

## VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AMARRE TRADICIONALES CON CONDUCTORES “HTLS”. ENSAYOS DE LABORATORIO

Mazón, A. J. Zamora, I. Medina, R. (\*) Alonso, C. (\*\*) Criado, R. (\*\*) Saenz, J.R.  
 University of the Basque Country – (\*) Industrias Arruti S.A. – (\*\*) Iberdrola S.A. (Spain)

iepmasaj@bi.ehu.es iepzabei@bi.ehu.es industrias@arruti.com calonsop@iberdrola.es raimundo.criado@iberdrola.es iepsaruj@bi.ehu.es

### RESUMEN

*Ante la inminente incorporación de conductores de altas prestaciones térmica y baja flecha (conductores HTLS) en las redes de transporte, las compañías eléctricas se han visto en la necesidad de determinar el impacto que van a sufrir las líneas de alta tensión cuando se sustituyan los conductores tradicionales (ACSR, AAC, AAAC, etc.) por dichos conductores HTLS. Teniendo en cuenta que la principal diferencia reside en el hecho de que los conductores HTLS pueden trabajar a temperaturas superiores a los conductores ACSR, el objetivo primordial del trabajo desarrollado se centra en determinar la influencia de dicho aumento de temperatura y cómo puede afectar a la correcta funcionalidad de los sistemas de amarre.*

### CONDUCTORES Y SISTEMAS DE AMARRE

Los conductores HTLS pueden trabajar a temperaturas más altas que los conductores ACSR tradicionales sin incrementar la flecha del conductor ni sin que sea necesaria la modificación de las estructuras de apoyo. Hay diferentes tipos de conductores HTLS: ACSS, ZTACIR, GTACSR, ACCR, etc. Dependiendo del tipo del conductor, la tensión de rotura puede ser igual o superior a la de los conductores de ACSR, siendo su temperatura máxima de funcionamiento continua entre 150 y 210° C. Este hecho permite incrementar la capacidad de corriente entre 1.6 y 2 veces con el mismo diámetro externo, siendo innecesario modificar tanto los sistemas de amarre como las estructuras de apoyo. Sin embargo, debe determinarse si la alta temperatura de los conductores HTLS tiene un efecto negativo en los sistemas de amarre tradicionales.

Los sistemas de amarre son piezas metálicas que permiten sujetar los conductores de las líneas aéreas, uniendo el conductor con la cadena de aisladores. El propósito del aislador es evitar la circulación de corriente eléctrica del conductor a la torre. El comportamiento dieléctrico del material aislante sólo es estable para un rango dado de temperaturas y, según la información proporcionada por los fabricantes de aisladores internacionales, estos elementos trabajan correctamente con temperaturas inferiores a 100° C.

En la red eléctrica española este límite nunca se alcanza con los conductores ACSR, porque éstos trabajan a una temperatura máxima de 85° C. Sin embargo, los conductores HTLS pueden alcanzar temperaturas de aproximadamente 200° C. Por ello, antes de que sean utilizados estos conductores HTLS, es necesario conocer la distribución de

temperaturas a lo largo del sistema de amarre, y particularmente, la temperatura alcanzada por la cadena de aisladores.

Los sistemas de amarre analizados han sido los de simple cadena para conductor simple. La figura 1 muestra el caso del sistema de suspensión, mientras que la figura 2 muestra el sistema de compresión.

FIGURA 1 – Sistema de suspensión analizado

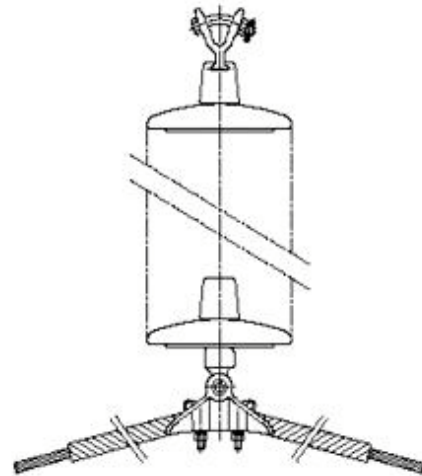
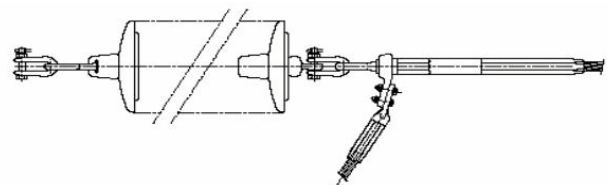


FIGURA 2 – Sistema de compresión analizado



En esta comunicación se muestra el análisis del comportamiento de éstos sistemas de amarre cuando se emplean con conductores HTLS.

### DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS

Como paso previo a la realización de los ensayos de laboratorio, se han realizado diferentes simulaciones sobre modelos teóricos con el fin de determinar la distribución de temperaturas que se alcanzará en el sistema de amarre. Los materiales empleados en la fabricación de cada elemento del conjunto son:

- Aleación de aluminio para las piezas del sistema de suspensión en contacto con el conductor
- Cemento para unir las diferentes partes del aislador
- vidrio para el plato del aislador
- Aleación de acero para el resto de las piezas.

Térmicamente, los parámetros que hace falta definir en cada material para obtener una distribución de temperaturas en el sistema de amarre son los descritos en la tabla 1.

TABLA 1 – Parámetros térmicos de los materiales.

Material	Densidad de masa (KG/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W/m*K)	Calor específico (J/Kg*K)
Aluminio	2700	200	900
Acero	7760	50	460
Cemento	2000	0.8	1090
Vidrio	2460	0.75	834.6

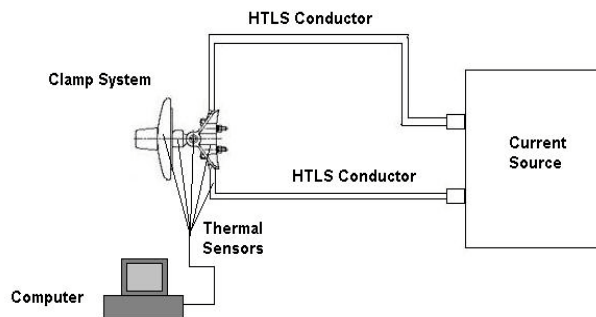
Una vez ajustados los modelos se procedió a la realización de los ensayos de laboratorio. Para realizar los ensayos se ha realizado un circuito con conductores HTLS de dimensiones equivalentes al conductor ACSR Hen. El circuito consiste en un bucle de 8 metros de conductor con grapas de compresión en los extremos. Este conductor se une al generador de corriente mediante las derivaciones de las grapas de compresión, tal y como aparece en la figura 3. El generador de corriente proporciona la potencia suficiente para incrementar la temperatura del conductor hasta la máxima temperatura de trabajo.

FIGURA 3 – Ensayos de laboratorio.



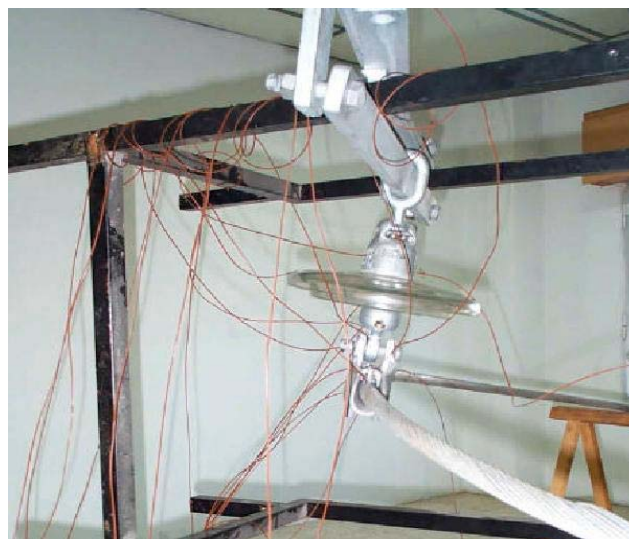
En la figura 4 se muestra un esquema del ensayo realizado.

FIGURA 4 – Esquema del ensayo



Para medir las distintas temperaturas se colocaron termopares en los distintos puntos de las piezas a medir, tal y como se muestra en la figura 5.

FIGURA 5 – Termopares en el sistema de suspensión



### ENSAYO DE LA CADENA DE SUSPENSIÓN

El propósito del ensayo de laboratorio es analizar si la alta temperatura de funcionamiento continuo del conductor puede elevar la temperatura del cemento del aislador por encima de su valor crítico (del orden de 100 °C).

