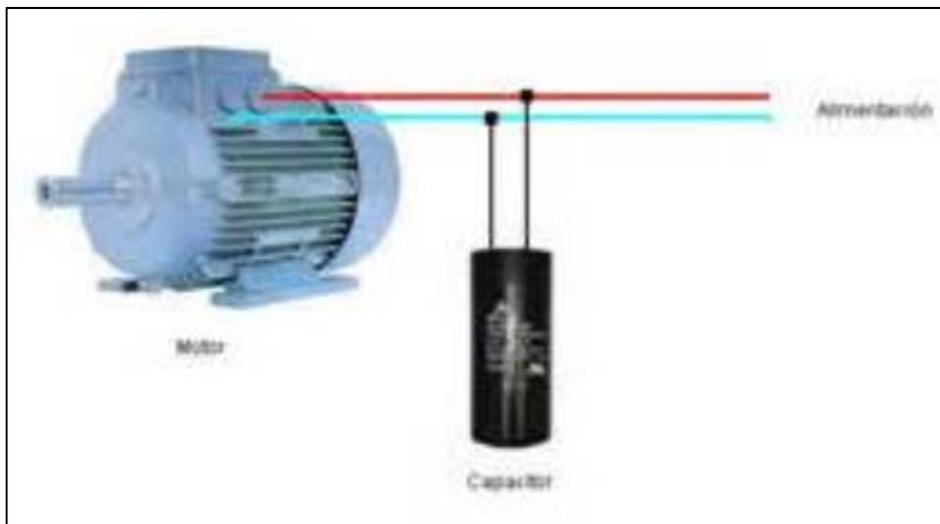


COMPENSACIÓN INDIVIDUAL



COMPENSACIÓN GENERAL

Imágenes: <http://jesusorea-potenciaelectrica.blogspot.com.ar/2012/>



COMPENSACIÓN INDIVIDUAL



COMPENSACIÓN
GENERAL

Calidad de la energía – Perturbaciones en la red eléctrica

1. CONSIDERACIONES GENERALES

Las perturbaciones implican apartamientos de los parámetros normales que definen la alimentación de una red eléctrica.

Los tipos de perturbación a enunciar en este reporte para evaluar la CEE en una instalación eléctrica son:

- Variaciones de tensión
- Armónicos
- Desbalance de fases en sistemas trifásicos

2. INTRODUCCIÓN TÉCNICA

La señal de tensión de una instalación eléctrica de corriente alterna queda definida por la variación del valor instantáneo a través del tiempo. De este modo queda descrita la forma sinusoidal característica (funciones matemáticas seno o coseno).

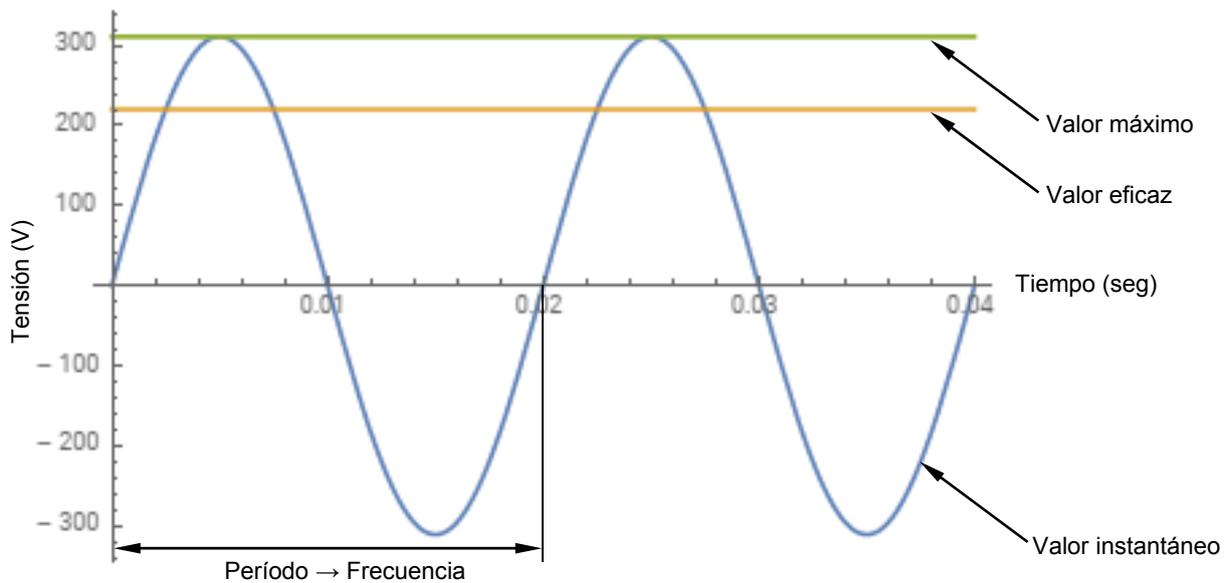
Los parámetros característicos de esta señal son:

