

# Maximizando la capacidad de transmisión de las líneas aéreas



## Parte 2\*: Aspectos prácticos de los conductores ACSS

Por **Martín L. Lavoria**  
Departamento de Ingeniería  
Coidea SA  
[www.coideas.com](http://www.coideas.com)

En el artículo anterior (*Ingeniería Eléctrica 346*, Septiembre 2019), se desarrollaron los aspectos tecnológicos de los ACSS (“conductor de aluminio soportado por acero”, por sus siglas en inglés). En esta segunda parte, nos explayamos acerca de los aspectos prácticos de la tecnología: accesorios, ensayos, manipulación, herramental, reparación, y aspectos de instalación y obra. Los conductores ACSS son simples de instalar en cuanto a métodos y herramental, y sus particularidades —principalmente por la naturaleza “blanda” del aluminio 1350-O— resultan de muy fácil adaptación para planteles experimentados y acostumbrados a instalar conductores ACSR (“conductor de aluminio reforzado con acero”, por sus siglas en inglés). Los accesorios deben estar diseñados para trabajar en alta temperatura, pero no difieren conceptualmente de aquellos empleados en alta tensión. No obstante, toda la tecnología: conductores, accesorios, herramientas, e incluso las metodologías de tendido, tensado y reparación empleadas, deben considerarse como un conjunto que constituye un sistema compatible y eficiente de conducción. Mantener ese enfoque de solución pensada en forma integral es lo que garantiza el correcto desempeño futuro del corredor nuevo o repotenciado con ACSS.

### Introducción

Cualquier conductor de la familia HTLS (“alta temperatura, baja flecha”, por sus siglas en inglés) constituye una tecnología que integra un sistema de conducción; no debe considerarse simplemente como un conductor. Si en una instalación sin garantía, un componente falla por no ser compatible,

o si durante la instalación, el conductor se dañó por manipulación inadecuada: ¿quién es el culpable? Por ello es que no se debe hablar de un conductor como unidad independiente, sino de un “sistema de conducción”, que integra conductor, herrajes, herramental, obra, supervisión y logística. El éxito de un proyecto con conductores HTLS depende de su concepción integral.

En el marco de este enfoque, exploramos, entonces, los aspectos particulares para garantizar el correcto funcionamiento e instalación del integrante de mayor trayectoria de la familia HTLS: los conductores ACSS. Todo lo subsiguiente supone que las características dimensionales del conductor (para los fines de un proyecto dado) ya han sido definidas.

El presente artículo explora tres aspectos principales:

- » los accesorios para los conductores ACSS;
- » los ensayos relativos a los conductores ACSS y sus accesorios;
- » la instalación de los conductores ACSS, en particular de su herramental y equipamiento asociado.

### Accesorios para conductores ACSS

El primer elemento adicional al conductor que se debe definir es indefectiblemente la morsetería. Dentro del conjunto de accesorios que presentan diferencias respecto a los convencionales, se encuentran principalmente los siguientes:

- » Grapas de suspensión
- » Grapas de compresión (para retenciones/amarres)
- » Empalmes y manguitos

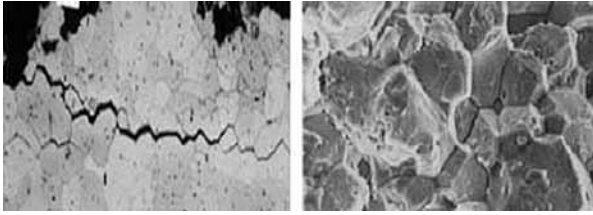


Figura 1. Corrosión intergranular por presencia de magnesio a 130 grados

Otros accesorios, como los amortiguadores, no difieren significativamente excepto por la necesidad imperiosa de incorporar varillas preformadas.

La principal diferencia entre las grapas convencionales y las grapas de ACSS se relaciona con la necesidad de disipación térmica del conjunto, i.e. deben ser capaces de operar sin superar sus temperaturas máximas admisibles cuando el ACSS trabaja en alta temperatura.

