

LA SOLUCIÓN DE CABLES DE ALTA TEMPERATURA PARA REFUERZO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN

THE HIGH TEMPERATURE CABLE SOLUTION FOR ELECTRICAL OVERHEAD DISTRIBUTION LINES

Recibido: 12/03/07

Aceptado: 21/05/07

Marta Landeira Santos

Ingeniero Industrial.
SAPREM

Patxi Morentin Galarza

Ingeniero Técnico Industrial.
Trefinasa

Javier Mazón Sainz-Maza

Dr. Ingeniero Industrial.
UPV.- E.T.S. Ingeniería

Igor Albizu Flórez

Ingeniero en Electrónica y
Automática Industrial.
UPV -E.T.S de Ingeniería

RESUMEN

El crecimiento de la demanda, unido a la oposición creciente al montaje de líneas aéreas, genera retrasos importantes en la puesta en servicio de subestaciones, empeorando la fiabilidad del sistema y limitando en algunos casos el suministro a nuevos clientes y polígonos industriales.

Una nueva solución es instalar conductores de alta temperatura (también llamados de baja flecha), que garantiza un incremento de capacidad del 70-80% (aunque también de pérdidas) y es rentable, pues, aunque la mano de obra de tendido es bastante más elevada, no hace falta variar servidumbres ni apoyos y, por ello, el plazo de tramitación es mucho más reducido, así como la oposición del entorno.

Palabras clave: Líneas aéreas, alta tensión, tendido, apoyos.

ABSTRACT

The electrical demand growth and the increasing opposition to new overhead lines is generating important delays in new substations energization, a worse electrical reliability and avoiding new connections in time.

A new solution is to install new cables working in a high temperature (also called "low sag"), guaranteeing more than 80% incapacity (but incre-

asing losses), with a high profitability due to this possibility of using the established rights-of-way and poles, including an overcost of manpower subcontracted.

Key words: Overhead lines, high voltage, line, poles.

1. EL PORQUÉ DE UNA NUEVA TECNOLOGÍA CON DISEÑO DE UN CONDUCTOR DE BAJA FLECHA

1.1. La justificación

Las líneas eléctricas de alta tensión (AT) se han estado diseñando para una temperatura de funcionamiento continuo de 50 °C, pero, debido al aumento de la demanda de energía eléctrica, últimamente se ha impulsado a que las nuevas líneas a construir se estén diseñando para temperaturas de 80 °C lo que conlleva que las torres sean más altas y sus cimentaciones más fuertes.

El aumento de la demanda en zonas consolidadas hace que la infraestructura de líneas aéreas de AT actuales esté llegando al límite de diseño térmico para el que se diseñaron en proyecto.

Todo esto hace que se hayan buscado diversas formas de aumentar la potencia de las instalaciones actuales, entre las que destacan:

- Aumento de la tensión de explotación (solución muy costosa de-

bido a que la línea requiere un nuevo proyecto y los consumidores debieran adaptar sus instalaciones a la nueva tensión).

- Aumento de la sección del conductor (supone mayores esfuerzos mecánicos sobre los apoyos y, por lo tanto, obligaría al refuerzo de apoyos, cimentaciones y herrajes).

- Aumento del número de conductores, paso a Duplex (supone mayores esfuerzos mecánicos sobre los apoyos y, por lo tanto, obligaría al refuerzo de apoyos, cimentaciones y herrajes).

- Control de la temperatura del conductor (optimizando la capacidad real de transporte a los datos reales de la línea, capacidad/flecha)

- Sustitución del conductor por otro de mayor capacidad y con sección y peso equivalentes (mediante la utilización de conductores de baja resistividad "Aero Z" se consigue un aumento del 15% de la capacidad y con la utilización de conductores de baja flecha se consigue un aumento superior al 70% de la capacidad).

Los conductores de alta capacidad y baja flecha, aunque mantienen las dimensiones similares al conductor convencional ACSR, consiguen aumentar su capacidad de transporte a base de aumentar su temperatura, pero manteniendo en todo momento las distancias de seguridad al presentar menores flechas en la mismas condiciones de temperatura con la restricción de unas mayores pérdidas.