- Valor eficaz (valor medio cuadrático, medido en voltios)
- Valor máximo (medido en voltios)
- Período (duración de un ciclo, medido en segundos)
- Frecuencia (en función del período, medido en hercios o hertz)

Para el caso típico de una red de Baja Tensión² de la República Argentina:

- Valor eficaz = 220 volts
- Valor máximo = 311 volts
- Período = 0,02 segundos = 20 milisegundos
- Frecuencia = 50 hercios

² Valores nominales.



Representación de la variación instantánea de una señal de tensión de Baja Tensión y sus parámetros característicos

3. DESCRIPCIÓN

a. Variaciones de tensión

La tensión de una instalación tiene asignado un valor nominal en voltios. Además este valor nominal admite un rango de tolerancia, definido en función del correcto funcionamiento de la instalación. En condiciones normales el valor real de tensión se ubicará dentro del rango de tolerancia, pero en situaciones anormales no deseadas este valor puede resultar afectado de modo de infringir los límites admitidos.

Adicionalmente, la forma de onda de la tensión puede verse modificada por fenómenos de muy corta duración (de unos pocos milisegundos) de modo de no modificar significativamente el valor eficaz pero sí producir efectos no deseados en la instalación.

Definición: las variaciones de tensión se caracterizan por una señal eventualmente afectada en su amplitud o valor instantáneo modificándose a valores por fuera de lo normal (ya sea en aumento o en disminución), y con una duración en el tiempo determinada desde algunos milisegundos a un minuto o más.

Cuando la variación es una ausencia de tensión con una duración mayor a un minuto, se considera como una interrupción del suministro sostenida en el tiempo.

De este modo, en función de la duración en el tiempo y basándose en la norma IEEE 1159 se pueden clasificar las variaciones desde corta duración (10 milisegundos) hasta interrupción sostenida en el tiempo (duración mayor a un minuto).

Esta clasificación responde, en términos generales, a la siguiente tabla:

TIPO	DURACIÓN	MAGNITUD
Variaciones de corta duración		
Interrupciones	10 ms - 1 min	< 10%
Huecos	10 ms - 1 min	10 - 90%
Elevaciones	10 ms - 1 min	110 - 140%
Variaciones de larga duración		
Interrupción sostenida	> 1 min	0%
Subtensión	> 1 min	80 - 90%
Sobretensión	> 1 min	110 - 120%
Transitorios		
De maniobra	del orden de los milisegundos	Variable
Atmosféricos		
Fluctuaciones (flicker)	S/Ref. ³	S/Ref. ³

Dentro de la legislación nacional, se observa según informe ENRE del año 2014 IA2014 Anexo 1, los siguientes límites admisibles⁴ para variación de tensión por parte de las empresas distribuidoras:

AT	5%
Alimentación aérea (MT o BT)	8%
Alimentación subterránea (MT o BT)	5%
Rural	10%