La solución principal consiste en sobredimensionarlos. El sobredimensionamiento del tubo de aluminio consiste en una grapa con sección doble respecto a una convencional, para incrementar la conductividad y el área de disipación de calor.

Sin embargo, también se debe garantizar que el aluminio sea de pureza 99,5 por ciento para la fabricación de las grapas, evitando, en particular, la presencia de magnesio, debido a que concentraciones altas de este elemento producen corrosión intergranular a temperaturas superiores a 130 grados centígrados, como se observa en la figura 1, lo cual expone al herraje a rotura frágil.

De modo que los accesorios deben procurar mantener los noventa grados (90°) cuando el conductor se encuentra, por ejemplo, a más de 150 grados.

### Grapas de suspensión

Para las grapas de suspensión, la diferencia fundamental radica en el uso obligatorio de varillas de



Figura 2. Grapa de Suspensión para ACSS (siempre con varilla de protección)

protección, particularmente con grapas a bulones. Ello facilita la disipación de calor y previene daños superficiales. En la figura 2 hay un ejemplo. (Recordar que el sentido de cableado de la varilla preformada debe coincidir con la de las cuerdas exteriores del conductor —generalmente, a derecha—).

### Grapas de retención

Para las grapas de retención, se emplean grapas de compresión con mayor sección de aluminio para manejar las elevadas densidades de corriente del conductor. Es importante que los herrajes de reten-

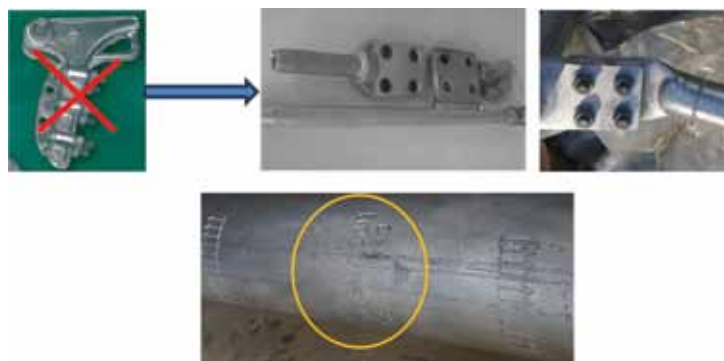


Figura 3. Las grapas de retención deben ser a compresión y emplear una derivación NEMA de cuatro bulones. Todo ello evita envejecimiento acelerado y daño al galvanizado (doscientos grados —200°—). La grapa debe siempre estar marcada como apta ACSS, indicar sentidos de compresión y medidas de las matrices de compresión que deben emplearse.



Figura 4. Encebollamiento durante la compresión

ción sean de dos partes. Deben poseer lengüetas de cuatro bulones. Es importante respetar los pares de apriete especificados para estas lengüetas. Todos los accesorios de compresión deben indicar la matriz que se empleará, las zonas de compresión y flechas que indican el sentido que se aplicará.

El proceso de compresión en los ACSS debe ser realizado con destreza para evitar inconvenientes. La compresión se desarrolla siempre desde la estructura mirando hacia el vano para distribuir el aluminio suave hacia afuera, que intentará fluir en la dirección donde mejor pueda. En efecto, es factible que al comprimir el conductor flojo se desarrolle encebollamiento (figura 4); el mismo suele redistribuirse apropiadamente una vez que se tensa el otro extremo. No debe realizarse compresión inversa excepto potencialmente para el armado del cuello muerto. La mayoría de los fabricantes indican también dejar ciertos espacios de conductor de acero libres para permitir que el aluminio se desplace sin acumular tensión al comprimirse.