Para la realización del ensayo se han hecho circular por el conductor distintas intensidades y, una vez alcanzada la estabilización de la temperatura en los herrajes de la cadena, se midieron los valores de temperatura en los diversos elementos de la cadena. Los puntos en los que se han medido dichos valores se muestran en la figura 6. Los resultados obtenidos en los ensayos, así como los obtenidos en las simulaciones previas, se muestran en la tabla 2. En los análisis realizados por simulación se han considerado las siguientes condiciones:

- Condiciones atmosféricas sin sol, sin viento
- Temperatura ambiental de 23° C

- Temperatura de 200° C en el conductor.

Los ensayos reales se realizaron en un recinto cerrado con una temperatura ambiente de 23 °C.

FIGURA 6 – Puntos de medida en el sistema de suspensión

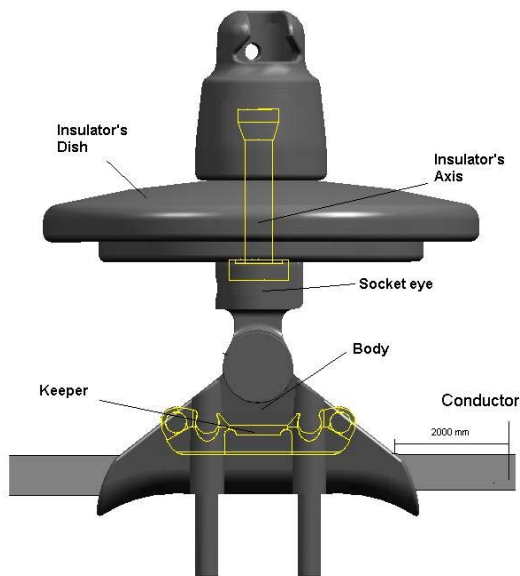


TABLA 2 – Temperaturas en el sistema de suspensión.

Componente	Temperatura media simulación (°C)	Temperatura media ensayo (°C)
Conductor (2 metros del sistema de amarre)	---	200
Zapata	148	146
Cuerpo	140	138
Rótula	84	80
Eje aislador	72	60
Cemento del aislador	43	41

Tras los resultados obtenidos en las medidas realizadas en el laboratorio, se puede comprobar que aun cuando la temperatura del conductor es de 200° C, la temperatura en el cemento del primer aislador solo se ha elevado 20° por encima de la temperatura ambiente.

También puede observarse que la temperatura del conductor disminuye en la proximidad del sistema de amarre. Las razones son la mayor superficie en contacto con el aire en la proximidad del amarre y disminución del efecto Joule.

**ENSAYO DE LA CADENA DE COMPRESION.**

En un segundo conjunto de ensayos se comprobó si puede haber problemas en los aisladores por la temperatura cuando se emplean cadenas de compresión. En este caso solo se ha medido la temperatura en la grapa de compresión ya que, a la vista de los resultados obtenidos en la cadena de suspensión, no parece probable que ni siquiera en el embolo de la grapa de compresión se alcancen temperaturas demasiado elevadas.

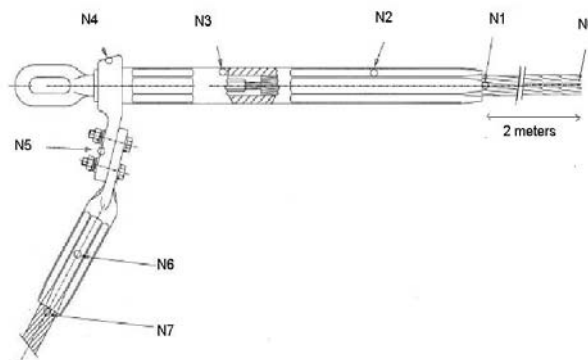
Aunque para los conductores de alta temperatura se utilizan

grapas de compresión de mayor sección que la habitual, debido a que por esos conductores circula una mayor intensidad, los ensayos se han realizado con grapas de compresión correspondientes al Hen-ACSR. El utilizar estas grapas es un caso más desfavorable ya que, a menor sección, hay más calentamiento por efecto Joule y menor superficie para la disipación de calor. Como se puede ver en la figura 7 se han distribuido termopares a lo largo de toda la grapa de compresión. Los puntos en los que se han medido las temperaturas se muestran en la figura 8.

