

DOCUMENTO TÉCNICO-COMERCIAL. PRODUCTO ECONELEC PREMIUM®

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES POLUCIONADAS.
2. PRINCIPALES PERTURBACIONES EN LAS REDES ELECTRICAS INTERIORES DE BAJA TENSIÓN.
3. FUENTES GENERADORAS DE PERTURBACIONES.
4. CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA.
5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO ECONELEC®.
6. CONCLUSIONES FINALES Y AHORROS GENERADOS.

1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES POLUCIONADAS.

El avance tecnológico, experimentado en la última época, ha incorporado al mercado elementos electrónicos de cada vez mayores prestaciones y menor tamaño. Esta reducción en el tamaño de los dispositivos, ha ocasionado que las fuentes de alimentación de estos dispositivos alcancen unos ratios de densidad de potencia, (medidos en Watios por pulgada cúbica) imposibles de imaginar tan solo hace solo unos años.

Los dispositivos citados, utilizan internamente para su funcionamiento, topologías de conmutación y semiconductores de potencia que trabajan a altas frecuencias. Estas tecnologías, permiten manejar grandes potencias en tamaños muy reducidos.

El gran inconveniente que presentan estos dispositivos, es derivado del uso que dichos equipos hacen de la red de alimentación. El uso de dispositivos semiconductores, tanto controlados (IGBT, MOSFET, TRIAC, etc) como no controlados (diodos rectificadores), ocasiona unos consumos sobre las cargas conmutadas y no lineales, que vistas desde el lado de la alimentación generan un alto grado de polución eléctrica.

Denominaremos, por tanto, polución eléctrica a la globalidad de circunstancias que conlleva el alto contenido de armónicos sobre la sinusoide correspondiente a la frecuencia principal de una instalación eléctrica, sin menoscabo de otros fenómenos englobados en lo que se denomina calidad eléctrica o calidad del suministro eléctrico.

A modo de ilustración de los fenómenos de polucionado de redes eléctricas de baja tensión, se presentan las formas de onda de la corriente de fase en las barras del Cuadro General de Baja Tensión (CGBT) de uno de nuestros clientes.

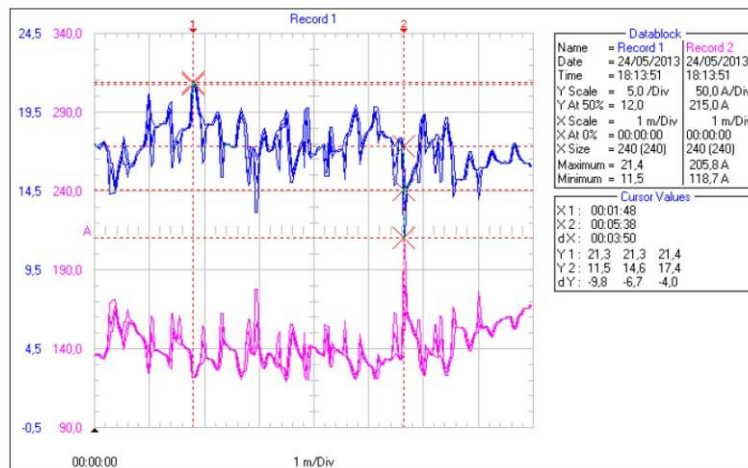


Figura 1. Forma de onda de corriente en CGBT típico.

2. PRINCIPALES PERTURBACIONES EN LAS REDES ELECTRICAS INTERIORES DE BAJA TENSIÓN.

Pese a que pueda parecer que la mala calidad de onda, en una instalación eléctrica, viene determinada por la calidad del suministro, en la mayoría de los casos esto no es así, y la polución de la red se produce al contrario, desde las cargas hacia el suministro.

Esto es debido a que un suministro puro sin perturbaciones, al acometer una instalación eléctrica interior en baja tensión (en la cual los receptores están formados por elementos con cargas no lineales, conmutadas, o generadoras de armónicos), ocasiona una corriente perturbada respecto a la sinusoide de tensión. Debido a las impedancias de las acometidas, esta corriente ocasiona caídas de tensión perturbadas a lo largo de todo el trayecto desde los centros de distribución y transformación hasta los puntos de suministro, luego en determinados casos, las perturbaciones se exportan desde las cargas a la compañía distribuidora y al resto de abonados conectados al CT.