	Ensayo	Norma
1	Hilos de acero	ASTM B958
	Zn95Al5	
	Mischmetal (MA5)	
	Diámetro	
	Tracción	
2	Hilos de aluminio recocido (1350-0)	ASTM B609
	Diámetro	
	Tracción	
	Elongación a la rotura	
	Resistividad a 20 °C	
3	Conductor completo	ASTM B856
	Nº de hilos de aluminio	
	Nº de hilos de acero	
	Diámetro exterior	
	Dirección de cableado de capa externa	
	Paso de cableado:	
	De la capa externa de aluminio	
	De la capa interna de aluminio	
	Del núcleo de acero	
	Resistencia eléctrica CC a 20 °C	
Peso unitario		
Sección transversal de aluminio		
Apariencia superficial		

Tabla 1. Ensayos FAT de un conductor ACSS

### Empalme de compresión

Generalmente para unir dos sectores del conductor dentro de un vano dado. Al constituir un enlace del conductor presenta varias exigencias. Desde el punto de vista eléctrico, debe garantizar una resistencia menor al 75 por ciento de una longitud equivalente de conductor, desde lo térmico debe ser capaz de operar con alta temperatura, y des-



Figura 5. Proceso de compresión de las grapas

de lo mecánico el conductor no debe deslizarse ni sufrir daño o rotura con cargas debajo del 95 por ciento RBS (carga de rotura) del conductor. También puede emplearse como método de reparación si se dañó el alma de acero.

**Manguitos de reparación a compresión:** Empleados para reparar el conductor con más de dos cuerdas dañadas o quebradas en la capa externa. Debe ser manufacturada de aluminio 99,5% puro y presentar una superficie suave.

**Varillas de reparación:** Se emplean cuando existen alambres golpeados pero no rotos, o hasta 3 hilos de aluminio rotos.

### Ensayos para ACSS

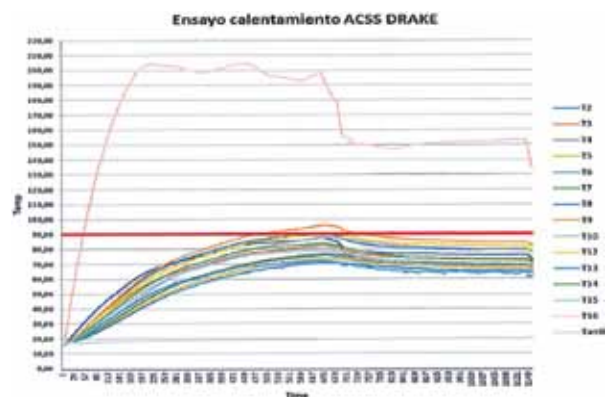
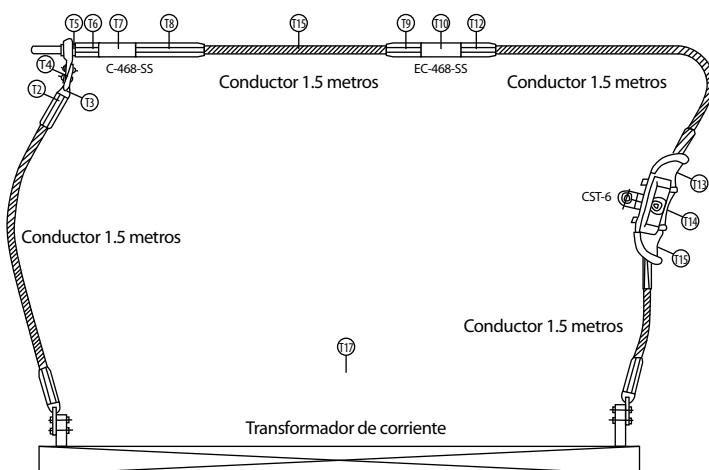
Los ensayos para conductores ACSS pueden agruparse en tres conjuntos:

- (i) Ensayos propios de los conductores
- (ii) Ensayos propios de los accesorios
- (iii) Ensayos de compatibilidad conductor-morse-tería



Figura 6. Se observa que, frente a la rotura del núcleo bajo tracción, el conductor se encebolla

