

# Los sistemas subterráneos de transmisión de potencia a muy alta tensión



**Josep Maria Batlle,**  
**Director Tecnológico**  
**de Pirelli Cables**  
**y Sistemas, s.a.**

Desde finales del siglo XIX, la energía eléctrica se ha erigido en el motor más eficaz del desarrollo económico y social de nuestra civilización. Se puede observar una evidente correlación entre el consumo de energía eléctrica y la calidad de vida, por lo que, su generación, transporte y posterior distribución, son de capital importancia en la sociedad actual.

La energía eléctrica no puede almacenarse como tal, por lo menos en cantidades significativas, siendo producida y transportada en función de la demanda del consumidor final. Debido a esta particularidad, la fiabilidad de los sistemas de transporte y distribución de electricidad es vital para el desarrollo de cualquier economía moderna.

Si consideramos un circuito en corriente alterna trifásico ( $U_0/U$ ), donde  $U_0$  es la tensión entre fase y tierra, y  $U$  la tensión compuesta entre fases, se considera que una línea es de muy alta tensión cuando ésta opera entre 64/110 kV y 220/400 kV, siendo este rango de tensiones el objeto de este artículo.

Las líneas aéreas de transporte de muy alta tensión están constituidas por conductores de aluminio/acero, de sección adecuada a la intensidad de corriente requerida, suspendidos de torres metálicas, a través de cadenas de aisladores. La dimensión de las torres está relacionada con la tensión de transporte y el número de circuitos existentes. Una altura típica, de una torre con un doble circuito de 220 kV, puede ser de unos 35 Mts, equivalente a un edificio de 10 plantas.

Debido al fuerte impacto visual de las líneas aéreas

en el interior de las ciudades o en las zonas con un alto crecimiento urbanístico, la tendencia actual es construirlas subterráneas, mediante la utilización de cables eléctricos aislados. En este campo, Pirelli posee una dilatada experiencia en la fabricación e instalación de cables subterráneos, tanto en España como en el resto del Mundo, hasta tensiones de ejercicio de 1.100 kV. Además, en los últimos años ha desarrollado sistemas subterráneos compactos de coste reducido y rápida instalación, adecuados para acometer el enterramiento o "undergrounding" de cualquier línea aérea existente en España, hasta 400 kV, ya sea dentro de la ciudad o en entornos periurbanos.

## **Sistemas aéreos versus subterráneos**

En la actualidad, en España, más del 80 % de la energía eléctrica fluye a través de líneas aéreas, siendo el porcentaje de líneas enterradas muy bajo, especialmente en el segmento de 110, 220 y 400 kV, donde el porcentaje de líneas subterráneas no llega al 2%.

No obstante, a pesar de las grandes ventajas de los sistemas subterráneos (ver cuadro I), todavía existen una serie de inconvenientes de índole económica que frenan su expansión, como el coste superior y la mayor dificultad en la localización y reparación de defectos o averías. Esto, sumado a las ventajas de los sistemas aéreos (coste más reducido, la facilidad para la localización de averías y una amplia experiencia, hasta 400 kV) hacen que los sistemas subterráneos se encuentren en una situación de desventaja, aunque se prevé que esta situación cambie de forma progresiva.

## Los sistemas subterráneos

Los sistemas basados en cable eléctrico aislado son los más fiables y con mayor número de realizaciones en todo el Mundo. Desde la invención del cable O.F. (oil filled) en 1925, por parte del Ingeniero de Pirelli L. Emanuelli, la tecnología de los cables, accesorios, así como su instalación y montaje, han experimentado cambios importantísimos.

El más notable, acaecido en la década de los 70, es la utilización de aislamientos de tipo polimérico extruso (EPR o XLPE), que permiten la construcción de sistemas fiables, de bajo coste y exentos de mantenimiento, hasta tensiones de ejercicio de 500 kV (U). Desde el año 1973, Pirelli lleva instalados más de 6,000 km de cables de muy alta tensión desde 110 hasta 400 kV, con este tipo de aislamientos, en más de 20 países, mostrando una altísima fiabilidad y un mantenimiento muy reducido, en comparación con los sistemas aéreos equivalentes.