Tal y como se recoge en la Norma UNE_EN-50160:2011, “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”, el origen de la polución en las instalaciones interiores es claramente el comportamiento de las cargas conectadas a la red. La norma cita textualmente:

NOTA Las tensiones armónicas de la red de alimentación son debidas principalmente a las cargas no lineales de usuarios de red conectadas en todos los niveles de tensión de la red de alimentación. Las corrientes armónicas que circulan a través de las impedancias de la red dan lugar a tensiones armónicas. Las corrientes armónicas, las impedancias de la red y por consiguiente las tensiones armónicas en los puntos de suministro varían en el tiempo.

Asimismo, dentro de la misma norma, en relación con la calidad del suministro eléctrico, se identifican principalmente las siguientes perturbaciones:

- Perturbaciones conducidas.
- Flicker, parpadeos de distinta severidad.
- Deriva de frecuencia.
- Tensión armónica (hasta el orden 40 de armónico).
- Tasa de distorsión armónica de la tensión suministrada.
- Variación rápida de tensión.
- Interrupción de la alimentación.
- Huecos de tensión.
- Sobretensiones transitorias.
- Fluctuaciones de la tensión.
- Desequilibrio de tensión.

En relación con los armónicos, la norma establece unos niveles máximos permitidos para la tensión armónica de cada uno de los armónicos individuales hasta el 25. Los valores vienen reflejados en la tabla 1.

Tabla 1.
Valores de las tensiones de armónicos individuales en los puntos de suministro, hasta el armónico de orden 25, expresados en porcentaje de la tensión fundamental u_1

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden h	Amplitud relativa u_h	Orden h	Amplitud relativa u_h	Orden h	Amplitud relativa u_h
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	0,5%	6 ... 24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

NOTA Los valores que corresponden a los armónicos de orden superior a 25, que son generalmente débiles y muy imprevisibles debido a los efectos de resonancia, no están indicados en esta tabla.

3. FUENTES GENERADORAS DE PERTURBACIONES.

Al margen de la multitud de factores que afectan a la calidad del suministro de una instalación eléctrica, definidos en el apartado anterior, a continuación se van a describir más en detalle la generación de armónicos en las instalaciones interiores y como se producen dichas perturbaciones.

Ya se ha comentado, que la utilización intensiva de equipos de electrónica de potencia en las redes, está generando una cantidad creciente de armónicos en las redes de distribución. Con carácter habitual, estos componentes suelen concentrarse en los equipos de proceso de datos (ordenadores, grandes servidores), los equipos de alimentación ininterrumpida (SAIs), los arrancadores y variadores de velocidad de los motores en general (ventiladores, elevadores, ascensores, grúas, maquinaria de todo tipo), los sistemas de aire acondicionado tipo inverter, la iluminación con balastos electrónicos y las lámparas fluocompactas y LED.

Por otra parte, todos los elementos eléctricos en los que se produce una circulación discontinua de corriente debido a su funcionamiento intrínseco, son con diferencia los que mayores perturbaciones originan. En este apartado quedan englobados los equipos de soldadura por arco (en los que la corriente es completamente irregular en función del contacto del electrodo con la unión soldada), y los motores con colectores de escobillas (dado que ocasionan un contacto discontinuo en el cambio de delgas). Las formas de onda que originan estos equipos son las que generan las mayores poluciones eléctricas. Estos motores suelen encontrarse todavía en máquinas antiguas y herramienta de mano (taladradoras, radiales, cortadoras, sierras, caladoras, etc).

Por tanto, a modo de resumen, puede decirse que las causas principales para la generación de armónicos en las cargas son:

- Equipos con componentes semiconductores:
 - o Arrancadores y variadores electrónicos.
 - o UPS e inversores.
 - o Rectificadores trifásicos y monofásicos.
 - o Fuentes de alimentación conmutadas para pequeños equipos.
 - o Cargadores de baterías.
- Equipos con elementos ferromagnéticos:
 - o Transformadores, bobinas y otros elementos magnéticos con elevado flujo de inducción, material del núcleo con gran histéresis o funcionamiento cerca de la saturación del material.
 - o Reactancias electromagnéticas de equipos de alumbrado.
- Elementos con discontinuidad en el consumo eléctrico.
 - o Equipos de soldadura eléctrica por arco.
 - o Motores de colector de escobillas.