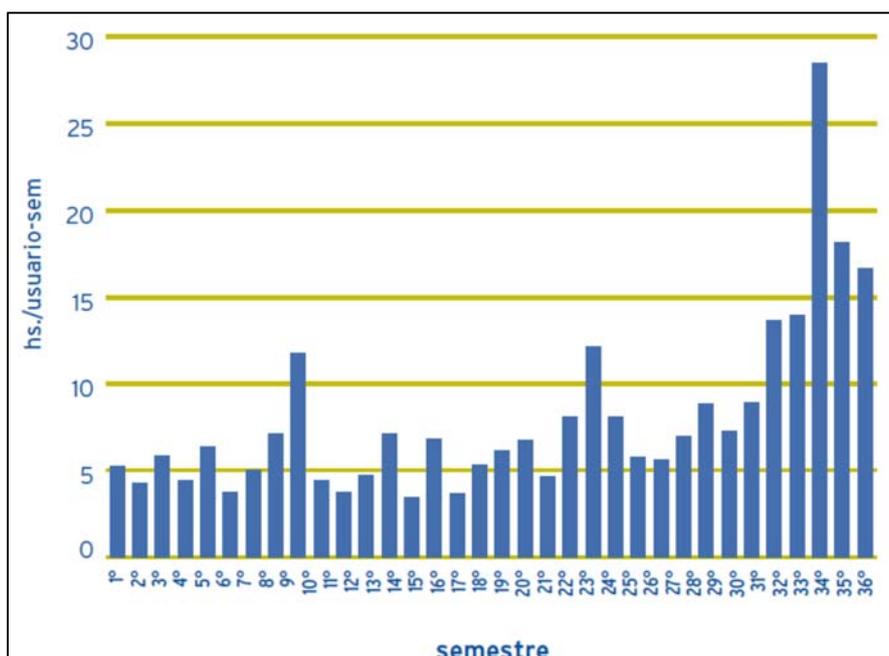
A modo de ejemplo se enuncia a continuación un caso representativo. Las interrupciones de servicio incurridas por las empresas distribuidoras son registradas y son objeto de análisis dentro de un marco regulatorio a cargo del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), aplicando las sanciones correspondientes.

Se toma como referencia una de las distribuidora de electricidad la cual tiene por concesión parte de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y del Gran Buenos Aires, con una potencia aparente instalada en la actualidad de aproximadamente 7.000 MVA⁵. Con el registro histórico desde el año 1996 se obtuvo la siguiente curva de tiempo total de interrupción **por usuario**.

³ Ítem 3.2.1 de Resolución ENRE 0465/1996.

⁴ Valores de variación porcentual de la tensión con respecto al valor nominal, establecidos para la campaña de control de la calidad del servicio de distribución por parte del ENRE descripto en el informe ENRE 2014 IA2014 Anexo 1.

⁵ La potencia aparente se mide en unidad Voltiamperios (VA). 1 MVA (mega voltiamperio) equivale a un millón de VA.



Fuente: informe ENRE 2014 IA2014 capítulo 06.

Haciendo un análisis superficial pero ilustrativo, se puede pensar en el caso de estar previendo la instalación de un comercio. Según se indica en esta información preliminar, en el último año, por cada seis meses habría entre 15 y 20 horas de falta de suministro. En función del tipo de actividad, se deberá analizar si esto es admisible o si es necesario prever por cuenta del usuario algún respaldo al suministro de energía, como un grupo electrógeno o sistema de respaldo con baterías, incurriendo de este modo en una ineficiencia energética.

Hay que destacar que para precisar suficientemente la estimación de falta de suministro, en un análisis detallado se deberán analizar múltiples factores, tales como el tipo de suministro contratado a la distribuidora, la ubicación geográfica y el tipo de actividad a desarrollar.

Estas variaciones de tensión se producen mayormente por fallas de cortocircuito en algún punto de la red, pero también por maniobras en las redes, puesta en funcionamiento de grandes cargas o motores y descargas de rayos durante tormentas eléctricas.

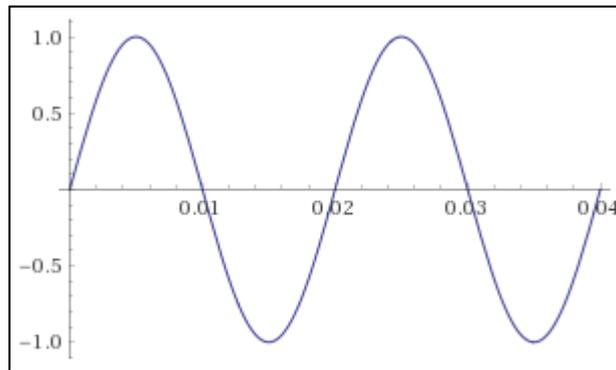
Las altas corrientes de falla producen caídas de tensión en todo su recorrido desde la generación. Por lo tanto, las variaciones de tensión disminuirán conforme aumente la confiabilidad general del sistema frente a las fallas.