### Pirelli solución “llaves en mano”

En cualquier proyecto eléctrico de alta tensión, el problema estriba en transportar una potencia eléctrica determinada  $P$ , a un nivel de tensión conocido  $V$ , desde un punto  $A$  a un punto  $B$ , situado a una distancia  $L$ . En el concepto de obra “llaves en mano” que propone Pirelli, engloba la ingeniería del proyecto, el diseño, fabricación y suministro de los cables, accesorios, la obra civil necesaria, la instalación de los cables y montaje



de los accesorios, las pruebas eléctricas finales y puesta en servicio, la asistencia técnica y, por último, la actuación inmediata en caso de alguna incidencia.

Una vez definidas la potencia a transportar y las condiciones de instalación, nuestro Departamento de Ingeniería diseña el sistema más eficiente, tanto desde el punto de vista técnico como económico, en función de los requerimientos de explotación del enlace. De ese modo, se calcula el tipo de conductor de sección más apropiada, el número de empalmes y terminales necesarios, así como los elementos auxiliares de conexionado y las condiciones de instalación, que configuran la totalidad del sistema. Se sugieren también los repuestos necesarios, en caso de incidencia o avería.

### Cables

En el apartado de los cables, la tendencia actual es trabajar con diseños tipo “composite” (ver figura 1), con aislamiento en XLPE (polietileno reti-

Líneas de 220 y 110 kV.

Sistemas subterráneos (Ventajas)	Sistemas aéreos (Inconvenientes)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto visual nulo.</li> <li>• No presentan ningún tipo de peligro para los animales o las personas, al tratarse de sistemas apantallados y puestos a tierra.</li> <li>• Menor ocupación de espacio.</li> <li>• Campo eléctrico nulo en el exterior de los conductores.</li> <li>• Posibilidad de campo magnético muy reducido, en función de la disposición de las fases.</li> <li>• Posibilidad de reducir las pérdidas por efecto Joule, dimensionando adecuadamente la sección de los conductores.</li> <li>• Máxima fiabilidad y muy escaso mantenimiento.</li> <li>• Posibilidad de creación de nuevo suelo urbanizable, en el entorno de las ciudades, por eliminación de los sistemas aéreos existentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto visual.</li> <li>• Peligro para la avifauna por choques contra los cables, especialmente en especies protegidas, como las águilas.</li> <li>• Riesgo de incendio cuando transcurren por zonas arboladas, especialmente en períodos secos y de elevada sobrecarga de la red.</li> <li>• Mayor ocupación de espacio y necesidad de tala de árboles a ambos lados de la línea, para evitar los cortocircuitos provocados por las ramas.</li> <li>• Sensibilidad hacia las condiciones meteorológicas adversas, tales como el viento, la lluvia o el hielo, con posibilidad de disparos de las protecciones con la consiguiente interrupción del servicio.</li> <li>• Necesidad de mantenimiento periódico de los aisladores, con especial incidencia en zonas costeras.</li> <li>• Pérdidas por efecto corona, con ionización del aire circundante y producción de ozono, especialmente a partir de los 220 kV.</li> </ul>

**Cuadro I.** Comparativa de las ventajas de los sistemas subterráneos frente a los aéreos.



**Figura 1.** Cable de alta tensión, tipo Voltalene "Composite".

culado), pantalla de hilos de Cu y lámina de aluminio termosoldada a la cubierta, para evitar la entrada de humedad en el cable en servicio. Este diseño permite trabajar hasta 220 kV, con longitudes de más de 1,000 M por bobina, con el consecuente ahorro de empalmes intermedios y una mayor facilidad de instalación y montaje.

### Accesorios

En cuanto a los accesorios, Pirelli utiliza el concepto premoldeado, tanto para terminales como empalmes. Los accesorios premoldeados se ensayan en fábrica a tensión y a descargas parciales, y se proyectan a un gradiente de trabajo inferior al del propio cable. De este modo, se evita en lo posible la intervención humana, buscando la máxima fiabilidad y facilidad de instalación. Este proceso de fabricación y montaje convierte a los empalmes, históricamente considerados puntos débiles del sistema, en elementos fiables y robustos (ver figura 2).

### Obra civil

La obra civil que acompaña a cualquier enlace subterráneo influye de forma directa en el diseño del propio sistema. Es muy importante determinar el tipo de instalación que va a utilizarse (galería, tubular o directamente enterrado) antes de iniciar el estudio de los diferentes elementos que componen el sistema. La misma potencia, utilizando cables instalados en galería o en tubulares, puede requerir secciones de conductor distintas.