1.2. La realidad del mercado

Este tipo de conductores se vienen empleando desde hace tiempo en EEUU y Japón. En 2005 y 2006 se ha venido desarrollando una nueva variante (GTTACSR) de este tipo de

conductor así como los ya existentes GTACRS y ZTACIR, en España, a través de empresas nacionales.

2. DESARROLLO DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El objetivo del proyecto de investigación IMCECOT ha sido caracterizar completamente (mecánica, eléctrica y térmicamente) el conductor GTTACSR, llevando a cabo ensayos de laboratorio y aplicando dichos resultados al caso de una línea de 30 kV, propiedad de **Iberdrola Distribución**, que se encuentra operando en condiciones próximas a la saturación (se pretende aumentar en un 60% la capacidad de transporte de la línea).

Asimismo ha valido para definir con precisión el comportamiento en explotación de los conductores y el equipamiento asociado (dispositivos y proceso de tendido, análisis de grapas, estudio de ruidos e interferencias, análisis de vibraciones, etc.)

3. INNOVACIÓN DEL PROYECTO Y CARACTERÍSTICAS

Con el presente proyecto se ha adquirido un profundo conocimiento del comportamiento en explotación real de los conductores de baja flecha GTTACSR, cuestión que no ha sido abordada hasta la fecha en España.

La monitorización y el seguimiento exhaustivo de la variación de los parámetros fundamentales (flechas, ampacidad, temperaturas conductor, etc.), en función de las diferentes condiciones ambientales y del estado de carga de la línea, ha permitido adquirir un nuevo conocimiento que podrá ser posteriormente aplicado por las empresas relacionadas con el transporte y distribución de energía eléctrica, empresas de montaje de instalaciones eléctricas y fabricantes de conductores, cadenas de aisladores y sistemas de amarre.

3.1. Características del conductor GTTACSR

El conductor está constituido por un tubo de aluminio extruído (tipo TAL) conteniendo en su interior un alma de ACS de alta resistencia (*aluminium-clad steel*, es decir ARL-ace-ro recubierto de aluminio), el cual po-

see libertad de desplazamiento dada su construcción holgada y se encuentra protegido con una grasa de propiedades adecuadas a su uso.

Sobre el tubo de aluminio, se encuentra cableada una capa de alambres metálicos compuesta por alambres de aluminio (tipo TAL, Fig. 1).

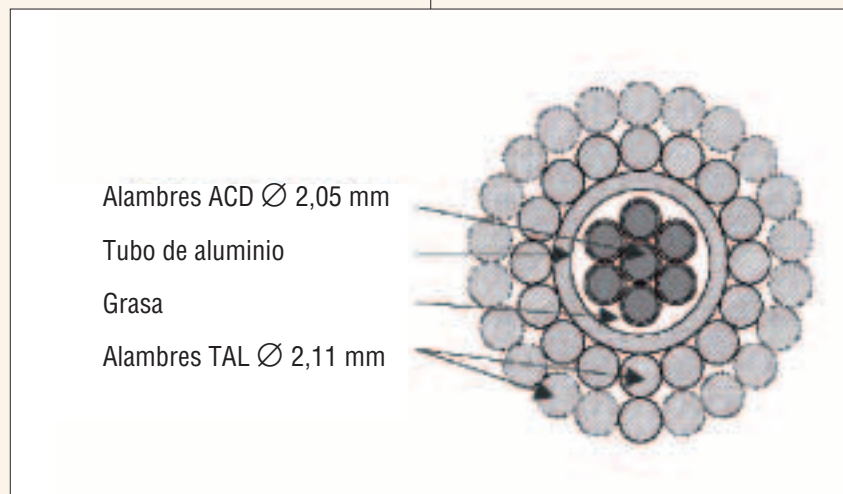


Figura 1.-Características del conductor

Dimensionales

Diámetro nominal del cable (mm) 17,59.