Al hablar de armónicos de la frecuencia fundamental de red, es habitual denominarlos por su orden (tercero, quinto, noveno, etc), por su frecuencia (150Hz, 350Hz, etc), pero también es importante conocer su secuencia. La secuencia de un armónico, identifica el sentido de rotación del mismo (si se representa como un vector), en relación con la frecuencia principal o armónico de orden uno. De este modo, existen tres tipos de secuencias:

- Positiva (+): Indica que gira en el mismo sentido que la frecuencia principal y por tanto se suma en valor absoluto en el punto de máxima amplitud.
- Negativa (-): Indica que gira en el sentido contrario a la frecuencia principal y por tanto se resta en valor absoluto en el punto de máxima amplitud.
- Cero (0): Son vectores homopolares coincidentes que desplazan el centro del vector trifásico, generalmente coincidente con el neutro.

La secuencia se puede determinar con la siguiente tabla (hasta orden 21):

Tabla 2.

Secuencia	Orden del						
+	1	4	7	10	13	16	19
-	2	5	8	11	14	17	20
0	3	6	9	12	15	18	21

Esta secuencia ocasiona distintos problemas en las redes. A continuación se analizan en base a los armónicos encontrados más habitualmente:

- Tercer armónico: Su secuencia es cero, lo que ocasiona vectores homopolares en las tres fases. Puede circular por dentro de circuitos en triángulo provocando un peligroso calentamiento no detectable por los elementos de medida y protección exteriores. Así mismo en redes monofásicas con neutro puede generar importantes desequilibrios en el neutro, desplazándolo del punto central.
- Quinto armónico: Su secuencia es negativa (al igual que el undécimo), lo que en el caso de alimentación a motores, ocasiona la existencia de un par antagónico en el eje motor. Es decir, un par que se opone al esfuerzo principal de los motores en su giro y que por consiguiente ocasiona pérdidas, reducción de la potencia proporcionada por el motor y calentamiento en los devanados y en los paquetes de chapa magnética. La existencia de estos armónicos, ocasiona vibraciones que correlacionan con el número de pares de polos del motor y la frecuencia de dicho armónico, por lo que son detectables mecánicamente mediante acelerómetros. Estas vibraciones envejecen los componentes mecánicos de la rodadura del motor (cojinetes, ejes, etc).
- Séptimo armónico: Su secuencia es positiva y por tanto se suma a la senoide principal, ocasionando un pico de sobretensión que se convierte en una sobrecorriente que la carga debe absorber. Esta sobrecarga, genera diversos tipos de problemas en función del tipo de carga que se trate, pero en todos casos resulta perjudicial para los equipos, conductores y aislantes.

Debe mencionarse especialmente la afección de los armónicos a los transformadores y elementos magnéticos. Las dimensiones de las chapas magnéticas están calculadas para un flujo magnético derivado de la onda senoidal a frecuencia industrial. La aparición de armónicos en los transformadores, ocasiona importantes pérdidas en el hierro, dado que éstas aumentan con el cuadrado de la frecuencia. Por otra parte, la respuesta de los elementos magnéticos a componentes de alta frecuencia no suele ser buena, lo que finalmente se transforma en calentamientos, pérdidas y degradación de los aislantes.

Como conclusión, puede decirse que los principales efectos de la existencia de armónicos en la red eléctrica son:

- Aumento de la potencia aparente a transportar.
- Necesidad de sobredimensionamiento de instalaciones.
- Disparos intempestivos de las protecciones.
- Sobrecargas en los conductores.
- Vibraciones y sobrecargas en las máquinas rotativas.
- Inestabilidad del sistema eléctrico.
- Envejecimiento prematuro.
- Errores en los equipos de medida.
- Posibles penalizaciones por polución de la red eléctrica general, llegando incluso a la desconexión de la instalación.
- Perturbaciones por interferencias electromagnéticas conducidas (EMC) en los equipos de control.

En la figura 2, se muestra la descomposición mediante Transformada Rápida de Fourier (FFT), del contenido armónico de la forma de onda presentada en la figura 1, en la que cabe destacar la existencia de los armónicos tercero (150Hz) con un 11,5%, quinto (250Hz) con un 15,6% y séptimo (350Hz) con un 13,2%. El resto de armónicos tienen valores inferiores. La THD correspondiente a esos valores, resulta en una distorsión armónica de 23,4%.



Figura 2. FFT de forma de onda de corriente en CGBT típico.

