

Accidentes originados por las sobretensiones eléctricas y medios de remediarlos

Es indudable que actualmente está formándose un nuevo tecnicismo para la transmisión de la energía eléctrica.

Los hechos han demostrado la insuficiencia del antiguo, que puso de acuerdo las teorías en Europa y América—ya bien entrado este siglo— de que las sobretensiones serían la causa que impediría pasar, en los transportes de energía, de las tensiones normales de 40 000 voltios.

A propósito de este asunto Mr. L. Barbillion, director del Instituto Electrotécnico de Grenoble, dice: «El empleo de altas tensiones *relativamente bajas* permitía, hasta estos últimos años, conservar coeficientes de seguridad elevados, para suplir las insuficiencias de la teoría sinusoidal, en todo lo que se refiere a regímenes permanentes de sobreintensidad, sobretensión y peligros que resultan de la superposición de fenómenos parásitos y transitorios sobre dichos regímenes; pero hoy día, en que las instalaciones de 100 000 voltios han pasado al terreno de la realidad, los fenómenos que se presentan son tan diversos que es necesario un riguroso análisis para una buena protección.»

Y mientras esa nueva teoría no se conozca, no se podrán poner de acuerdo, los partidarios de los diferentes sistemas de protección, contra las sobretensiones en las redes e instalaciones eléctricas.

En este artículo pretendemos dar a conocer las conclusiones prácticas a que se ha llegado con los condensadores, aplicados con éxito en varias naciones.

La línea de conducta ha sido seguir la teoría después de comprobarla por observaciones y experiencias y con el criterio de que para realizar una buena protección ésta ha de ser: completa, eficaz y simple. Es decir, que las instalaciones sean protegidas en todas sus partes (máquinas, aparatos, líneas, cables, etcétera) contra el conjunto de fenómenos, que la protección no sea causa que pueda entorpecer el servicio de la instalación, y que no necesite vigilancia.

El realizarlo así es un problema bastante complejo, pues la disposición variará totalmente con la naturaleza de la corriente, magnitud de la tensión, disposición de la red, naturaleza de la región e importancia de la instalación, etc.

Nosotros nos concretaremos a analizar ligeramente los fenómenos y los medios de protección contra ellos en redes, cables y unión de ambos, para corriente alterna e instalaciones de corrientes continuas.

Antes de pasar adelante queremos hacer notar que la diferencia de características entre los fenómenos de sobretensiones y sobrecargas hace abandonar para aquéllos la teoría que se aplica en la protección contra los últimos, y que nuestro análisis se referirá a procedimientos directos contra las sobretensiones, considerando como indirectos el mejorar las máquinas y partes de la instalación para que por sí solas hagan frente a los fenómenos poco intensos o de corta duración. Como base de las observaciones y consecuencias que después sacaremos, vamos hacer una ligera revista de algunas de las características de estos fenómenos.

En los fenómenos atmosféricos, la frecuencia equivalente es superior, a veces, a 100 000 períodos por segundo; las descargas de alta frecuencia pueden ser de baja tensión y la máxima diferencia de potencial está entre los primeros máximos (positivo y negativo) en la entrada del hilo del devanado, por lo que no alcanza a la masa; el camino seguido por la onda forzada dependerá de la distribución de nudos y vientres de la onda estacionada a lo largo de la línea y de las influencias exteriores; no será necesario que las ondas sean de gran amplitud para que den origen a trastornos y accidentes en las máquinas; bastará, como sucede en las ondas rígidas, que entre dos puntos próximos haya una diferencia de potencial relativamente elevada.

Los fenómenos de origen interno de media y baja frecuencia se propagan más fácilmente estando la diferencia máxima de potencial en este caso aplicada a todo el devanado, por lo que no serán peligrosos sino cuando las sobretensiones sean elevadas.

De manera que será un mal medio de protección los aparatos que no funcionen hasta que el potencial haya adquirido un valor peligroso en la parte de instalación que se trata de proteger; los que no lo hagan para los fenómenos de gran frecuencia y baja tensión, peligrosos para la conservación de los devanados; si no se encuentran montados exactamente en la línea sobre un vientre de oscilaciones libre, no funcionarán de ordinario al paso de la onda forzada; si la resistencia de los pararrayos es grande, su eficacia será pequeña, por poder cambiar muy poco el régimen del circuito a que se une, y si es de gran rendimiento, o sea que la resistencia en serie es pequeña, pueden formarse en la red, arcos, cortacircuitos y sobretensiones superiores a las que vienen de la misma red; en un caso y en otro son ineficaces, como resistencias óhmicas puras que son, para deformar la onda perturbadora.

