

Calidad de producto de la energía eléctrica: huecos e interrupciones breves (I/II)



En los últimos años la calidad del suministro eléctrico en España ha experimentado una gran mejora, consiguiéndose unos tiempos de interrupción de suministro notablemente inferiores a los habituales hace unas décadas.

Sin embargo, en paralelo, la sensibilidad de los consumidores en cuanto a dicha calidad se ha incrementado mucho más rápidamente, debido a que cada vez son más habituales procesos industriales y equipos informáticos muy sensibles a pequeños huecos de tensión e interrupciones breves en la red, cuyo mal funcionamiento debido a estos fenómenos puede llegar a causar pérdidas económicas muy importantes.

El objetivo de este artículo es definir que son los huecos e interrupciones breves, explicar su origen, los efectos que producen en los distintos elementos conectados a la red eléctrica y cuáles son las soluciones disponibles en la actualidad para inmutar los consumos frente a estos fenómenos.

Definición y origen de los huecos e interrupciones breves

En primer lugar vamos a establecer las definiciones de los términos que se usarán a lo largo del presente artículo:

- **Huecos de tensión:** según la UNE-EN 50160 [3] es una disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión declarada, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. La tensión declarada es normalmente la tensión nominal de la red, excepto el caso de que se haya llegado a un acuerdo entre el distribuidor y el cliente.

- **Profundidad de un hueco de tensión:** según la IEC 61000-2-8 [4] es un valor porcentual que expresa la diferencia entre la tensión declarada y la tensión eficaz mínima alcanzada durante el hueco de tensión. El valor de la tensión residual es el mínimo valor eficaz al que cae la tensión de la red.

- **Duración de un hueco de tensión:** según la IEC 61000-2-8 [4] es el tiempo en el que el valor eficaz de la tensión ha sido inferior al 90% de la tensión declarada. Las duraciones de los huecos van desde el medio ciclo hasta el minuto, siendo la mayoría de una duración inferior a los tres segundos.



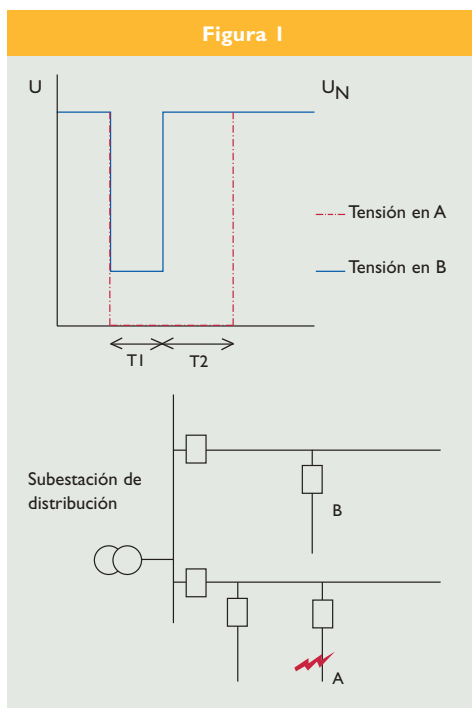
Ramón Cidón Martínez
Comisión Nacional de Energía (CNE).



Tomás Gómez San Román
Universidad Pontificia Comillas ICAI.
Doctor Ingeniero Industrial del ICAI

Comentarios a:
comentarios@icai.es

Figura 1



La normativa europea UNE-EN 50160 [3] aporta como valores indicativos que los huecos tienen normalmente una duración menor del segundo, y que la tensión raramente cae por debajo del 40%.

- **Interrupciones breves (IB):** según la norma UNE-EN 50160 [3] es la condición en la que la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1% de la tensión declarada. Para ser considerada como breve su duración será inferior a los tres minutos.

- **Interrupciones largas (IL):** según el RD 1955/00 [1] condición en la que la tensión en los puntos de suministro no supera el 10% de la tensión declarada con una duración superior a los tres minutos.

El origen, tipo y número de estos fenómenos está asociado a las redes eléctricas. Las redes están formadas por una serie de elementos susceptibles de fallo. Un fallo en cualquier elemento que produzca la pérdida de aislamiento produce un cortocircuito en la red, lo que supone en la mayoría de los casos la actuación de una protección y la consiguiente desconexión del elemento con fallo. Transcurrido un breve período de tiempo, la mayoría de las redes cuentan con equipos reenchanchadores que vuelven a cerrar el interruptor; y si el origen de la falta ha desaparecido el sistema vuelve a quedar en tensión (interrupción breve). Adicionalmente, las fuertes corrientes de cortocircuito producen caídas de tensión en la red hasta que se despeja la falta, produciendo un hueco de tensión.