Peso total del cable (kg/km) 622,30.

Sección total del cable (mm²) 181,60.

Composición

Número de alambres de ACS 1+6

Diámetro nominal del alambre de ACS (mm) 2,05.

Diámetro nominal del alma ACS (mm) 6,15.

Dimensiones del tubo de aluminio (mm) 9,15 x 7,15.

Número de alambres de aluminio 16+22 = 38.

Diámetro nominal del alambre de aluminio (mm) 2,11.

Sección total de los alambres de ACS (mm²) 23,10.

Sección total del tubo aluminio (mm²) 25,60.

Sección total de los alambres de aluminio (mm²) 132,90

Mecánicas

Carga de rotura nominal del conductor (daN) 6.237.

Carga de rotura nominal del alma de ACS (daN) 3.670.

- Por debajo de las condiciones de tendido:

Módulo de elasticidad final (daN/mm²) 8.020.

Coeficiente de dilatación lineal (x10-6 / °C) 19,50.

Sección aplicable (mm²) 181,60.

- Por encima de las condiciones de tendido:

Módulo de elasticidad final (daN/mm²) 14.716.

Coeficiente de dilatación lineal (x10-6 / °C) 13,50.

Sección aplicable (mm²) 35,90.

Eléctricas

Resistencia óhmica DC a 20 °C (Ω/km) 0,1861.

Temperatura máxima de trabajo (°C) 150.

4. ENSAYOS

Se han realizado una serie completa de simulaciones, ensayos y pruebas de campo de conductores de altas prestaciones térmicas y baja flecha GTTACSR. Estos han consistido en:

- Ensayos de laboratorio de propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas de los conductores. Han permitido analizar la interrelación de los parámetros fundamentales tales como resistencia eléctrica, flecha, temperatura, etc.

- Preconfiguración de las pruebas de campo mediante la ejecución de un vano de prueba sobre el que instalar los conductores y definición de las pruebas de campo sobre un tendido real.

Tanto los ensayos de laboratorio como las pruebas realizadas han permitido:

- Definir con precisión las características físicas reales de estos conductores de baja flecha.

- Preconfigurar el comportamiento en explotación de los conductores y del equipamiento asociado (dispositivos de tendido, análisis de grapas, análisis de vibraciones, etc.).

- Evaluar el proceso de tendido para elaborar unas directrices de tendido que consideren aquellas circunstancias especiales que rodean a la instalación especial de estos nuevos conductores.

- Preestablecer el plan de explotación final de la fabricación de los conductores y su equipamiento asociado, empleando tecnología propia, para su empleo en la red de transporte y distribución de energía eléctrica nacional e internacional.

5. CARACTERÍSTICAS DEL MONTAJE Y ENSAYOS

5.1. Características especiales del tendido (Fig. 2)

El tendido se llevará a cabo a la vez que se desinstala el conductor existente, sirviendo éste de piloto.

Se realizará a la menor tracción posible para posibilitar la instalación del conductor, NO sobrepasándose en ningún caso el 70% de la tracción que le corresponde para la temperatura ambiente en función de las tablas de tendido aportadas por la Ingeniería.

