

# Impacto de las cargas de factores de potencia en servicio en los alternadores sincrónicos

## > Notas técnicas

Por Gary Olson, director, Desarrollo de sistemas de energía



Nuestra energía trabajando para ti.™

Muchas cargas eléctricas incorporan elementos que pueden imponer un factor de potencia en servicio sobre la fuente de energía. Si bien estas cargas no son en general un problema para las fuentes de energía de la red pública, el factor de potencia en servicio puede causar fallas en los grupos electrógenos o fallas en el funcionamiento adecuado de algunas cargas en un grupo eléctrico. Este documento describe brevemente los fenómenos, y lo que se puede hacer para resolver los problemas cuando están presentes cargas de factores de potencia en servicio.

Los problemas observados cuando se intenta hacer funcionar grupos electrógenos con cargas de factores de potencia en servicio pueden parecer misteriosos, pero en realidad, no son muy diferentes a otros problemas de absorción de energía: la capacidad limitada de un grupo eléctrico para absorber kW de potencia real desde cargas como controladores de ascensores y aplicaciones de grúas.

Un generador es físicamente incapaz de absorber más que una pequeña cantidad de potencia real (kW) o potencia reactiva (kVAR). Mientras que la potencia inversa kW producida por una carga en caída en una aplicación de grúa llevó al motor a condiciones de sobrevoladura cuando excedió la capacidad del motor de absorberla, la carga kVAR inversa presentada por dispositivos con factor de potencia en servicio llevará al alternador a condiciones de sobrevoltaje.

Durante los últimos años, los fabricantes de grupos electrógenos han logrado evolucionar los diseños de sus equipos para incluir el uso de equipos reguladores automáticos de voltaje (AVR) digitales, sistemas de excitación separados y controles de arquitectura de tipo PWM para darle al grupo eléctrico la capacidad de producir un voltaje de salida estable y funcionar con éxito con cargas no lineales. Al mismo tiempo, los fabricantes de equipos con características de cargas

no lineales comenzaron a emplear comúnmente filtros para limitar la distorsión armónica de la corriente inducida sobre la fuente de energía. En las instalaciones también se colocan elementos capacitivos para mejorar el factor de potencia cuando funcionan con la fuente de la red pública

### EJEMPLO

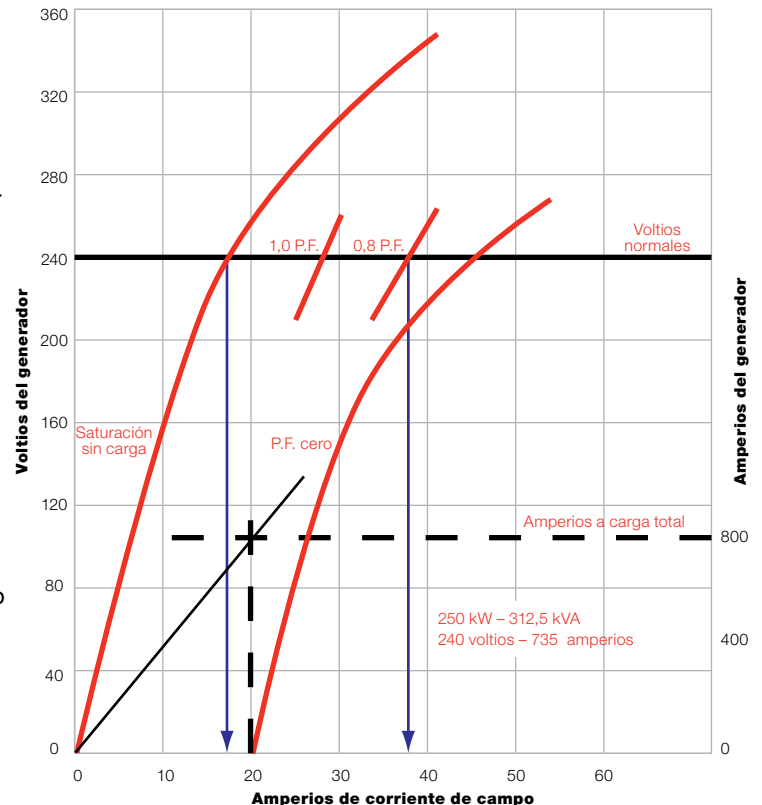


FIGURA 1: En este ejemplo, el campo sin carga requerido es 17 amperios, mientras que la carga completa es aproximadamente 38 amperios.

con el objeto de evitar costos de energía más altos. Si bien los filtros proporcionan impactos positivos en el sistema de energía en general, pueden ser muy perjudiciales para el funcionamiento de los generadores.