Para provocar la reflexión de la onda de alta frecuencia o extender una rígida sobre una longitud suficiente de devanado no hay más que un medio: intercalar en el circuito un condensador, combinado con una autoinducción, que ofrecerá débil resistencia a los fenómenos de alta frecuencia y grande a la corriente de línea.

Su papel contra las ondas rígidas lo veremos fácilmente en los ejemplos siguientes:

1.º Entre dos circuitos intercalemos una *self* de $10^{-4}H$, y tendremos como caída de tensión, siendo las características de onda resistencia igual a 500 Ω y velocidad $2,9 \times 10^8$ km/seg.

$$\left(\frac{de_2}{dx}\right)_{max} = \frac{2e_1}{2,9 \times 10^8} \cdot \frac{500}{10^{-4}} = 34 \cdot 5e_1 \text{ volts/km.}$$

siendo e_2 la tensión que pasa al segundo circuito a través de la *self* y e_1 la tensión de la onda directa en el primer circuito.

2.º Intcalemos ahora entre los dos circuitos una capacidad de 0,001 m f, y tendremos para las mismas características de onda

$$\left(\frac{de_2}{dx}\right)_{max} = \frac{2e_1}{2,9 \cdot 10^8} \times \frac{1}{0,01 \cdot 10^{-8}} 500 = 1,38 \text{ volts/km.};$$

que nos dice que con una capacidad relativamente pequeña se obtiene en este caso una extensión de onda mayor que en el primero.

Y siendo éste el resultado nos preguntamos cuál será el motivo que tienen ciertos autores para mostrarse enemigos irreconciliables de la aplicación de los condensadores como medio de protección. Puede partir este error de una falsa interpretación de los fenómenos físicos que en las redes suceden, o del análisis puramente matemático que de ellos se hace, sin tener en cuenta factores que varían los resultados en la práctica.

Porque es injusto decir que los condensadores conducen a tierra una cantidad de energía proporcional a la frecuencia después de la demostración de Benischke, de que lo que atraviesa el condensador es una corriente devatada sin energía, y no puede tener influencia en el valor absoluto de la sobretensión, porque ésta disminuye al pasar a tierra en forma de corriente vatiada.

La capacidad que ellos aumentan a la línea no es muy grande, pues como se trata de oscilaciones forzadas, la capacidad de la batería de protección será poco más de la del trozo de línea que queremos proteger, correspondiente a un semiperíodo de onda de alta frecuencia; y como no se trata de capacidad uniformemente repartida, los fenómenos secundarios debidos a su introducción en el circuito tendrán poca importancia para los fenómenos de resonancia.

Con lo dicho creemos tener base para entrar en el estudio de los casos que nos habíamos propuesto.

Para la protección de *redes aéreas*, hay que tener en cuenta que están expuestas a fenómenos de origen externo o atmosféricos, y de origen interno o de resonancia. Aquéllos son la causa de la formación de arcos por capas estáticas que pueden hacer saltar los aisladores y a veces los devanados, y el mejor remedio contra ellos será descargar la línea en sus extremidades.

En una central bastará hacerlo en las barras para que lo estén todas las líneas que de ellas salgan. De los aparatos para este fin, los de agua, por su gran resistencia óhmica, hacen perder constantemente energía, además de exigir vigilancia; las resistencias metálicas son embarazosas, se oxidan fácilmente y a veces se rompen; a las bobinas de núcleo de hierro en sus devanados se les podrá dar la resistencia óhmica pequeña y la inductiva grande, con lo que se conseguirá el paso fácil de las cargas estáticas y evitar perder energía, pudiendo compensar—como veremos más adelante—las diferencias de resistencia, *self* y capacidad que puedan existir en la instalación, por lo que disminuirán las probabilidades de resonancia en las tomas de tierra accidentales.