Mediante estudios anticipados de la aislación del sistema y la correcta disposición de un sistema de puesta a tierra incluyendo dispositivos limitadores de sobretensión se puede reducir parte de los efectos perjudiciales.

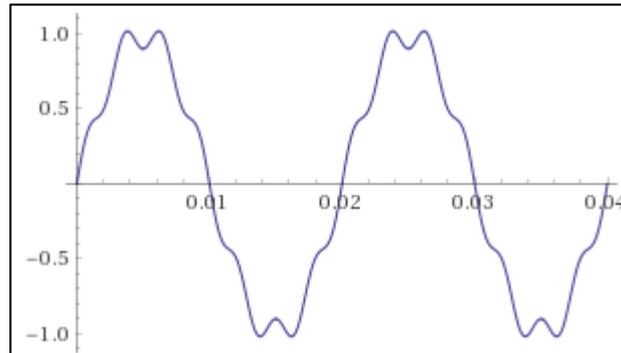
b. Armónicas

Las señales de tensión y corriente en una instalación eléctrica tienen, por naturaleza, una forma sinusoidal de amplitud según el nivel de tensión y de una frecuencia nominal de red definida.

En la siguiente imagen se grafica la señal sinusoidal pura en función del tiempo, aplicable tanto a tensión como a corriente en una instalación de corriente alterna.

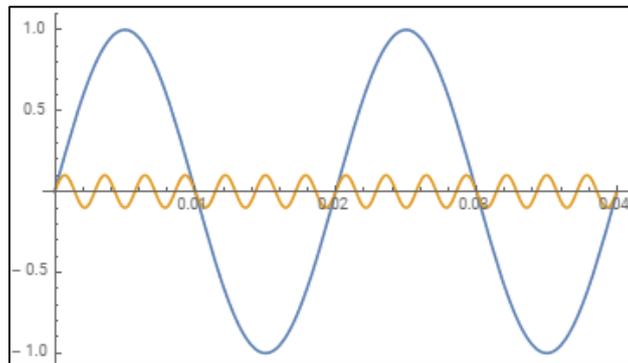


Por efecto de los distintos componentes de una red eléctrica, aparecen componentes con comportamiento “no lineal”, con los cuales la forma de onda sinusoidal de tensión y corriente pasa a tener una forma distorsionada, como puede verse en la siguiente imagen:



Esta distorsión se debe a señales de frecuencia distinta a la frecuencia de red (componentes armónicas) y tiene efectos indeseables en los distintos equipos eléctricos y mecánicos de la instalación.

La señal anterior mostrada de ejemplo es la composición entre una señal de frecuencia 50 Hz (componente fundamental) y una señal de 350 Hz (armónica de 7mo orden) de amplitud igual al 10% de la componente fundamental:



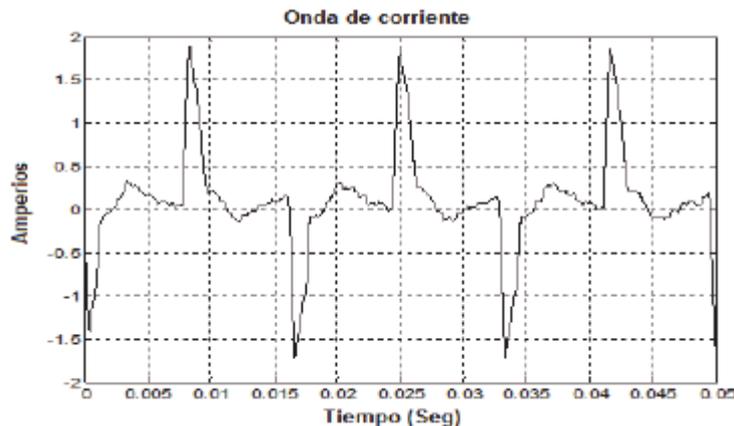
En el caso general de las instalaciones de distribución, la distorsión armónica se introduce en principio en la señal de corriente, proveniente de máquinas y dispositivos de ciertas características de funcionamiento tales que producen este fenómeno. Luego, por vinculación a través de comportamientos electrotécnicos la distorsión en corriente se refleja en la señal de tensión, lo cual esparce la distorsión armónica a otros puntos de la instalación incluso sobre equipos y dispositivos que no produzcan por sí mismos distorsión armónica.