Figura 7. Ensayo de calentamiento o compatibilidad térmica. Se aprecia que las temperaturas de los accesorios no superan los noventa grados (90 °C) cuando el conductor trabaja en alta temperatura



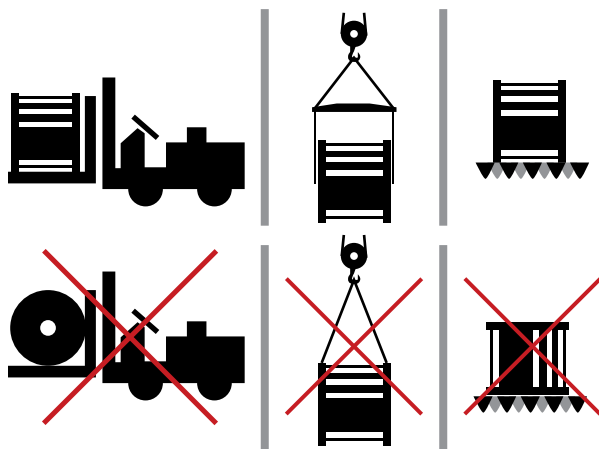


Figura 8. Manipulación correcta del ACS (Cortesía: Nexans)

Para el primer caso, los ensayos involucrados se agrupan en la tabla 1, y representan en esencia los ensayos relativos al aluminio suave, el núcleo de acero y el conductor completo. Para los herrajes, se siguen los ensayos habituales: espesor de galvanizado, ensayo de tracción, ensayo de deslizamiento con el conductor ACS, etc. El caso especial refiere entonces al caso (iii).

Tanto para los ensayos (ii) como para el (iii) es preciso que tramos del conductor sean enviados al fabricante de herrajes, de modo que es necesario que ambas empresas se certifiquen mutuamente y trabajen en conjunto antes de proceder a adquirir sus materiales. Toda esta tarea y previsión asociada es fundamental para ahorrar tiempos y asegurarse el correcto desempeño posterior de la instalación y la línea.

Para el conjunto (iii), el ensayo fundamental es el ensayo de calentamiento. Este se realiza para validar el uso del conductor ACS con los accesorios del fabricante. El objetivo es verificar que el herraje no implique puntos calientes (superiores a noventa grados  $\rightarrow 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) cuando el conductor trabaje por encima de 150 grados. Se aprecia en detalle en la figura 7.

Para ello, se arma un circuito donde se instalan cada uno de los accesorios que forman parte del camino conductivo: las morsas de suspensión, las grapas y los empalmes de compresión. Se inyecta la corriente tal que el ACS trabaje a doscientos grados ( $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), se lo sostiene una hora, y luego se reduce a 150 grados y se lo mantiene otra hora. Durante todo el proceso, ningún herraje debe superar los noventa grados ( $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) con el conductor operando a 150 grados.

### Acerca de la instalación del ACS

Las cuestiones relativas a la instalación vienen dictadas particularmente por las limitaciones que impone el aluminio suave y los efectos que este puede sufrir bajo acciones inadecuadas. Generalmente, estos problemas se manifiestan en encebollamiento, marcas y desplazamientos.

### Precauciones de manipulación y logística

Al manipular el ACS, debe mantenerse siempre en mente la naturaleza "suave" del aluminio, lo que implica evitar que durante las operaciones de manipulación, almacenamiento y tendido, este roce contra superficies que puedan dañarlo, como ser piedras o superficies con rebabas o puntas (metálicas, madera, obstáculos varios, etc.). Cualquiera de estos eventos producirá marcas o hendiduras que son perjudiciales si se desarrollan de forma continua. Como medida preventiva, es factible emplear las duelas de protección de las bobinas o mantas plásticas durante operaciones de cambio de bobina y empalme.