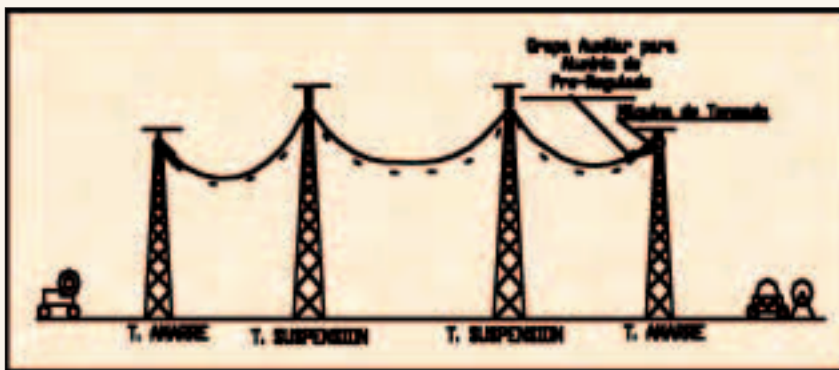


Fig. 2. Se cortará el conductor en su totalidad. La longitud será tal que el conductor, como mínimo, llegue hasta la cruceta de la torre. Se insertará el cuerpo de aluminio de la grapa de amarre de compresión a instalar. Seguidamente, se medirá la longitud total de la cadena de amarre y se marcará sobre el conductor el punto de amarre de dicha cadena a la cruceta. Se deberá tener en cuenta la instalación de un tensor de corredera en la cadena de amarre.

Se cortarán las capas conductoras de aluminio, capa a capa, sin dañar los hilos del alma. Se procederá a limpiar el núcleo de acero, que ha sido descubierto, de la grasa existente. A continuación se introduce el émbolo de acero, que deberá ser pasante y de horquilla. Posteriormente se enhebra la máquina de tensado, que previamente ha sido amarrada a la cruceta (Fig. 2).

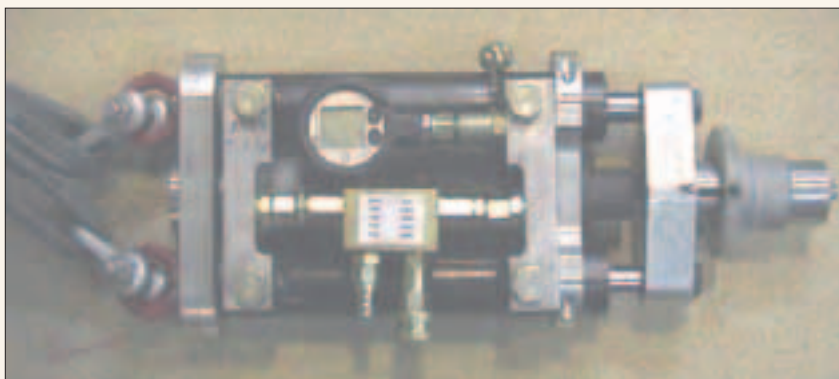


Fig. 3. Máquina de tensado

Se procederá a accionar la máquina de tensado, para conseguir el tensado del conductor, mediante la actuación única sobre el alma.

Se conectará el nuevo conductor a instalar con el piloto de la máquina de freno mediante un sistema auxiliar de tendido. y se fijará a dicho sistema auxiliar de tendido un estribo con antigrigorio (*running board*).

El sistema auxiliar de tendido deberá ser tal que evite que el alma de acero se introduzca dentro de las capas de aluminio y que éste pase correctamente por las poleas de tendido.

5.2. Sistema auxiliar

Se retirarán las capas conductoras en una longitud aproximada de

500 mm y se utilizarán las herramientas de corte adecuadas. A continuación se instalará sobre el alma de acero un doble preformado, adecuado a las dimensiones del conductor. y se instalará una camisa de tendido.

La longitud de la serie máxima, regulando únicamente en un extremo de la misma, será de unos 1.700 m y con un máximo de cinco suspensiones. El tendido en series de mayor longitud, hasta 9.000 m, y/o con un mayor número de suspensiones, es viable, pero se requiere de la instalación de empalmes de compresión, falsos amarres

en suspensión y/o regulación en ambos extremos de la serie.

5.3. Pre-regulado (*Pre-sagging*)

La operación de pre-regulado consiste en dejar los conductores a la flecha correspondiente al 70% de la tracción que le corresponde para la Temperatura ambiente en función de las tablas de tendido aportadas por la Ingeniería.



Fig. 4.