Entre los primeros fenómenos se encuentran también las chispas eléctricas y las descargas inductoras, usándose contras las primeras, para defender los aisladores, un hilo de guardia unido a tierra, y para defender transformadores y alternadores de las ondas rígidas y de alta frecuencia, extender éstas por medio de un condensador montado entre dos *self*, estando la primera de ésta shuntada con una resistencia, pues la onda perturbadora que llegue de línea se encontrará con una impedancia tanto más grande cuanto sea su rigidez o alta frecuencia, y obligada a

atravesar la resistencia del shuntaje perderá una parte de su rigidez, para, en seguida, pasar al condensador, que, al cargarse, extiende la rigidez de la onda, devolviendo parte a línea a través de la resistencia de shuntaje. La segunda *self* no shuntada refuerza esta acción, desempeñando el papel para la onda perturbadora de un tope elástico. Después de lo que precede se explica fácilmente que ningún aparato de distancia explosiva (pararrayos de cuernos, rodillos, electrolíticos, etc.) pueda dar los mismos resultados.

Para disminuir la amplitud de las ondas de origen atmosférico se reforzará la acción de la resistencia de shuntaje, sea por *self*s de hierro o recubriendo las de cobre con un baño de hierro dulce depositado por el procedimiento *schoop*.

En las instalaciones de baja tensión sin transformadores intermedios se pondrán válvulas eléctricas en las bornas mismas de los alternadores, que limitarán toda tensión anormal de frecuencia cualquiera.

Antes de pasar a los fenómenos de origen interno queremos hacer notar que el asilamiento reforzado de las máquinas es muy recomendable, pero sólo protege los devanados contra los accidentes de la explotación.

Como en los segundos fenómenos se encuentran ondas muy parecidas, podemos emplear la misma disposición de protección, siendo aquí donde las bobinas de núcleo de hierro con neutro a tierra shuntan la capacidad de la instalación por medio de una resistencia relativamente débil, y haciendo el papel de resistencia de descarga, suprimen la causa misma de las oscilaciones de gran amplitud.

Para la protección de *cables subterráneos* hay que tener en cuenta, que si bien es cierto que no están sujetos a cargas estáticas y descargas atmosféricas, no lo es menos que los fenómenos de origen interno son mucho más peligrosos, pues la capacidad de los cables intensifica los fenómenos de resonancia originados por diferentes causas.

Los accidentes más frecuentes son: que en el caso de la apertura brusca de un disyuntor automático puede producirse en las bornas de los transformadores y alternadores una sobretensión de gran amplitud, verdadero golpe de ariete, que formando arco en ellas o haciendo saltar los devanados, establecerá el cortocircuito, peligroso para las máquinas; las maniobras de apertura y cierre de disyuntores originan ondas rígidas capaces de hacer saltar las espiras de entrada en las bobinas de alternadores o transformadores; las mismas ondas tienen origen en las tomas de tierra, que además de las ondas deformadas dan lugar a un fenómeno oscilatorio que puede poner en resonancia las dos partes de la red; las variaciones bruscas de regímenes, falsas maniobras en las puestas en paralelo, cortocircuitos accidentales, etc., pueden dar origen a sobretensiones de gran amplitud y ondas rígidas.

En la explotación las sobretensiones de origen interno producen desenganques en el momento de la formación de arcos en la masa e interrupciones prolongadas, consecuencias de las averías en las máquinas y aparatos.

En este caso, como en el de redes aéreas, las sobretensiones se manifiestan en el sentido axial y radial de los conductores, por lo que debemos extender las ondas rígidas y reducir las de gran amplitud.

Como en las circunstancias y causas que favorecen la resonancia hay bastante acuerdo entre los diferen-

tes autores, vamos a tratar de resumir los métodos de protección para redes subterráneas.

Tomando coeficientes de seguridad elevados para los cables, de modo que las sobretensiones no influyan en ellos, la protección deberá ser en las bornas de alternadores y transformadores, quedando, por tanto, reducida aquélla a limitar las ondas de gran amplitud, extender las rígidas y suprimir las resonancias en la red. Todas las disposiciones de esta protección están basadas en el empleo de resistencias en derivación con la red y otras resistencias que se intercalan automáticamente en los circuitos de resonancia, de manera que para un cierto valor de la resistencia en serie los fenómenos oscilatorios se transforman en aperiódicos, y las resistencias en paralelo, que shuntan las capacidades de los cables y máquinas de la instalación, hagan como de amortiguadores cuando dichas capacidades se descarguen en las resistencias óhmicas.