Respecto al transporte de los carretes, es conveniente emplear una eslinga con barra espaciadora unos veinte centímetros (20 cm) mayor que la bobina, para evitar deformaciones de las alas y aplastamiento del conductor. De particular relevancia es la manera en la que se almacenan y transportan los carretes, tal como indica la figura 8.

Se destaca que, en zonas donde los carretes permanezcan a la intemperie con radiación solar y amplitudes térmicas importantes, se debe prestar par-

ticular atención en evitar el roce de los laterales del carrete con el conductor. Ello se resuelve centrando la bobina con la entrada de la frenadora.

También, si el terreno es excesivamente complicado o rocoso, durante el transporte, la vibración y el movimiento oscilatorio pueden aflojar un poco las tuercas de los espárragos del tambor, y ello exige revisar su apriete antes de instalar. De lo contrario, el aluminio suave tenderá a generar una cierta "flojera", y las hebras comenzarán a abrirse entre capas.

### Método de tendido y equipamiento

La instalación de un ACSS solo se puede realizar bajo el método de tendido conocido como "método de tensión" (figura 9). Este es, en verdad, el más recomendable también para un conductor ACSR. No obstante, en este caso, su uso es taxativo. Consiste en un "puller"/árgano que tira de una cordina de acero unida al conductor a través de un conjunto media-destorcedor, pasando por las estructuras a través de roldanas/poleas y con una frenadora en el otro extremo, que va sosteniendo la tensión de tiro del conductor para que este se vaya desenrollando y tendiendo en forma controlada desde el devanador/portabobinas. Al final del día, el éxito de la instalación depende también de la idoneidad y calidad de los equipos que se dispongan.

Los principales componentes y sus características se describen a continuación.

» **Frenadora (bullwheel).** Es el equipo que interactúa con el ACSS en forma directa. Debe presentar diámetros de tambor superiores a cuarenta veces el diámetro del conductor ACSS, y debe presentar cinco canales para cualquier tensión de tendido. La fuerza máxima de frenado no debe superar los 10% RBS del conductor, y la velocidad durante el tendido no debe ser mayor a sesenta metros por minuto (60 m/min). De lo contrario, se puede producir encebollado. Respecto a su localización, debe mantenerse a una distancia al menos tres veces superior a la altura libre de la estructura. Es conveniente que

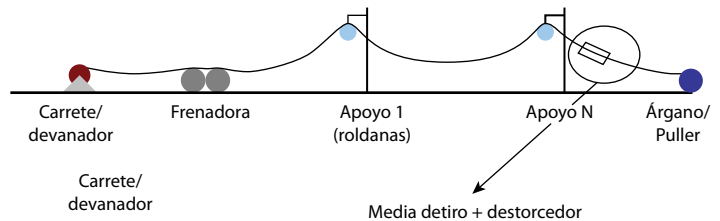


Fig. 9- Método de tensión y sus componentes



Figura 10. Frenadora apta para conductores ACSR y ACSS (izquierda) y medida a considerar en el diámetro de la roldana (derecha)

los canales se encuentren recubiertos por sectores moldeados de nylon o uretano. Con los recubrimientos suaves como el neopreno se pueden incrustar objetos y dañar la uniformidad de la superficie; además, no permite la rotación axial libre del conductor a medida que pasa por la frenadora.

» **Roldanas.** Estas deben ser, para estructuras de retención, angulares y terminales de un diámetro mayor a treinta veces el del conductor. Para estructuras de suspensión, basta que sean de diámetro mayor a veinte veces el del conductor. Ello colabora, entre otras cosas, con evitar demasiada presión sobre las paredes de la roldana, situación que puede, si no, dañar al conductor y aflojar las cuerdas. Dicha presión depende del

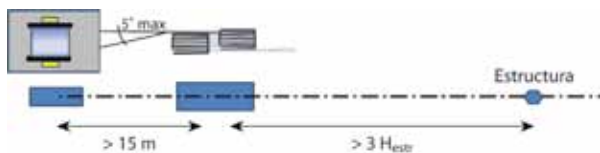


Figura 11. Disposición y alineación de frenadora y carretes

tiro y del diámetro del conductor (DC) y el diámetro de la roldana (DS) (figura 10) tal que:

$$P = (3T/D_s D_c) \leq 2,4 \text{ MPa}$$

Se reseña que, para cruces de río o estructuras muy elevadas, es importante emplear roldanas en tándem. El recubrimiento debe ser también un material sintético de bajo coeficiente de fricción.