Se realizarán los cortes necesarios de las capas conductoras y accionamientos para conseguir llegar al tense y/o flecha correspondiente de cada vano. Se procederá a marcar la posición de instalación del embolo de acero, y se procederá a su compresión. Se procederá a conectar la cadena de aisladores al embolo de acero. Para ello deberá conectarse el conductor a la cruceta de la torre y hacerse con el tense y luego cortar el sobrante del alma de acero en la horquilla de émbolo y el tapón suministrado con la grapa para impedir la entrada de agua en el alma (Fig. 4). Se mantendrá al menos durante 12 h en poleas. Se volverá a ajustar la flecha tensando a través del tensor de corredera. Se completará la compresión del cuerpo de aluminio de la grapa y se desmontará la grapa auxiliar para aluminio.

5.4. Regulado (*Sagging*)

Una vez realizado el pre-regulado, se procederá al regulado, que consiste en poner los conductores a la flecha correspondiente de cada vano para la temperatura ambiente en función de las tablas de tendido aportadas por la Ingeniería. Para ello se de-

berá actuar únicamente sobre el núcleo de acero con las siguientes operaciones:

5.5. Engrapado de las suspensiones

El engrapado de grapas de suspensión se realizará de la misma forma que para conductores convencionales (ACSR). En esta operación se utilizarán herramientas no cortantes para evitar daños en el conductor.

6. FABRICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE TENDIDO

Además de los útiles estándar empleados para el tendido de conductores ACSR, SAPREM ha diseñado varios elementos específicamente para el tendido del conductor GT-TACSR:

- Herramienta para corte longitudinal del tubo de aluminio. Fig. 5



Fig. 5. Herramienta para el corte longitudinal del tubo de aluminio

- Máquina de tensado® de acero: En el tendido del conductor GTTACSR toda la tracción se aplica sobre el acero. Para ello es necesaria una máquina de tensado del núcleo de acero (Fig. 6).



Fig. 6. Máquina de tensado de acero

7. TOMA DE MEDIDAS

7.1. Definición y adquisición de los equipos de medida

Se han desarrollado los dispositivos necesarios para la toma de medidas en la realización de los ensayos de prueba y monitorización de los conductores. En esta tarea es necesario un periodo de aprendizaje y prueba de manejo de los equipos adquiridos.

La medida se realiza mediante dos sistemas independientes. El primero es una estación meteorológica que incorpora una célula de carga y el segundo es un sistema de monitorización de temperatura.

7.1.1. Estación meteorológica y célula de carga

Este sistema está compuesto por una estación meteorológica con sus respectivos sensores por una parte y una célula de carga por otra. La estación realiza la medida de las variables meteorológicas (velocidad y ángulo del viento, temperatura ambiente, radiación solar). Dispone de un sistema de alimentación autónomo alimentado por un panel solar. Cuenta con un sistema de transmisión de datos GSM de forma que las medidas se monitorizan de forma remota mediante un ordenador con módem GSM. El modelo de la estación meteorológica es *Wireless Vantage Pro2™*.

La tensión de tracción del conductor se mide mediante una célula de carga que se coloca entre la cadena de aisladores y la cruceta del apoyo.

7.1.2. Sistema de monitorización de temperatura (SMT) del conductor

Para la monitorización de la temperatura del conductor se ha optado por un Sistema comercial de Monitorización de Temperatura (STM).

Se van a instalar dos elementos STM con objeto de tener una mayor fiabilidad respecto a la medida de la temperatura.

El sistema STM ha sido probado y se ha adquirido experiencia con el sistema de monitorización de los datos. Así, la implementación en la instalación final será más sencilla.

8. RESULTADO Y BENEFICIOS

Como ya se ha mencionado, la potencia transmitida en las líneas eléctricas se ha incrementado considerablemente en los últimos años y, como consecuencia de ello, es posible que algunas líneas superen su límite de ampacidad (corriente que asegura el mantenimiento de los criterios de diseño y seguridad de una línea eléctrica).

Con el fin de modificar lo menos posible las líneas problemáticas y ante este aumento de carga, una solución es lograr la repotenciación de las mismas mediante el uso del conductor de baja flecha GTTACSR.