4. CORRECCION DE FACTOR DE POTENCIA

Existe una abundante literatura sobre la corrección del factor de potencia en las instalaciones eléctricas, por lo que solo se presentará este tema de modo general.

Es bien sabido que los receptores alimentados con corriente alterna (motores, transformadores, inductancias, etc), que necesitan para su funcionamiento la generación de campos magnéticos, provocan una corriente retrasada vectorialmente respecto a la tensión que la alimenta. Esto conlleva un flujo pendular de energía entre la alimentación y la carga. Se entrega una potencia (denominada potencia aparente S), superior a la necesaria. Una parte de ella será consumida para obtener el trabajo necesario en la máquina (potencia activa P), mientras que otra parte será posteriormente devuelta a la alimentación (potencia reactiva Q).

La figura 3, representa esta circunstancia en el dominio del tiempo, mostrando en el lado izquierdo, el comportamiento de un circuito que consume 4kW con un coseno de ϕ de 0,8, lo que requiere una potencia aparente de 5kVA. En el lado derecho, el circuito se ha compensado capacitivamente y para alimentar la carga de 4kW, solo se necesitan 4kVA, por lo que no existe devolución de energía a la red.

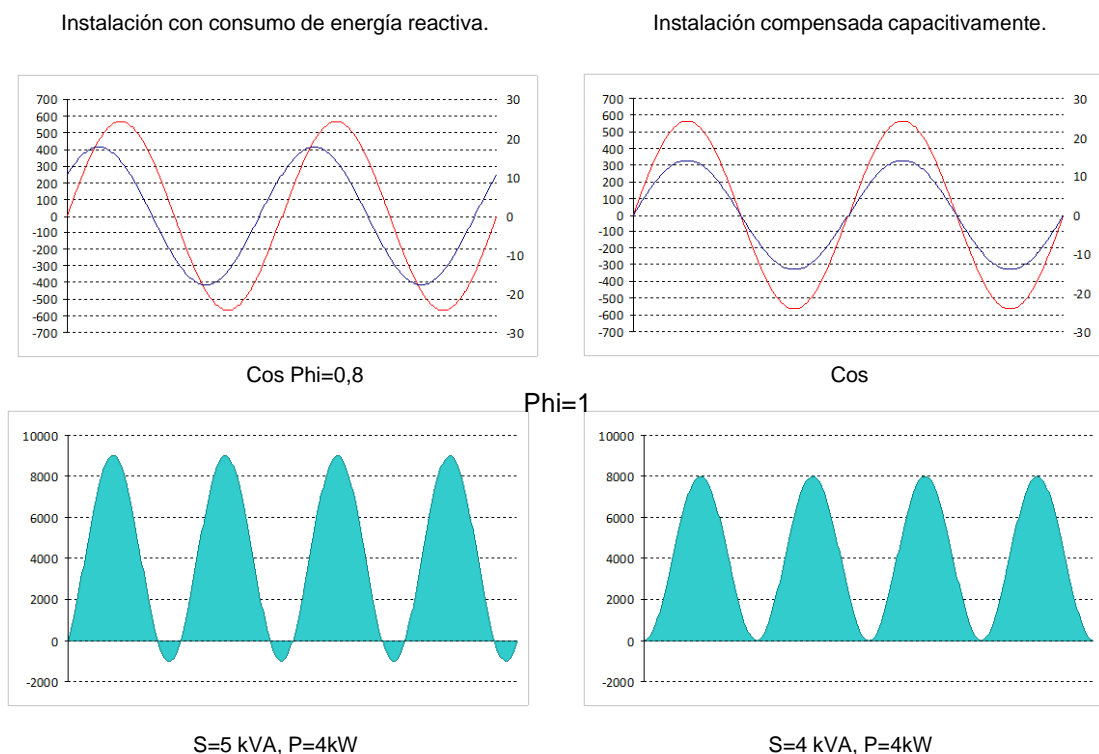


Figura 3. Ejemplo de compensación de factor de potencia. Representación temporal.

La figura 4, representa el mismo efecto en modo vectorial, donde el vector Q_r se reduce por la aparición de un vector opuesto Q_c (correspondiente a la compensación capacitiva), resultando un vector S' , menor que el inicial S .