El AVR del grupo electrógeno monitorea el voltaje de salida del generador y controla la fuerza del campo del alternador para mantener un voltaje de salida constante. Se necesitan salidas del AVR relativamente bajas para mantener el voltaje del generador sin carga. En la figura que se muestra, la corriente del campo necesaria del excitador sin carga es menos de la mitad que el nivel de carga completa.

El equipo de filtro se dimensiona para funcionar a la máxima carga anticipada sobre el UPS o carga del motor. En cargas livianas, puede haber un exceso de capacitancia del filtro que cause un factor de potencia en servicio. Como los rectificadores comúnmente se diseñan para establecer una rampa desde carga cero para minimizar las cargas transitorias, pueden imponerse sobre el sistema cargas de factores de potencia en servicio hasta que se agreguen cargas inductivas al sistema o aumente el factor de carga de la carga no lineal.

Una fuente de energía pública simplemente absorbe la salida de potencia reactiva porque es extremadamente grande

con relación al sistema de filtro y tiene muchas cargas que pueden consumir esta energía. Con un grupo electrógeno, sin embargo, el voltaje en aumento del factor de potencia en servicio causa que el regulador de voltaje regule hacia abajo y reduzca la fuerza del campo del alternador. Si el AVR baja del todo, pierde el control del voltaje del sistema, lo que puede resultar en aumentos repentinos en el voltaje del sistema. El aumento de voltaje puede causar daños a las cargas, o puede causar que las cargas no funcionen con el grupo electrógeno.

Como un UPS está diseñado para reconocer el voltaje alto como una condición anómala e inconveniente, puede apagar inmediatamente su rectificador. Al hacerlo, la condición de voltaje alto desaparece inmediatamente (porque se desconecta el filtro del grupo electrógeno) y el voltaje retorna a la normalidad. Para el observador, el generador parecerá incapaz de absorber las cargas del sistema.

### Problemas de paralelismo

Los grupos electrógenos que utilizan sistemas de bus en paralelo aislados tienen problemas particulares con las cargas de factores de potencia en servicio.