FIGURA 7 - Termopares en la grapa de compresión



FIGURA 8 – Puntos de medida en la grapa de compresión



Los resultados obtenidos en los ensayos, así como los obtenidos en las simulaciones, se muestran en la tabla 3. Como en los ensayos anteriores, se han considerado las siguientes condiciones:

- Condiciones atmosféricas sin sol, sin viento
- Temperatura ambiental de 23° C
- Temperatura de 200° C en el conductor.

A pesar del tamaño más pequeño de los sistemas de compresión probados, comparado con el recomendado por los fabricantes de conductores HTLS, estos resultados muestran el efecto de dispersión de calor en el sistema de amarre, disminuyendo la temperatura del conductor cerca de la grapa así como en el cuerpo de la misma.

Se observa que la temperatura en el límite del émbolo es aproximadamente 70° C. Teniendo en cuenta que esta

temperatura es más baja que en el caso del sistema de suspensión, puede asegurarse que la temperatura del primer aislador en el sistema de compresión es más baja que la alcanzada por este mismo elemento en el sistema de suspensión.

Como en el sistema de suspensión, la temperatura del conductor disminuye en la proximidad al sistema de amarre.

TABLA 3 – Temperaturas en el sistema de compresión.

Componente	Temperatura media de Simulación (° C)	Temperatura media de ensayo (° C)
N0	---	200
N 1	128	132
N 2	112	117
N 3	95	99
N 4	90	93
N 5	106	111
N 6	120	126
N 7	131	135

## CONCLUSIONES

En cuanto a la comparación entre los resultados teóricos y reales se puede afirmar que los modelos desarrollados para realizar un análisis previo por simulación se ajustan con un alto grado de fiabilidad al comportamiento real del sistema. En ambos casos (suspensión y compresión) los resultados de la simulación difieren en un valor máximo del 5% con respecto a los valores medidos en el laboratorio.

Por otro lado, se ha comprobado que en ambos casos la temperatura del conductor decrece en las proximidades del sistema de amarre.

Aun con temperaturas de 200°C en el conductor, la temperatura de los aisladores y los herrajes ensayados se mantiene dentro de unos valores seguros para su funcionamiento.

Como conclusión, se puede considerar que los actuales sistemas de amarre son compatibles con los conductores HTLS.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Kikuchi, R. Morimoto, K. Mito, Y. Kimura, A. Mikumo, 1991 "Uprating of Transmission Capacity in 'Great Riyadh 132 KV T/L Grid System' by Adopting Small Sag and Thermal Rate-up Conductor", CIGRE Symposium Leningrad, S 33-91, 100-06.
- [2] M. J. Tunstall, S. P. Hoffmann, N. S. Derbyshire y M. J. Pyke, 2000 "Maximizing the Ratings of National Grid's Existing Transmission Lines Using High Temperature, Low Sag Conductor". CIGRE 2000, Paris.
- [3] Zamora, A. J. Mazón, R. Criado, C. Alonso, J. R. Saenz. 2001 "Uprating using high-temperature electrical conductors". 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (IEE Conf. Publ. N° 482), paper 1-15,.
- [4] Zamora, A. J. Mazón, P. Eguia, R. Criado, C. Alonso, J. Iglesias, J. R. Saenz. 2001 "High-temperature conductors: a solution in the uprating of overhead transmission lines". IEEE Porto Tech, Oporto (Portugal).
- [5] D. Douglass, A. A. Edris, 2002 "Maximize Use of Existing Route", Transmission & Distribution World, pp. 22-27.
- [6] M. R. Maroney, R. J. Hill, 2001 "High temperature conductors and their effects on composite insulator mechanical performance" CIGRE, 4th Southern Africa Regional Conference, Cape Town.
- [7] M. Ishikawa, H. Ito, 1989 "Practical Application of an Extremely Low-Sag Invar Reinforced Increased-Capacity Extra-Heat-Resistant Aluminum Alloy Conductor". Sumitomo Electric Technical Review, No. 28, pp 161-171.
- [8] Yunus A. Çengel, 1998. "Heat Transfer", Mc w-Hill, London, England.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado por el equipo de investigación del proyecto UE2000-29 financiado por el Gobierno Vasco y la empresa Industrias Arruti S.A.

# VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AMARRE TRADICIONALES CON CONDUCTORES “HTLS”. ENSAYOS DE LABORATORIO

Mazón, A. J.; Zamora, I.; Medina, R.; Alonso, C.; Criado, R.; Saenz, J.R.