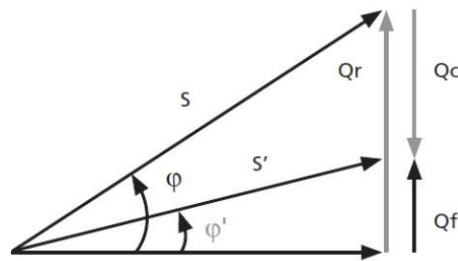


Figura 4. Ejemplo de compensación de factor de potencia. Representación vectorial.

La existencia de esa energía reactiva circulante produce diversos fenómenos negativos, entre los que cabe destacar, el sobrecalentamiento en los conductores de la instalación, la reducción de la potencia útil de los transformadores, la generación de pérdidas por efecto Joule en cables y transformadores, etc.

Dado el carácter improductivo y perjudicial de la energía reactiva, con objeto de minimizar la circulación de la misma por las redes de distribución, las compañías eléctricas han establecido penalizaciones a los usuarios que no realicen una compensación adecuada de sus instalaciones, esta penalización se hace mediante un recargo adicional en la factura eléctrica y puede suponer un importante coste en el importe final de la misma.

5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO ECONELEC®.

Tal y como se ha presentado hasta ahora, existen dos grandes fenómenos perniciosos a solventar en las redes eléctricas:

- La eliminación de todos los armónicos perjudiciales.
- La compensación de la energía reactiva existente en la instalación.

Ambos fenómenos son resueltos simultáneamente, mediante la acción combinada de la batería inteligente de condensadores y el filtro de armónicos simultaneo que incorpora el equipo ECONELEC PREMIUM®,

El principio de funcionamiento del equipo ECONELEC PREMIUM®, es el siguiente:

- El dispositivo de control mediante microprocesador, se encarga de realizar la medida en tiempo real de las principales variables del sistema eléctrico en cada una de las fases de forma individual, a partir de las cuales decide la mejor estrategia a adoptar.
- De este modo, cuando sea necesario, el sistema introducirá diversas configuraciones de elementos capacitivos e inductivos con la doble función de mantener el Factor de Potencia en su valor óptimo y aportar un filtro paso banda a las frecuencias seleccionadas previamente, lo que proporciona un camino de baja impedancia para minimizar los armónicos perniciosos existentes en la instalación, 3º, 5º, 7º ...

Por tanto, el comportamiento del equipo, se asemeja al de una batería de condensadores para compensar la energía reactiva, que en lugar de utilizar condensadores exclusivamente, lo que hace es componer un filtro resonante a una o varias frecuencias preseleccionadas para presentar una impedancia muy baja a los armónicos presentes en la red, y por tanto eliminando las frecuencias de los armónicos predominantes seleccionados, dejando limpia la forma de onda de la senoidal del suministro eléctrico. Esto se denomina filtro LC paso banda (asociación de condensadores e inductancias sintonizados a las frecuencias a eliminar). La selección del filtro adecuado en cada caso y su integración con la mejora del factor de potencia supone una complejidad importante que el equipo debe resolver en tiempo real.

A continuación en la figura 5, se muestran dos instalaciones eléctricas con redes polucionadas con armónicos de distinto orden y secuencia, así como los resultados satisfactorios obtenidos con los sistemas de filtrado de armónicos que conforman el equipo ECONELEC PREMIUM®.



Figura 4. Diversas soluciones de filtrado del equipo ECONELEC PREMIUM®.



Figura 5. Aspecto exterior del equipo ECONELEC PREMIUM®.

Las aplicaciones típicas para el equipo ECONELEC PREMIUM®, engloban las instalaciones de potencia media y alta (desde 10 a 6000kW), por lo que puede ser utilizado en sistemas que incluyan variadores de velocidad, hornos de inducción, hornos de arco y rectificadores en redes trifásicas/monofásicas de 230/400V, 50Hz.

A continuación en la figura 6, se presenta la respuesta en frecuencia del sistema de filtrado de armónicos, para diversos casos de preponderancia de armónicos, incluyendo la acción combinada de varios filtros simultáneos. Los valores representan el valor de la impedancia unitaria del filtro paso banda al armónico del orden correspondiente.