Las causas del fallo de un elemento son muy variadas, pero normalmente se clasifican en dos grandes grupos:

- Debidos a causas externas a la compañía distribuidora: condiciones meteorológicas –tales como tormentas, hielo, nieve, rayos (los rayos son los causantes de entre el 30% y el 50% de los fallos en las redes aéreas)–, o accidentes por agentes externos, tales como accidentes de vehículos contra postes de líneas, excavadoras o grúas que cortan líneas subterráneas.
- Debidos a causas internas: fallos propios de los elementos de la red –como pérdida de aislamiento por falta de mantenimiento o por envejecimiento– una sobrecarga, un mal funcionamiento de los equipos de protección o errores humanos de los técnicos de la compañía eléctrica. También entrarían en este apartado cortocircuitos debidos a diversas causas, tales como ramas de árboles o grandes pájaros que provocan cortocircuitos en las líneas aéreas...

Como se puede apreciar, la mayoría de las causas de los huecos y de las interrupciones breves son de carácter **aleatorio**, por lo que **no es posible su eliminación total**.

La relación entre un hueco y una interrupción breve se explica en el siguiente ejemplo.

En la Figura 1 se representa una subestación con dos líneas de salida principales, de las cuales cuelgan varios ramales. Todas las líneas están equipadas con interruptor de cabezera y reenchanchador:

Se localizan dos observadores, A situado en el ramal en el que se produce la falta, y B situado en un ramal sin falta pero alimentado desde la misma subestación.

Una vez se produce la falta, el interruptor del ramal A, la detecta y tras un tiempo de despeje (T_1), abre la línea. Debido a las fuertes corrientes de cortocircuito, el observador B sufre un **hueco** de tensión durante el tiempo de despeje (T_1) y posteriormente recupera su tensión normal. El observador A sufre una **interrupción breve** durante la suma del tiempo de despeje (T_1) y el tiempo de reposición del relé reenchanchador (T_2).

Por lo tanto, por lo general, todo hueco está asociado a una interrupción breve, y además una interrupción breve puede ocasionar huecos en diferentes observadores, aunque no se localicen en el ramal en fallo. También es interesante añadir que el uso de reenchanchadores permite reducir el tiempo de las interrupciones largas –más de 3 minutos– pero aumenta el número de interrup-

ciones cortas y por lo tanto el número de los huecos.

Además, de la Figura 1 se puede deducir que la duración del hueco está directamente relacionada con el tiempo de despeje (el cual depende de la protección instalada que puede ir desde 10 ms con fusible hasta los 500 ms con relé de sobreintensidad e interruptor) y que la profundidad del hueco está relacionada con la impedancia existente entre el punto de observación y el punto donde se produce la falta. En particular cuanto mayor sea la potencia de corto de la red y la potencia del transformador asociado al punto de suministro menor será la profundidad del hueco. Esto justifica que en redes de transporte, donde la impedancia de la red es pequeña, un hueco de tensión será de poca profundidad y podrá ser observado a muchos kilómetros del punto donde se produce la falta, mientras que en redes de distribución los huecos serán de mayor profundidad pero su efecto es mucho más limitado en extensión.

Efectos de los huecos e interrupciones breves sobre los equipos eléctricos

La relación fundamental entre la red y los equipos alimentados por ella es la energía que el sistema es capaz de suministrar para funcionar. La cantidad de energía disponible disminuye si la tensión de la red en el punto de suministro se reduce. Por lo tanto, los huecos de tensión y las interrupciones breves suponen una reducción en la energía suministrada, que produce distintos efectos en los equipos alimentados.

Vamos a dividir los equipos de consumo eléctrico en varios grupos: **industriales**, asociados normalmente a grandes industrias; equipos de **sistemas de información** y equipos de **alumbrado y calefacción**, pues su comportamiento y los efectos económicos debidos a los huecos e interrupciones breves son claramente diferentes.

- **Equipos industriales.** Los grandes motores existentes en este tipo de industrias cuando se alimentan directamente de la red no se suelen ver afectados por huecos de tensión de una profundidad menor del 30% y duración inferior al segundo. Sin embargo, debido al uso cada vez más generalizado de variadores de velocidad (equipos electrónicos que controlan el arranque, velocidad y par del motor) el conjunto variador-motor es sensible a huecos de profundidad superior al 20%

y duración superior al segundo, pues suponen el disparo del variador y la parada de producción.