#### CURVA DE CAPACIDAD DEL ALTERNADOR

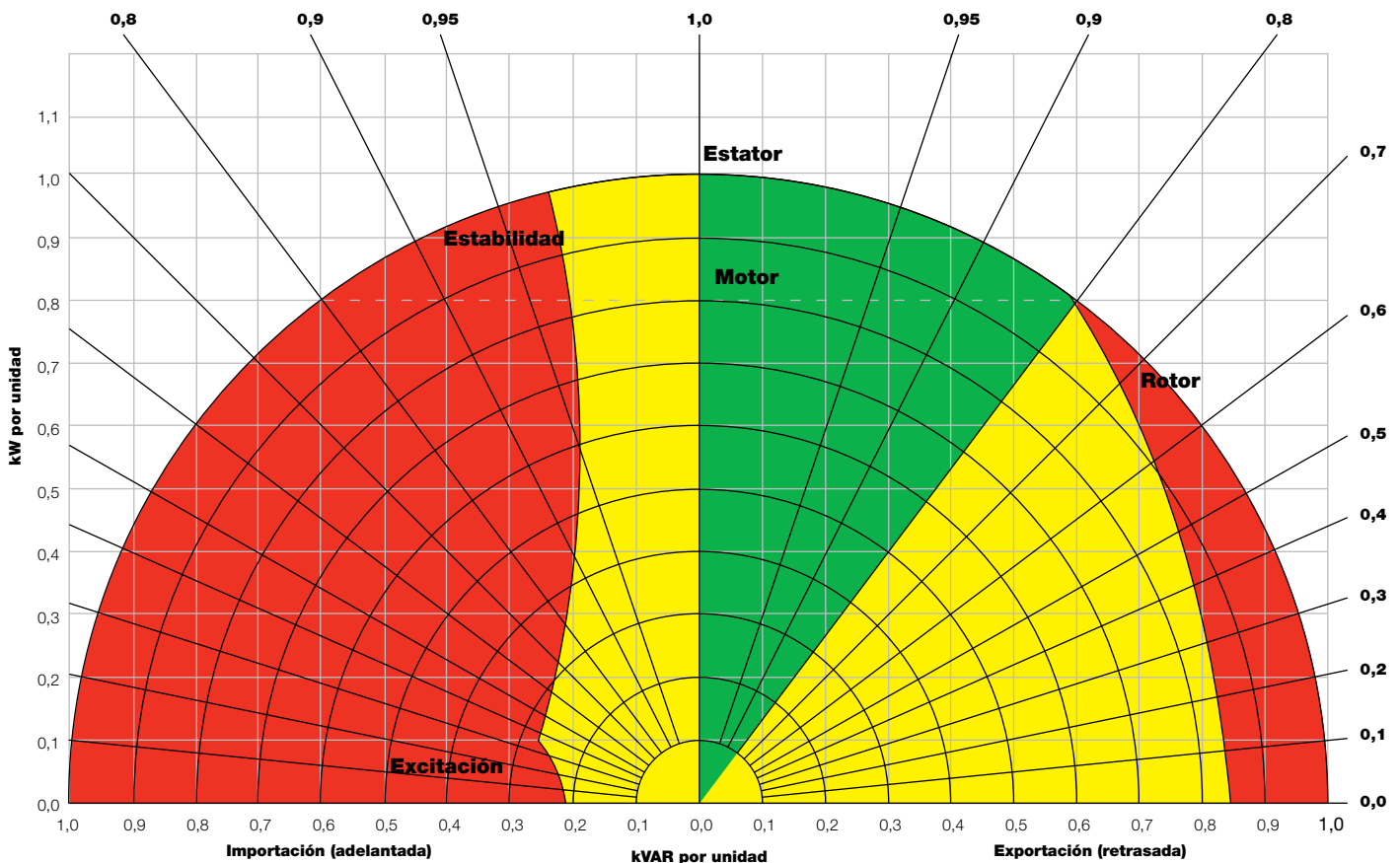


FIGURA 2: El área verde es el rango normal de funcionamiento de una máquina sincrónica típica, el amarillo es anormal pero no perjudicial, y la operación en la región roja causará daño o mal funcionamiento.

Cuando se aplican las cargas a un bus en paralelo de un generador, la carga total sobre el sistema puede ser muchas veces mayor que la capacidad de un grupo electrógeno único. Los grupos electrógenos se cierran al bus de a uno, por lo que si se aplican cargas altas (sean adelantadas o retrasadas) antes de que esté disponible la capacidad del grupo electrógeno, el bus del generador puede fallar.

Además, hay una tendencia, en particular en las aplicaciones de centros de datos, de agrupar las cargas de UPS todas juntas en un bus común. Esto concentra la carga del filtro en un bus, por lo que si un grupo grande de carga de UPS se aplica al primer grupo electrógeno disponible, se puede llevar fácilmente a una condición de var inversa en exceso, que resultará en sobrevoltaje y corte. Si hay múltiples grupos electrógenos en el bus y se aplica una gran carga var inversa al bus del grupo electrógeno, se puede perjudicar el sistema de control de distribución de cargas var y el grupo electrógeno puede perder sincronización.

Los grupos electrógenos se mantienen sincronizados por campos magnéticos. Cuando se aplica una carga de factores de potencia en servicio, sube el voltaje del grupo electrógeno o del bus del grupo electrógeno, y el sistema de regulación de voltaje reduce la energía del excitador, reduciendo la fuerza del campo magnético. Si el campo falla, el grupo electrógeno puede saltarse un polo, lo cual tiene como consecuencia un daño del alternador potencialmente catastrófico.

## Soluciones

¿Qué se puede hacer con respecto a esto? Primero, tenemos que comprender cuánta potencia reactiva puede absorber el generador sin impacto negativo. La capacidad de un alternador para absorber potencia se describe por una curva de capacidad reactiva. La FIGURA 2 muestra la curva típica de la capacidad de un generador que describe la capacidad de una máquina de producir y absorber energía. En esta curva, la kVAR producida o absorbida se encuentra en el eje X (positivo hacia la derecha). El eje Y muestra kW (positivo hacia arriba). kVAR y kW se muestran como cantidades por unidad en base a las especificaciones del alternador (no necesariamente del grupo electrógeno, que puede tener especificaciones menores).

El rango normal de funcionamiento de un grupo electrógeno se determina entre cero y 100 por ciento de los kW especificados del alternador (positivo) y entre 0,8 y 1,0 de factor de potencia (área verde en la curva). Las líneas negras sobre las curvas muestran el rango de funcionamiento de un alternador específico cuando opera fuera del rango normal. Nótese que a medida que cae el factor de potencia, la máquina se debe corregir para evitar el sobrecalentamiento. En el cuadrante

izquierdo, se puede ver que la salida cercana a lo normal (área amarilla) se puede lograr con una cierta carga de factores de potencia en servicio, en este caso, hasta un factor de potencia de 0,97 en servicio. En este punto, la capacidad para absorber kVAR adicional rápidamente cae hasta cerca de cero (área roja), indicando que el AVR se está “apagando” y cualquier nivel de kVAR inversa mayor que el nivel mostrado causará que la máquina pierda control del voltaje.