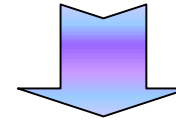
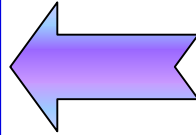
# Indice

- Introducción
- Características de los conductores HTLS
- Simulaciones de comportamiento y Ensayos
- Conclusiones

## CAUSAS

AUGE TECNOLÓGICO  
CRECIENTE  
INDUSTRIALIZACIÓN  
AUMENTO DE LA  
CALIDAD DE VIDA

CRECIMIENTO DE LA  
DEMANDA DE  
ENERGIA ELÉCTRICA



## CONSECUENCIAS

SATURACIÓN CRÍTICA DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

AUMENTO DE LA  
TEMPERATURA  
DEL CONDUCTOR



AUMENTO DE LA  
LONGITUD DEL  
CONDUCTOR



PELIGROSO  
INCREMENTO  
DE LA FLECHA



**SOLUCIONES**

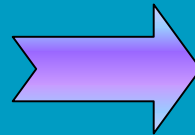
**CONSTRUCCIÓN  
DE NUEVAS  
LÍNEAS**

**Inconvenientes**

- Alta densidad demográfica**
- Uso intensivo de la tierra**
- Rechazo social creciente**
- Condicionantes legales**

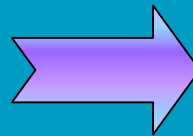
**Otras posibilidades**

**MODIFICACION DE LAS  
LÍNEAS EXISTENTES  
(Upgrade)**



- Circuitos múltiples**
- Conductores múltiples (bundled)**
- Conductor de mayor sección**
- Aumento del nivel de tensión**

**SIN MODIFICACION DE  
LAS LÍNEAS EXISTENTES  
(Uprate)**

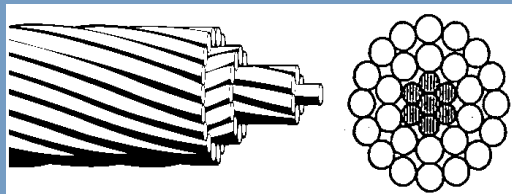


- Monitorización de la línea en tiempo real**
- Empleo de Conductores de altas prestaciones térmicas (HTLS)**



# CONDUCTORES DE ALTAS PRESTACIONES TÉRMICAS

## ACSS



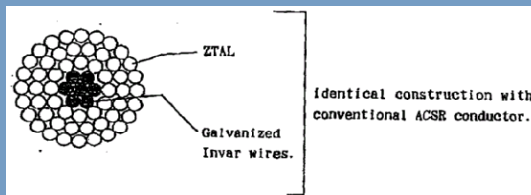
### VENTAJAS

- Tª OPERACIÓN: 200° C
- INCREMENTO INTENSIDAD: 1.7 VECES
- BAJO INCREMENTO DE FLECHA A ALTAS TEMPERATURAS
- HILOS DE ALUMINIO TOTALMENTE RECOCIDO
- GRAN CAPACIDAD DE ABSORCION DE VIBRACIONES

### INCONVENIENTES

- MAYORES CUIDADOS EN EL TENDIDO
- MENOR TENSION MÁXIMA DE ROTURA
- MAYOR COSTE

## ZTACIR



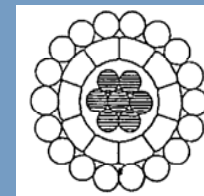
### VENTAJAS

- Tª OPERACIÓN: 210° C
- INCREMENTO INTENSIDAD: 1.8 VECES
- BAJO INCREMENTO DE FLECHA A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE TRANSICION (90°)
- NUCLEO DE INVAR (Acero-Ni) DE REDUCIDO CFTE DE EXPANSION LINEAL ( $3.7 \cdot 10^{-6}$ )

### INCONVENIENTES

- MENOR TENSION MÁXIMA DE ROTURA
- MAYOR COSTE

## GTACSR



### VENTAJAS

- Tª OPERACIÓN: 150° C
- INCREMENTO INTENSIDAD: 1.6 VECES
- BAJO INCREMENTO DE FLECHA A ALTAS TEMPERATURAS
- HILOS INTERNOS DE AL TIENEN SECCION TRAPEZOIDAL Y CREAN UN HUECO
- GRAN CAPACIDAD DE ABSORCION DE VIBRACIONES