Debe tenerse en cuenta que la explotación, en régimen permanente, de las líneas de transporte y distribución a temperaturas próximas a las máximas permitidas por los conductores de altas temperaturas/baja flecha, pese a solucionar el problema de saturación, supone un incremento de pérdidas por el aumento de la resistividad eléctrica del conductor con la temperatura.

La aplicación de este tipo de conductores de baja flecha en líneas existentes consigue la repotenciación de las mismas con sólo sustituir el conductor y evitando así la construcción de nuevas líneas o el refuerzo de las existentes.

No solamente se consigue el objetivo técnico de repotenciar la instalación sino que económicamente resulta la solución más rentable (incluso con el aumento de pérdidas).

9. NUEVAS TENDENCIAS

El éxito del conductor ha sido muy claro y los ensayos y prueba real en campo han demostrado su rendimiento y rentabilidad económica. Sin em-

bargo hay que seguir trabajando ya que existen dobles circuitos en AT y MT diseñados así por garantía de suministro, de tal forma que cada línea soporta la carga del conjunto y además el cliente admite transferencia.

Pero las circunstancias actuales de la explotación han cambiado ya que cada circuito ha sido absorbiendo carga y no hay capacidad en el ámbito individual; el cliente no tiene garantía de servicio con la transferencia.

¿Cuáles son las posibles evoluciones tecnológicas (además de las citadas)? Seguir investigando en un nuevo conductor de todavía más capacidad.

Para ello se han empezado a desarrollar las especificaciones constructivas previa prueba de prototipo en fábrica, para trabajar en dos direcciones convergentes.

- Trabajar sobre el acero para ser alternativa o sustitución del *Invar*, en cuanto a la carga de rotura (sobre un límite práctico del 35%).

- Trabajar mineralizando el *composite*, hasta conseguir el mejor compromiso precio/calidad, en base al aumento de la capacidad de transporte.

Teniendo en cuenta condiciones reglamentarias y normativas de flecha, peso, temperatura, etc..., manteniendo como requisito básico fundamental la servidumbre de los apoyos, su soporte constructivo y las características de proyecto del conductor original.

Los riesgos en esta nueva aventura son:

- Tecnológicos

En el mercado hay composites y aceros de distintas composiciones, pero no una aleación rentable.

- Económicos

El resultado final podría no ser competitivo en el mercado.

La apuesta de **Iberdrola** en este campo es clara y definida y se ha trasladado a los planes correspondientes de inversión.

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todo el personal de **Iberdrola Distribución**

Eléctrica, especialmente **Luciano Azpiazu** e **Iñaki Belakortu**, su dedicación así como sus gestiones para facilitar los ensayos y la instalación en una línea crítica de doble circuito.

11. BIBLIOGRAFÍA

- *Conductors for the Upgrading of Overhead Lines*, CIGRÉ B2-12 Brochure (Ref. No. 244), 2004.

- ZAMORA, I., MAZÓN, A.J., EGUÍA, P., CRIADO, R., ALONSO, C., IGLESIAS, J., SAENZ, J.R., *High-temperature conductors: a solution in the upgrading of overhead transmission lines*, IEEE Power Tech Conference, Porto-Portugal, 2001.

- STEPHEN, R., *Description and evaluation of options relating to upgrading of overhead transmission lines*, CIGRÉ Session, V2-201, París, 2004.

- ALBIZU, I., MAZÓN, A.J., ZAMORA, I., *Methods for increasing the rating of overhead lines*, IEEE Power Tech Conference, St. Petersburg-Russia, 2005.

- MAZÓN, A.J., ZAMORA, I., MEDINA, R., ALONSO, C., CRIADO, R., SAENZ, J.R., *Verification Of Traditional Clamp Systems With "HTLS" Conductors - Laboratory Tests*, CIGRÉ 2003, Barcelona, 2003.

- AZPIAZU, L., RUIZ DE ERENTXUN, LANDEIRA, C., M., MORENTIN, P., *Utilización de cables de alta temperatura*, CIDEL 2006, Argentina, 2006. ■