Generalmente en zonas urbanas o periurbanas, la tendencia actual es la utilización de tubulares embebidas en hormigón (ver figura 3). Este sistema presenta una serie de ventajas respecto a la instalación directamente enterrada en zanja, tales como una mayor protección frente a agresiones externas, la independencia en la ejecución de la obra civil respecto al tendido de los cables (por lo que no es preciso mantener zanjas abier-

tas durante períodos prolongados de tiempo), y un coste relativamente moderado. Estas tubulares han de ser de un diámetro interno adecuado a las dimensiones del cable, con objeto de evitar rozamientos indeseados en los cambios de dirección o de rasante.

En el caso de que la obra civil no se adjudique al fabricante del sistema eléctrico, es muy importante la supervisión de la obra civil por su parte, ya

que una mala ejecución de la misma podría dañar los cables en el momento de su tendido y/o explotación ulterior.

### La instalación

La instalación de los cables y la confección de los accesorios es otro de los apartados básicos que configuran cualquier sistema eléctrico subterráneo. Es crucial disponer de maquinaria adecuada tanto para el tiro de los cables, como para la confección de los accesorios, así como la cualificación técnica del personal que interviene en el tendido de los cables, y en las distintas confecciones.

En el caso de los empalmes y terminales que suministra Pirelli, la tecnología de núcleo premoldeado utilizada, aumenta de forma muy notable la fiabilidad de estos elementos, al fabricarse y ensayarse de forma independiente de su proceso de confección en obra, evitando de ese modo cualquier intervención humana directa en el núcleo eléctrico.

### Certificado de calidad

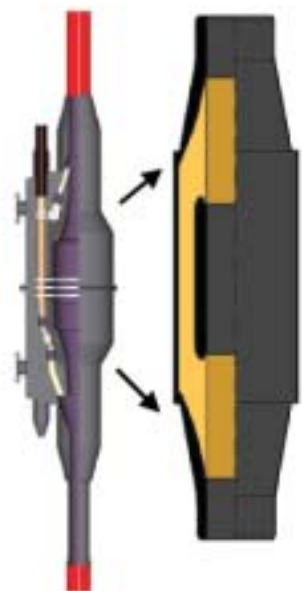
Una vez instalados todos los elementos que configuran el sistema, Pirelli ensaya eléctricamente la instalación y certifica mediante un documento de garantía la calidad de la misma. A partir de ese momento queda lista para su puesta en servicio y explotación.

### Asistencia técnica

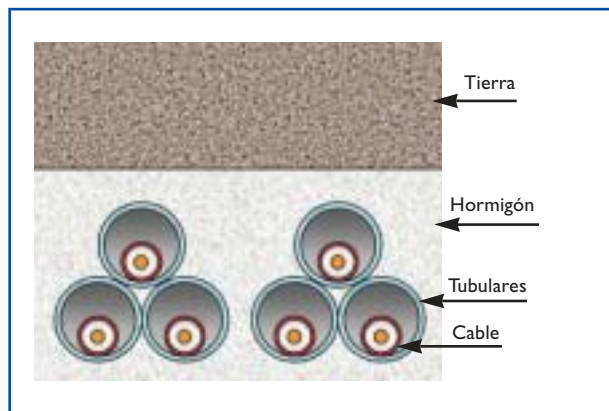
Finalmente, una vez el sistema está en servicio, otro concepto a tener en cuenta es la asistencia técnica y la capacidad de intervención en caso de incidencia o avería. Pirelli Cables y Sistemas, en España, dispone de un equipo humano capaz de intervenir ante cualquier eventualidad, en un plazo de tiempo inferior a 24 h, con capacidad resolutoria hasta 400 kV.

Con objeto de que la intervención sea operativa, es importante disponer de repuestos en obra, ya que su plazo de entrega en fábrica suele ser elevado.

La tecnología actual permite soterrar grandes longitudes de líneas aéreas, en zonas urbanas o en el entorno de las grandes ciudades, hasta tensiones de 400 kV, con unos costes competitivos y en continua mejora, mediante la utilización de diseños económicos de cables y accesorios, y técnicas automatizadas para la realización de la obra civil y el tendido de los cables. Estamos en el inicio de un largo camino que ya hemos empezado a recorrer, y que nos conduce de forma irreversible a unas mayores cotas de bienestar y calidad de vida.



**Figura 2.** Empalme seccionado, con detalle del núcleo premoldeado.



**Figura 3.** Detalle de instalación en tubulares, doble terna al tresbolillo.