### INCONVENIENTES

- DIFICULTAD DE TENDIDO
- MAYOR COSTE

## **SIMULACIONES TEÓRICAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

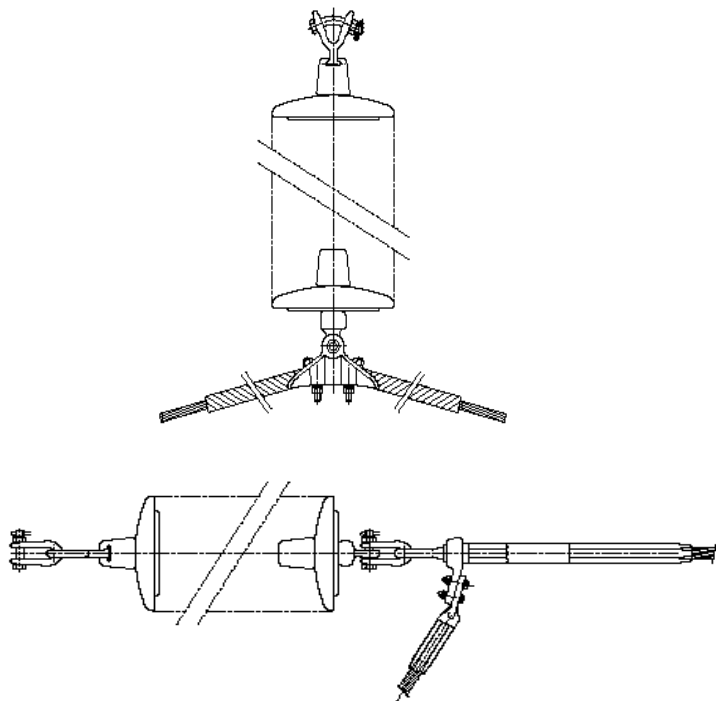
### **OBJETIVOS FUNDAMENTALES:**

- Verificar el comportamiento de los sistemas de amarre tradicionales con los conductores HTLS

### **CONDICIONANTES:**

- Se consideró deseable un límite de temperatura de 100° C en el cemento del aislador

## SISTEMAS DE AMARRE COMUNMENTE EMPLEADOS EN EL TENDIDO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

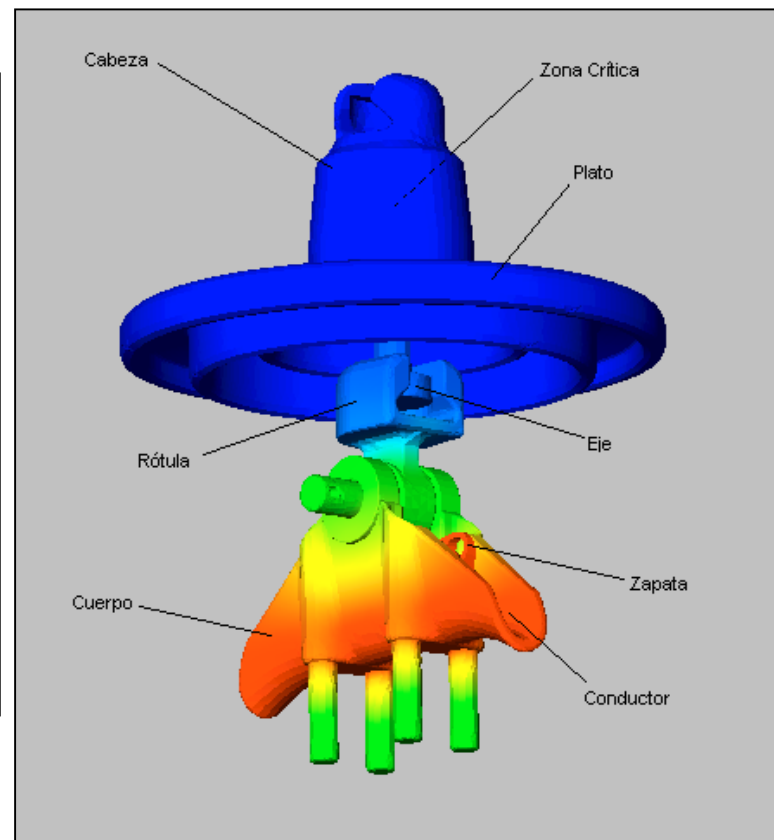
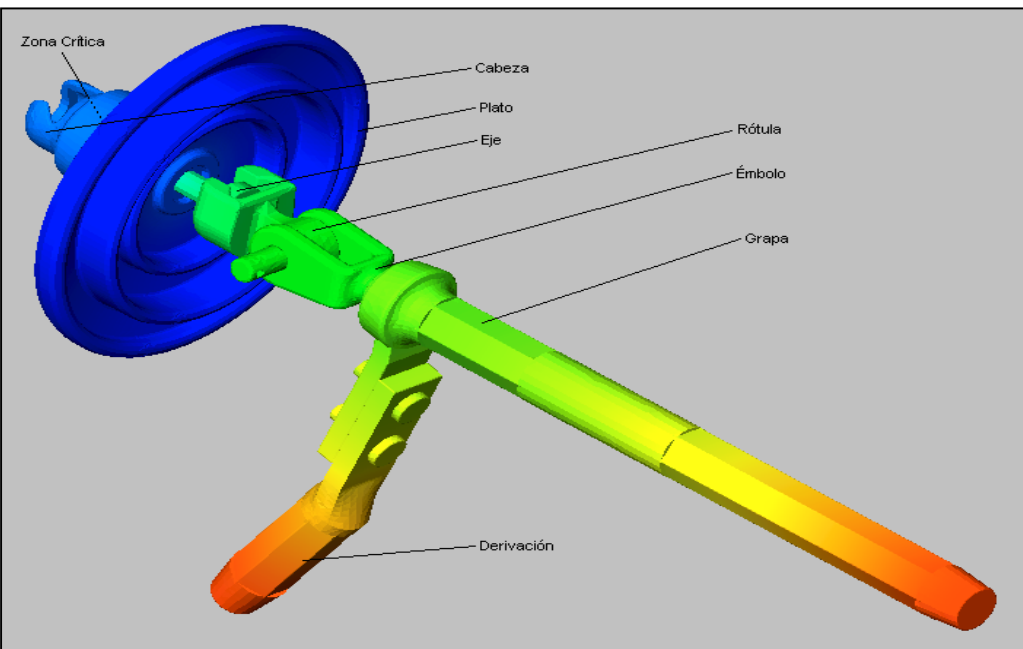