Esto está realizado por una válvula eléctrica, compuesta de un condensador entre dos *sel/s*, que constituyen como un extintor de ondas igual a la disposición de protección que empleamos en el caso de redes aéreas, contra las ondas rígidas y de alta frecuencia; rodeando a este condensador varios limitadores en columnas unidas en paralelo, fijando el número de ellas, la capacidad de conducción de válvula y el valor de la resistencia del conjunto, que debe ser del mismo orden de magnitud que la impedancia de la máquina que se quiere proteger, así como cada una de ellas, deben estar calculadas para funcionar al doble próximamente de la tensión normal. Podríamos decir que el condensador, al transformar la energía, obra como una ventosa elástica, y el limitador, al destruirla, como de válvula de seguridad. Cada columna lleva un estallador variable unido en serie a una pila de estalladores fijos, que a su vez tienen conectadas todas sus partes fijas, constituyendo resistencias de equilibrio que shuntan la capacidad de los devanados de las máquinas o resistencias de descarga en caso de resonancia.

Como el condensador central es un punto de reflexión de ondas ayudará al buen funcionamiento de los limitadores agrupados alrededor de él.

Para hacer que en la red no sea posible la resonancia es preciso shuntar todos los transformadores de intensidad con resistencias de 300 a 400 ohmios, que son las que corresponden sensiblemente a la resistencia de onda de $\sqrt{\frac{L}{C}}$, pues presentando aquéllos una gran impedancia para las ondas rígidas y de alta frecuencia, se las obliga a atravesar la resistencia shun-

tada que las amortiguará, haciendo lo mismo con las resonancias en el caso de las ondas deformadas con carácter de alta frecuencia correspondientes a las tomas de tierra y cortocircuitos, por ponerse las resistencias en circuito automático. Queremos recordar en este lugar la necesidad de la simetría de la red, respecto a los valores, resistencia, *sel/s* y capacidad en cada una de las fases de la instalación, para hacer desaparecer los efectos de resonancia en ella y la de ciertos detalles de instalación en general y de aparatos de protección en particular, que contribuyen al máximo rendimiento del objeto perseguido.

El caso de unión de la línea aérea y cable es peligroso, porque la *sel/s* de la línea tiende a descargarse en la capacidad de aquél, o sea que el principio del cable es un punto de reflexión de onda, dando origen entre ellos a grandes arcos que originan desenganches y rupturas, remediabiles si en la unión ponemos un extintor de ondas.

Lo mismo se debe hacer a la entrada y salida de líneas; sobre barras lo mejor será bobinas de núcleo de hierro contra las cargas estáticas; en las bornas de alternadores y transformadores las válvulas eléctricas los protegerán contra los efectos destructivos de las ondas que vengan de los cables; para los transformadores sobre caballetes o pilares hay condensadores reducidos para protegerlos de las descargas atmosféricas.

El fenómeno más peligroso en el caso de una *instalación de corriente continua* es el golpe de ariete eléctrico, que se verifica en el momento de la apertura brusca de un disyuntor sobre un cortocircuito, o en el momento de una variación de carga también brusca. Una sobretensión grande hay entonces entre las diferentes polaridades de la máquina, y un *flash* en las escobillas forma un arco en el colector, origen de graves accidentes, que se evitan con un absorbedor de ondas, compuesto de un condensador de mica de gran capacidad, shuntado con unas resistencias de filamentos de carbón, y que en el momento de las bruscas aperturas o variaciones de regímenes se carga de toda la energía electrostática del inducido de la máquina, para después descargarla en el puente de resistencia de las lámparas.

Queremos insistir en este caso que, como en todos, sólo tratamos fenómenos de sobretensión, pues todos sabemos que los de sobreintensidad son remediados por la aplicación de disyuntores extrarrápidos, de modo que una combinación de éstos y absorbedores de onda será el mejor medio de realizar una protección absoluta y completa en una máquina de corriente continua.

José GALLARZA
Ingeniero de Caminos

ESCUELA DE CAMINOS

Curso de conferencias en relación con la Ingeniería sanitaria

CONFERENCIANTE	TEMA	FECHA
Don Severino Bello.....	«Problemas sanitarios en la construcción y en la explotación de las obras públicas».....	31 de marzo
» Gustavo Pittaluga.....	«Médicos e ingenieros en la profilaxia del paludismo»..	7 de abril
» Emilio Luengo.....	«Agua y fiebre tifoidea».....	20 ídem
» Gregorio Marañón.....	«El problema social de la infección».....	25 ídem
» Pedro G. Quijano.....	«Ingeniería sanitaria».....	28 ídem

A estas conferencias, que se darán a las siete de la tarde, quedan invitados cuantos tengan interés en escucharlas.