- **Equipos informáticos.** En general, los equipos informáticos son sensibles a huecos de profundidades mayores del 10%. Los microcomputadores son normalmente sensibles a eventos de una duración de 4 ó 5 ciclos y un 100% de amplitud. Los huecos de tensión y las interrupciones breves en estos equipos pueden ocasionar pérdidas económicas muy importantes, ya sea por pérdida de datos (centro de control de un banco) o por parada de la producción (ordenador de control de una planta de producción), ya que un hueco en un procesador de control puede originar que interprete erróneamente o pierda señales.

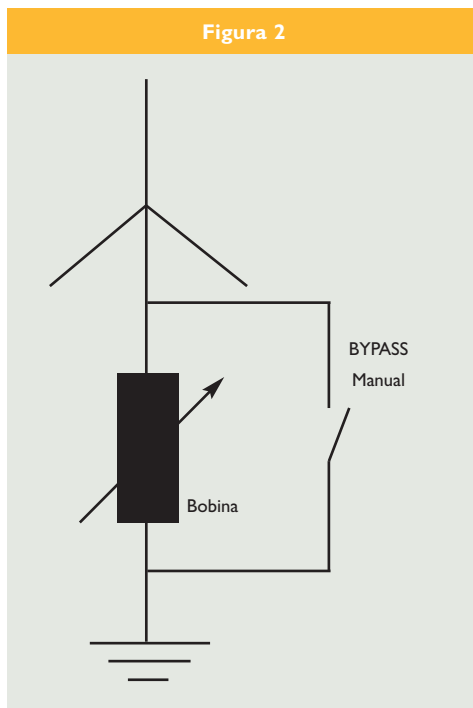
- **Equipos de alumbrado y calefacción.** El funcionamiento de los equipos de alumbrado y calefacción no se ve afectado por los huecos. Únicamente las lámparas de descarga, en el caso de huecos de una profundidad superior al 50%, pueden llegar a apagarse. Una vez recuperada la tensión el encendido puede llevar unos minutos.

Soluciones existentes para reducir el número y los efectos de los huecos e interrupciones breves

Las acciones que se pueden tomar para reducir el número y los efectos de los huecos de tensión y las interrupciones breves son numerosas, pero se podrían dividir en dos grandes grupos: el primero dirigido a la empresa distribuidora con el objetivo de



Figura 2



reducir el número de huecos e interrupciones breves, y el segundo dirigido a los usuarios de las redes, con el objetivo de inmunizar su instalación frente a este tipo de incidentes.

Soluciones para reducir el número de huecos e interrupciones breves

Con el objeto de reducir los efectos de los huecos e interrupciones breves, un método que se está aplicando en los últimos tiempos con buenos resultados es instalar una bobina Petersen (reactancia regulable que ajusta su impedancia a la capacidad del sistema) [5].

Los sistemas de puesta a tierra resonantes cuentan con una reactancia variable monofásica (bobina Petersen) que se conecta entre el neutro del transformador y tierra (Figura 2). En caso de falta a tierra monofásica, la corriente inductiva de la bobina cancela la corriente de falta capacitiva, de forma que la intensidad que circula por el punto de falta se reduce únicamente a la componente resistiva. Este tipo de conexión a tierra, permite adaptar la impedancia de la bobina a los cambios en la topología del sistema.

Las ventajas que presenta esta solución frente a las tradicionales puesta a tierra rígida o puesta a tierra a través de impedancia son:

- La compensación de la corriente de falta disminuye la magnitud de dicha corriente a un nivel tal que el valor de los incrementos del potencial de tierra fijados por las regulaciones de seguridad eléctrica se puedan obtener con costes inferiores de las puestas a

tierra. Además, no es necesario modificar las instalaciones de puesta a tierra existentes, construidas en base a corrientes de falta superiores.

- Al reducirse la corriente de falta a tierra, el número de aperturas-cierres automáticos de alta velocidad provocados por las faltas a tierra disminuye un 70-90% (frente al sistema más habitual de puesta a tierra a través de impedancia), lo cual reduce el número de despejes transitorios.
- En condiciones de falta monofásica en el sistema se puede operar por espacio de horas, aun cuando persista la falta.

Este sistema de protección se ha instalado en varias subestaciones con buenos resultados. Se ha conseguido reducir el número de disparos por faltas transitorias en un 70%, lo que se traduce en una reducción del mismo porcentaje en el número de huecos e interrupciones breves.