La Resolución ENRE 0465/1996 en su ítem 3.2.2. establece los límites de distorsión admisibles aplicables a empresas de distribución de electricidad, con el objeto de compatibilizar los límites máximos de presencia de distorsión en la red con las prestaciones del equipamiento eléctrico a instalar. Entre otros parámetros, se define la máxima distorsión en tensión admisible tanto en BT como en MT en un 8%.

- Fuentes de distorsión armónica
 - Convertidores de frecuencia, variadores de velocidad. Son una de las principales fuente de armónicos en las instalaciones industriales.
 - Lámparas fluorescentes, lámparas de descarga.
 - Transformadores con sobrecarga o sometidos a sobretensión.
 - Motores, debido a asimetrías e imperfecciones constructivas.
 - Arcos eléctricos de máquinas de soldar y de hornos eléctricos, distorsión muy irregular.
- Efectos en la instalación
 - Pérdidas adicionales para una misma potencia útil entregada.
 - Sobrecalentamiento de equipos (motores, generadores, transformadores, cables, tableros eléctricos, etc.)
 - Actuación de protecciones sin presencia de falla en la instalación.
 - Efectos perniciosos en los capacitores, provocando disminución de vida útil y falla.

- Interferencias en redes telefónicas y equipos electrónicos sensibles.
- Lecturas erróneas en dispositivos de medición no aptos para presencia de componentes armónicos.

En la siguiente imagen se observa como ejemplo la señal de corriente medida en un banco de pruebas de lámparas de bajo consumo hogareñas⁶.



Las instalaciones con equipamiento que sean fuente de distorsión deben contar con un seguimiento mediante mediciones en los puntos críticos de la instalación para poder prevenir efectos perjudiciales, a lo largo de la vida útil de la instalación y a medida que se va modificando la misma e incorporando nuevo equipamiento.

En el caso en que se lo requiera y sea económicamente factible, se puede lograr una mejora en los índices de contenido armónico mediante la instalación de filtros de armónicos.

Otra herramienta para paliar los efectos de los armónicos es diseñar y operar la instalación en una configuración con alta capacidad de cortocircuito. Esto siempre será una solución de compromiso entre los inconvenientes y las ventajas técnicas de una determinada magnitud de la capacidad de cortocircuito de una red.

Se debe prestar atención en el diseño de la instalación de modo de aplicar de antemano criterios de diseño correctos para reducir el impacto de posibles distorsiones, como ser:

- Canalizaciones respetando separación entre potencia y señales.
- Correcto diseño del sistema de puesta a tierra tanto para potencia como para señales.
- Escoger el tipo de cable específico para cada uso, prestando especial atención al apantallamiento de las señales y a los cables de motores alimentados con variador de velocidad.

⁶ <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n194.46922>

- Para los equipos que generan distorsión armónica, considerar desde la etapa de especificación y compra las normas y valores máximos que se deben exigir en relación a la distorsión armónica.

c. Desbalance de fases

El desbalance de fases implica que, en un sistema trifásico, las tres tensiones de fase no sean iguales entre sí en magnitud o que tengan desfase de ángulo fuera de lo normal.

El mismo es provocado por desequilibrio en la carga total conectada a cada una de las fases. Es decir, el desequilibrio se produce al conectar a cada fase cargas monofásicas de distinta magnitud sin distribuir las equitativamente. Esto provoca corrientes y caídas de tensión diferentes en cada fase y el neutro, y por lo tanto diferencia entre las tensiones de fase en el punto de conexión trifásico con otras cargas.

El desbalance de fases provoca sobrecalentamiento en los motores trifásicos y presencia de corriente de neutro, lo cual provoca una ineficiencia energética en la instalación. De hecho, en una instalación trifásica equilibrada la corriente por el conductor neutro es teóricamente nula y por lo tanto las pérdidas de energía por disipación de calor en el mismo también son nulas.

Adicionalmente, al cargar una fase con una corriente notoriamente mayor a las dos restantes se provoca que ésta se aproxime a su máxima capacidad, al límite de la actuación de las protecciones. Contrariamente, se podría trabajar con una holgura de seguridad trasladando parte de la carga de esta fase a alguna de las otras dos.