- » **Portabobina/devanador.** El punto más importante aquí es que sea controlable de algún modo, idealmente, que se encuentre motorizado y sincronizado con la máquina de freno para poder proporcionar una tensión moderada y constante, y mantener el conductor elevado sobre el terreno. Es de interés que se encuentre centrado, tal que presente un ángulo de acometida pequeño. En verdad, la situación óptima sería alinear la dirección de salida del vano de la primera estructura con la posición del carrete y la frenadora. Por su parte, los carretes deben devanarse estando al menos a quince metros (15 m) de la frenadora.
- » **Puller o árgano.** Este es el equipo responsable del tiro, y no presenta diferencias respecto a una instalación convencional por cuanto trabaja con la cordina de acero.
- » **Conjunto media-destorcedor.** Es sumamente importante el armado de la media. Como primera cuestión, la media de tiro debe tener un sector mallado más largo que lo habitual. Luego, es



Figura 12. Armado del conjunto especial para la media de tiro y esquema asociado



Figura 13. Herramienta correcta para remover las capas del aluminio

preciso seguir una secuencia de armado específica cuyo objetivo es lograr que ambos metales trabajen solidariamente, y que toda la fuerza se aplique, en realidad, sobre el acero, de modo que el aluminio suave no deslice ni se elongue, y en particular, que no se produzca una caída del conductor durante el tendido. La operación es muy sencilla y consiste en “trabar” el núcleo con

una arandela y un manguito de acero comprimido al alma del conductor. En la figura 12 se aprecia dicho armado.

Durante el engrapado, es importante que al menos uno de los extremos se haga bajo tensión y “en altura”, de lo contrario, se corre el riesgo de no corregir encebollamientos potenciales o flojeras que se hayan desarrollado previamente.

- » **Herramental adicional.** Es de interés emplear herramientas adecuadas para remover aluminio sin dañar la capa pasiva del núcleo de acero, y evitar problemas futuros de corrosión. Particularmente útil y práctico es reemplazar el serrucho habitual por un “cortatubo radial” (figura 13).

También es importante disponer de buenas prensas hidráulicas y matrices de compresión correctas; en lo posible, en perfecto estado.

### Acerca de las ranas y la operación de flechado/ regulado

La operación de regulado/flechado es la operación más crítica. La mayor parte de los problemas reportados por los instaladores han sido problemas de deslizamiento del conductor con las ranas.

Tanto para operaciones de flechado/regulación y sujeción de conductores ACSS y ACSS/TW, se emplean morsas autoajustables o “ranas” que permitan transferir en forma distribuida y radial el esfuerzo al alma de acero, y así prevenir estiramiento y rotura de las hebras de aluminio. Es fundamental transferir todo el esfuerzo a las ranas de trabajo de manera suave y progresiva, sin tirones. La dificultad radica en la naturaleza suave del aluminio, que es más susceptible de ser marcado y, potencialmente, sufrir dislocaciones en las cuerdas que se detectan visualmente. Algunos sistemas incluso pueden generar encebollado.

El empleo de ranas tradicionales no está permitido porque causa efectos no deseables como los ilustrados en la figura 14.