Están diseñados para:

- Soportar y tensar el conductor
  - Aislar eléctricamente el conductor de la torre de apoyo
- Estos elementos pueden no funcionar correctamente si su temperatura es excesivamente elevada.

Se han realizado simulaciones teóricas y ensayos reales para verificar el comportamiento de las sistemas de amarre cuando se emplean conductores “HTLS”

# SIMULACIÓN TEÓRICA SOBRE LOS SISTEMAS DE AMARRE



## ENSAYOS DE LABORATORIO PARA VERIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AMARRE

- Se ha ensayado tramos de 8 metros de conductores HTLS, sobre el que se han dispuesto los dos tipos de sistemas de amarre analizados.
- El generador proporciona potencia suficiente como para aumentar la temperatura del conductor hasta la temperatura de estudio.
- Por medio de termopares monitorizados se recogieron los valores de temperatura en diferentes puntos del sistema de amarre ensayado.



# RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES Y ENSAYOS

- Los resultados obtenidos en las simulaciones y en los ensayos son similares para ambos tipos de sistemas de amarre
- La temperatura máxima alcanzada en el primer aislador de la cadena no compromete su correcta funcionalidad

Componente	Temperatura media de simulación (°C)	Temperatura media de ensayo (°C)
Zapata	148	146
Cuerpo	140	138
Rótula	84	80
Eje aislador	72	69

Sistema de suspensión  
compresión

Componente	Temperatura media de Simulación (° C)	Temperatura media de ensayo (° C)
N0	---	150
N 1	128	132
N 2	110	117
N 3	95	99
N 4	90	93

Sistema de

## CONCLUSIONES

- **El incremento de demanda eléctrica crea la necesidad de tomar medidas para no saturar las líneas existentes.**
- **Una de las soluciones más prometedoras es la sustitución de los conductores actuales por conductores “HTLS”**
- **Propiedades de los conductores “HTLS”:**
  - **Pueden transportar más corriente eléctrica que los actuales conductores, sin incrementar la flecha.**
  - **La elevada temperatura de los conductores no afecta a los sistemas de amarre existentes.**
- **Se ha verificado la viabilidad técnica y económica de la solución.**
- **Se va a proceder a su montaje en una instalación piloto.**