En otras palabras, si la máquina está especificada para operar a 1.000 kVA y un factor de potencia de 0,8 (especificación 600 kVAR), con un nivel de kVAR inversa de 0,2 por unidad (especificado), se excederán las capacidades de la máquina. Por lo tanto, con más de 120 kVAR de potencia reactiva inversa y un factor de potencia en servicio menor de 0,97 (para la mayoría de la gente un nivel sorprendentemente bajo) tenemos un problema. La solución a este problema en esta máquina específica implica evitar el exceso de kVAR inversa mediante un diseño y funcionamiento adecuado del sistema:

- Modifique la secuencia de operación de la planta de manera que las cargas que requieren potencia reactiva estén presentes en el bus cuando el UPS establece la rampa con el generador. La potencia reactiva producida por los filtros será consumida por las cargas del sistema, y se evita la pérdida de control del voltaje. Esto requiere en algunos casos replantear las secuencias operativas porque: 1) quizás las cargas mecánicas tienen que entrar al generador antes que los UPS, o 2) podría requerirse que las cargas se repartan en bloques más pequeños de UPS y cargas mecánicas, en lugar de buses aislados de cada tipo.
- Apague los filtros cuando se opera con el grupo electrógeno o reduzca la magnitud del filtrado proporcionado. Si el generador se suministra con control de excitación digital moderno, no se necesitarán los filtros para mantener estable la operación del generador, pero pueden requerirse de todos modos para atender otras cargas adecuadamente.

Los límites reales de kVAR inversa pueden variar considerablemente de una máquina a otra, tanto dentro de una línea de productos específica de un fabricante como entre equipos de diferentes proveedores. Una buena regla general para los equipos de Cummins es que pueden absorber alrededor del 20% de la salida kVAR especificada en inversa sin perder el control del voltaje. Sin embargo, dado que esta característica no es universal, es recomendable que los diseñadores de un sistema especifiquen el límite de kVAR inversa que se usó en el diseño o la magnitud de la carga de kVAR inversa esperada. Nótese que no se especifica como un límite de factor de potencia en servicio, sino como la magnitud máxima de kVAR inversa.

### Acerca del autor



Gary Olson se graduó en la Universidad de Iowa con una licenciatura en ingeniería mecánica en 1977, y se graduó en el College of St. Thomas con una Maestría en administración de empresas (MBA) en 1982.

Ha sido empleado de Cummins Power Generation por más de 25 años en diversas funciones de ingeniería y gerenciales. Sus responsabilidades actuales incluyen la investigación relativa a las aplicaciones de energía en el lugar de trabajo, apoyo técnico de productos para equipos de sistemas de energía en el lugar de trabajo y contribuciones a los grupos de códigos y normas. También administra un grupo de ingeniería dedicado al desarrollo del diseño de la próxima generación de sistemas de energía.

### Conclusiones y recomendaciones

- > Los alternadores sincrónicos tienen capacidad limitada para absorber kVAR de dispositivos de carga, y al sobrepasar ese límite puede producirse el apagado del grupo electrógeno.
- > El funcionamiento en paralelo necesita del análisis cuidadoso de la secuencia de las cargas para evitar condiciones de var inversa que pueden dañar el grupo electrógeno.
- > Es conveniente considerar la modificación de la secuencia de operación del sistema o la limitación del funcionamiento de los filtros hasta que las cargas adecuadas estén en su lugar para evitar las condiciones de kVAR inversa sobre el grupo electrógeno.
- > Se debe especificar la magnitud de kVAR inversa que puede absorber el grupo electrógeno, no solamente el factor de potencia.

Los alternadores están limitados físicamente en su capacidad de producir y absorber potencia. Cuando se aplica una carga de factores de potencia en servicio a un alternador en un sitio, puede ocurrir mal funcionamiento del generador, sobrevoltaje, mal funcionamiento de las cargas y daño del alternador. El proveedor de alternadores no puede hacer

mucho para resolver los problemas en un sitio específico más allá de ayudar al diseñador del sistema a comprender la naturaleza del problema y los límites de la máquina que se instala. La mayor parte de las soluciones vendrán a partir de cambios en la secuencia de operación del sistema o cambios en el hardware que eviten que las condiciones de var inversa perjudiciales afecten al grupo electrógeno.

Para recibir soporte técnico adicional, comuníquese con su distribuidor local de Cummins Power Generation. Para encontrar un distribuidor, visite [www.cumminspower.com](http://www.cumminspower.com).

**Nuestra energía trabajando para ti.™**

[www.cumminspower.com](http://www.cumminspower.com)

© 2006 Cummins Power Generation Inc. Todos los derechos reservados.  
Cummins Power Generation y Cummins son marcas registradas de Cummins Inc.  
"Nuestra energía trabajando para ti." es una marca registrada de Cummins Power Generation.  
PT-6001 (12/06)