Figura 14. Daños por emplear ranas no aptas para ACSS



Figura 15. Las ranas recomendadas para conductores ACSS (Izq: tipo chicago; der: tipo cuña)

Existen tres grandes sistemas tecnológicos aptos para ACSS:

- » Ranas tipo chicago (muy empleadas en Estados Unidos)
- » Ranas tipo cuña (muy empleadas en Europa)
- » Sistemas abulonados, factibles, pero menos recomendables

El alma de acero tiende a ser succionada por la capa de aluminio si el sistema no se encuentra bien sujeto. Por ello, es importante ensayar la capacidad de sujeción de las ranas antes de comenzar la instalación (figura 16). El ensayo dura 24 horas, es muy sencillo y permite despejar dudas. También es prác-



Figura 16. Ensayo in-situ de ranas para verificar capacidad de amarre al tensado especificado



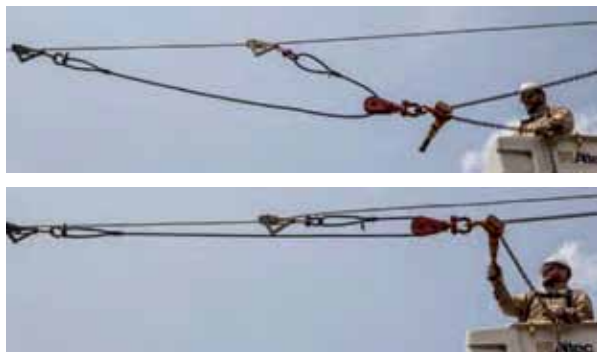


Figura 17. Operación en tándem de ranas tipo chicago

tico para verificar que las ranas puedan trabajar correctamente con el conductor con tensiones más altas que las anticipadas durante el flechado.

Resulta casi indispensable, excepto para circuitos con más de dos conductores por fase, realizar las operaciones de regulado/flechado con ranas en tándem separadas aproximadamente 1,5 metros entre sí (figura 17). Ello permite distribuir mejor los esfuerzos aplicados sobre el ACSS y disminuir fuertemente el riesgo de la operación y los daños potenciales sobre el conductor, tal como se aprecia en la figura 18. Se reseña que la fuerza de dos grips en tándem distinto a  $2 \times F$  individual. Para el caso de las ranas tipo cuña, es preciso emplear varillas largas (más de dos metros de longitud) durante esta operación, de modo que las ranas se deben seleccionar teniendo en cuenta el diámetro resultante.



Figura 18. Daños por no emplear ranas en tándem

### Recomendaciones finales para un proyecto exitoso

Los conductores ACSS constituyen un sistema de conducción, y ello implica que no solo los materiales, sino todo el proceso involucrado se debe concebir en forma integral para evitar inconvenientes o sorpresas. Ello implica que los planificadores comprendan los beneficios de la tecnología; los proyectistas evalúen la alternativa más conveniente y conozcan las características del conductor; que el equipo de compras comprenda la importancia de adquirir materiales compatibles y garantizados entre sí, pensando incluso en lo que deba adquirirse para la obra. El contratista/instalador debe conocer los detalles de la instalación y no ser reacio a tener que implementar ciertas buenas prácticas adicionales a las habituales, así como asegurarse de que sus equipos y herramientas resulten aptos, y el personal de operación y mantenimiento de la línea debe formarse en los cuidados de esta tecnología. Todo esto se logra acompañando el proceso con un servicio adecuado por parte de quien provee los materiales en cuanto a gestión técnica, logística y, en particular, con la capacitación a todos los agentes interesados y asistencia en la supervisión de los primeros tramos de la obra.

El éxito de la instalación, la seguridad de los trabajadores y la integridad del conductor, dependerán de respetar estas cuestiones. ■

*\*Parte 1: Aspectos tecnológicos de los conductores ACSS, en Ingeniería Eléctrica 346, de Septiembre de 2019, disponible en [https://editores.com.ar/revistas/ie/346/coidea\\_maximizando\\_la\\_capacidad\\_de\\_transmision\\_de\\_las\\_lineas\\_aereas](https://editores.com.ar/revistas/ie/346/coidea_maximizando_la_capacidad_de_transmision_de_las_lineas_aereas)*