Otras soluciones aplicables pasan por reducir la posibilidad de que se origine un cortocircuito, tal como cambiar líneas y acometidas aéreas por subterráneas, (tienen menor tasa de fallo al no estar sometidas al ambiente externo, suciedad, descargas atmosféricas); invertir en equipos y en mantenimiento, con el objeto de reducir faltas por acumulación de suciedad, degradación, o faltas por contacto con superficie arbórea; o instalar protecciones para mejorar el apantallamiento de las líneas aéreas contra descargas atmosféricas.

Métodos de inmunización de instalaciones

A la hora de plantear la inmunización de una instalación deben plantearse dos niveles:

- Inmunizar los consumos asociados al control de la planta.
- Inmunizar la totalidad del suministro.

La segunda opción casi nunca es usada por el alto coste económico que supone asegurar el suministro a la totalidad de la potencia instalada. Además, los principales consumidores de energía en una planta suelen ser máquinas rotativas o consumos resistivos tales como alumbrados o calefacción, que en general no son muy sensibles a los huecos.

Sin embargo, los consumos asociados al sistema de control o a elementos críticos de la instalación tales como las bombas de lubricación o de refrigeración suponen en general una pequeña potencia, pero su fallo ante la aparición de un hueco o interrupción breve puede producir cuantiosas pérdidas

económicas, por lo que una inversión en equipos de inmunización sobre estos consumos consigue muy buenos resultados. Por lo tanto, lo más lógico es centrarse en inmunizar únicamente esta parte de la instalación.

Los métodos de inmunización más habituales para estos consumos son:

- **Sistemas de control o centros de procesado.** Estos equipos, debido a la importancia de su correcta operación, pues son el centro de control que asegura la supervisión y guarda de datos, deben ser insensibilizados ante cualquier hueco o interrupción breve. Dado que no suelen representar importantes potencias, se aconseja inmunizar la totalidad de su potencia mediante una línea segura equipada con SAI (equipo formado por rectificador, batería, inversor y un interruptor estático) con el respaldo de un generador diésel.

- **Equipos de control de potencia. Contactores.** El sistema más habitual de control de grandes motores es utilizar contactores. Un contactor es una bobina que, una vez excitada (normalmente al recibir una orden exterior de marcha), cierra sus polos principales alimentando el motor; y normalmente también cierra un contacto que sella la orden de arranque. Si se produce un hueco de tensión de duración y profundidad suficientes (normalmente mas de 100 ms y de un 80%) la bobina pierde su excitación y abre los polos, dejando al motor sin alimentación. Cuando la tensión de alimentación vuelve, el contactor sigue abierto y sería necesario volver a dar una nueva orden de marcha. No sería



válido alimentar el control de los contactores desde una corriente segura, como corriente continua o de SAI, porque de producirse una interrupción suficientemente larga, cuando la tensión de alimentación se recuperara, todos los motores arrancarían simultáneamente, lo que se traduciría en una corriente de arranque demasiado elevada.

Para inmunizar el sistema contra estos fenómenos, existen en el mercado contactores equipados con sistemas electrónicos con memoria, que en caso de un microcorte actúan igual que un contactor tradicional, desexcitándose y abriendo el circuito de potencia, pero una vez se repone la tensión de alimentación recuerdan el estado del contactor previo al microcorte, y si no ha pasado un tiempo programable en dicho contactor (normalmente inferior al segundo) vuelven a cerrar el circuito. ■



Bobina Petersen

Bibliografía

- [1] Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía. BOE, 27 de diciembre de 2000.
- [2] Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo, por la que se aprueba el procedimiento de medida y control de la continuidad de suministro. BOE 13 de abril de 2002.
- [3] Norma UNE-EN 50160. Características de la tensión suministrada por la redes de distribución. Octubre 1996.
- [4] Norma IEC-61000-2-8. Compatibilidad electromagnética. Resultados de medidas estadísticas de huecos de tensión e interrupciones en redes de servicio público. Noviembre 2002.
- [5] A. J. Mazón, I. Zamora, F. Antepara, J. A. Mantegui, J. R. Saenz. *Proyecto de diseño e instalación de una bobina Petersen como sistema de puesta a tierra para mejorar la calidad del suministro eléctrico*. Dpto. de Ingeniería Eléctrica –E. S. de Ingenieros de Bilbao–, Iberdrola S.A. 2001.