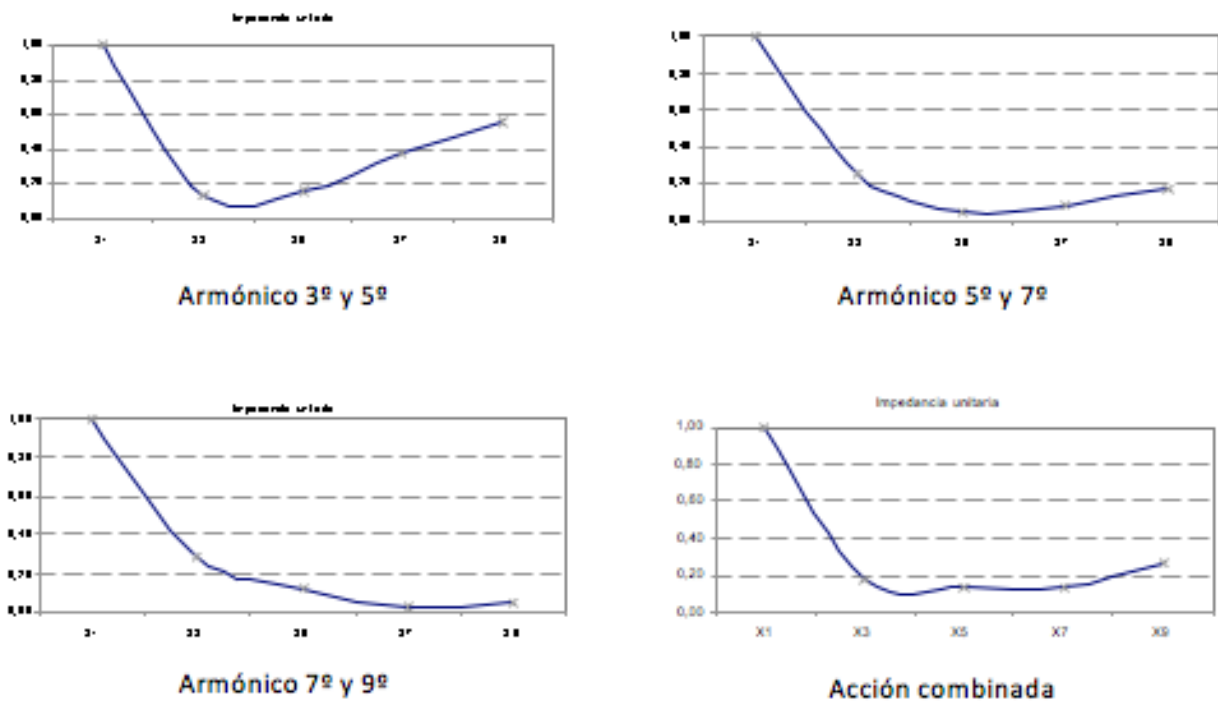


Figura 6. Diversas soluciones de filtrado del equipo ECONELEC®.

6. CONCLUSIONES FINALES Y AHORROS GENERADOS.

En los apartados anteriores se ha presentado como la acción combinada de la batería de condensadores y el filtro de armónicos que incorpora el equipo ECONELEC PREMIUM®, genera unas ventajas importantes en las instalaciones eléctricas. A continuación se muestra un resumen sintético de todas ellas, señalando el componente que incide principalmente en cada caso:

Función	Batería de condensadores	Filtro de armónicos
Mejora del factor de potencia	√	
Reducción de la potencia aparente a transportar	√	
Eliminación de la potencia reactiva circulante	√	
Reducción del consumo de energía activa	√	√
Reducción de pérdidas producidas por efecto Joule	√	√
Reducción del sobrecalentamiento en el cableado y pérdidas en los conductores	√	√
Reducción de pérdidas en transformadores	√	√
Reducción de la potencia máxima demandada y registrada en los maxímetros	√	√
Incremento en la eficiencia y prolongación de la vida de los receptores conectados a la instalación		√
Reducción de la tasa de distorsión armónica en la instalación		√
Mejora de la forma de onda de tensión en la instalación		√
Reducción del stress en tensión (limitación de picos de tensión) para los elementos que trabajan con campos eléctricos y requieren dieléctricos para hacer su función		√
Reducción del stress en corriente (limitación de picos de intensidad) para los elementos que trabajan con campos magnéticos y requieren paso de corriente para hacer su función		√
Reducción de disparos intempestivo de protecciones		√
Reducción de vibraciones y sobrecargas en las máquinas rotativas		√
Eliminación de inestabilidades del sistema eléctrico en su conjunto		√
Eliminación de errores en los equipos de medida		√
Facilidad para el cumplimiento de las regulaciones internacionales en relación con las interferencias electromagnéticas conducidas (EMC) en los equipos de control		√