La responsabilidad de lograr el mayor equilibrio posible de las cargas conectadas a las fases está por un lado en la propia instalación del consumidor, quien debe efectuar la verificación correspondiente al reparto de carga desde su tablero general; y por otro lado, en el correcto diseño de los tendidos de alimentación de las empresas de distribución de energía eléctrica, haciendo durante el diseño de las instalaciones una buena estimación estadística de los usuarios monofásicos a conectar y definiendo su reparto a futuro entre las fases de manera equilibrada.

4. CONCLUSIONES

a. Eficiencia energética

Tal como se analizó previamente en cada caso, las perturbaciones de las definiciones planteadas se observa que el contenido de componentes armónicas genera pérdidas de energía adicionales en cables y equipos, lo que va específicamente en detrimento de la eficiencia energética. Esto es debido a que las componentes armónicas incrementan el valor eficaz de la corriente consumida, mientras que el trabajo útil producido se mantiene constante.

Los casos de perturbaciones con disminución o ausencia de tensión producen una ineficiencia energética principalmente desde el punto de vista del consumidor. Esto es debido a la fuente de energía de respaldo que puede llegar a ser requerida para absorber las contingencias que no se puedan asumir como tolerables.

Los desbalances de fase incurren en pérdidas innecesarias de energía al generar corriente de circulación por el conductor neutro y calentamientos adicionales en motores trifásicos.

b. Eficiencia económica

Complementariamente a lo expuesto precedentemente, La eficiencia económica de una instalación está directamente afectada por las perturbaciones.

Desde el punto de vista del **equipamiento electrónico**, los huecos y elevaciones de tensión y los transitorios son una amenaza significativa. Los dispositivos electrónicos son especialmente sensibles a ellos, dado que intrínsecamente su aislación eléctrica es menos resistente que en el equipamiento de potencia. Por este motivo es altamente recomendable que todo sistema informático esté alimentado a través de un equipo estabilizador de tensión, el cual introduce un efecto de amortiguación de los fenómenos transitorios.

Asimismo, los cortes de tensión introducen un componente perjudicial adicional en los sistemas informáticos que es la interrupción del funcionamiento de sistemas de control y monitoreo y la potencial pérdida de información almacenada en memoria volátil. La solución para esto es incorporar sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) con almacenamiento de energía por medio de baterías. Los SAI existen en magnitudes muy variadas, desde equipos individuales para computadoras personales con autonomía de algunos minutos hasta grandes sistemas industriales para mantener en funcionamiento sistemas de control, monitoreo y alarma durante horas, y hasta alimentar equipos críticos de fuerza motriz.

Desde el punto de vista del **equipamiento de potencia** (como ser transformadores, motores cables, tableros, etc.), la principal amenaza que presentan las perturbaciones es la aparición de fallas en la aislación. Estas fallas en la aislación pueden devenir en inconvenientes inmediatos como la interrupción del servicio o en inconvenientes a largo plazo, como la disminución de la vida útil de los equipos.

Adicionalmente, por efecto de componentes armónicas presentes en la tensión y corriente, el equipamiento de potencia es susceptible a sobrecalentamiento y disminución de eficiencia.

Finalmente, el desbalance de fases también acarrea efectos negativos en el equipamiento. En general provoca calentamiento adicional y disminución de la potencia útil. En los motores se generan vibraciones mecánicas en el rotor que se transmiten a la carga accionada. En los cables de distribución con

neutro, produce incremento de la corriente de neutro, con el consiguiente calentamiento y pérdidas innecesarias.

Desde el punto de vista del **proceso**, se observa que toda interrupción de la alimentación proveniente de la red de distribución generaría interrupción de procesos productivos al consumidor, en mayor o menor medida en función de la duración de la perturbación y de la inercia del sistema para recuperar su estado normal de funcionamiento. Como se mencionó, los sistemas de alimentación ininterrumpida y grupos electrógenos de emergencia son una solución que permite asegurar una continuidad en la alimentación independientemente de la calidad de la fuente de alimentación externa, en detrimento de la eficiencia energética global.

La CEE se vuelve cada vez más crítica a medida que la automatización de los procesos avanza en el ámbito industrial.

Desde el punto de vista **ambiental**, se debe considerar el efecto de las fluctuaciones de tensión y su manifestación mediante el parpadeo visible en la iluminación, producidos por variaciones de tensión. Este parpadeo o *flicker* tiende a afectar negativamente la comodidad del personal en el ámbito de trabajo con una posible baja en el rendimiento.