

## La gestión de la interfaz de contacto, esencial para una carga rápida y segura de los VE

La carga rápida es crucial para el éxito de los vehículos eléctricos (VE). Los consumidores esperan cargar sus vehículos tan rápido como rellenan sus depósitos de gasolina, y sus decisiones de compra pueden verse influidas por lo cerca que esté un determinado modelo de VE de alcanzar ese ideal.

Los fabricantes de equipos originales y los proveedores de infraestructuras están respondiendo a esta demanda con corrientes más altas -de 500 A a 800 A y más- y tensiones de funcionamiento de 800 V y superiores.

Pero a mayor corriente, mayor generación de calor en todo el arnés de carga, lo que puede reducir el rendimiento eléctrico y la fiabilidad. Si las temperaturas de funcionamiento son demasiado altas, el sistema tendrá que reducir la corriente, lo que a la larga ralentizará la carga y anulará el objetivo de aumentar la potencia.

Para ayudar a mantener bajas las temperaturas, es fundamental que cada interfaz de contacto eléctrico a lo largo del recorrido de la red de distribución de energía -desde la entrada hasta la batería y más allá- se diseñe y fabrique meticulosamente para garantizar que introduce una resistencia mínima. Sólo mediante una gestión eficaz de estas interfaces, tanto en términos de diseño del producto como de control del proceso, pueden los fabricantes de equipos originales ofrecer una carga más rápida de forma fiable.

## ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA GESTIÓN DE INTERFACES?

Para llegar de una estación de carga a la batería de un vehículo, la corriente tiene que fluir a través de varios sistemas de conexión e interfaces eléctricas. Cada interfaz presenta un riesgo de aumento de la resistencia y generación de calor, lo que se traduce en velocidades de carga más lentas y menor fiabilidad.

Hay varios tipos de interfaces que requieren un examen minucioso.

Durante la carga rápida de CC, la primera interfaz se encuentra en el punto en el que el cable de carga de la estación se acopla con la entrada de carga. Se trata de un contacto de fuerza normal entre la clavija de carga y el acoplador, que suele tener una resistencia media de unos 0,06 miliohmios (mΩ). A medida que la corriente sale de la entrada, podría encontrarse con una conexión atornillada entre el terminal de la clavija de entrada y las barras colectoras de alto voltaje, con un promedio de aproximadamente 0,01 mΩ a 0,03 mΩ. A medida que la corriente se desplaza más a lo largo del arnés, también es probable que pase a través de interfaces soldadas entre las barras colectoras y los cables de alta tensión -cada una de las cuales representa de 0,003 mΩ a 0,005 mΩ de resistencia, de media- antes de atravesar otro contacto de fuerza normal en la conexión de la batería, con una media de unos 0,04 mΩ. En resumen, cada interfaz a lo largo del arnés añade algún nivel de resistencia, aumentando la resistencia aparente del arnés, generando calor e incluso afectando a interfaces cercanas.

En la carga de CA, la gestión de la interfaz es igualmente importante. Es probable que la interfaz entre el cargador y la entrada tenga interfaces de contacto de fuerza normal similares, aunque puede tener diferentes valores de resistencia con el tamaño de terminal más pequeño. Además, es probable que el arnés de CA incluya interfaces engarzadas, que también podrían ver alguna variación en la resistencia,

## Retos de la carga de vehículos eléctricos

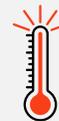
La gestión de la interfaz es especialmente importante a medida que aumenta la necesidad de mayores velocidades de carga.



**LOS CONSUMIDORES EXIGEN DURACIONES DE CARGA MÁS CORTAS**



**LAS DURACIONES DE CARGA MÁS CORTAS IMPLICAN MAYORES CORRIENTES DE CARGA**



**CORRIENTES MÁS ALTAS SIGNIFICAN MAYOR GENERACIÓN DE CALOR**

- Corrientes de 500 A a 800 A+.
- Tensiones de 800V+.



**UNA MAYOR GENERACIÓN DE CALOR SIGNIFICA:**

- Mayores temperaturas de funcionamiento.
- Disminución del rendimiento eléctrico.
- Disminución de la fiabilidad.

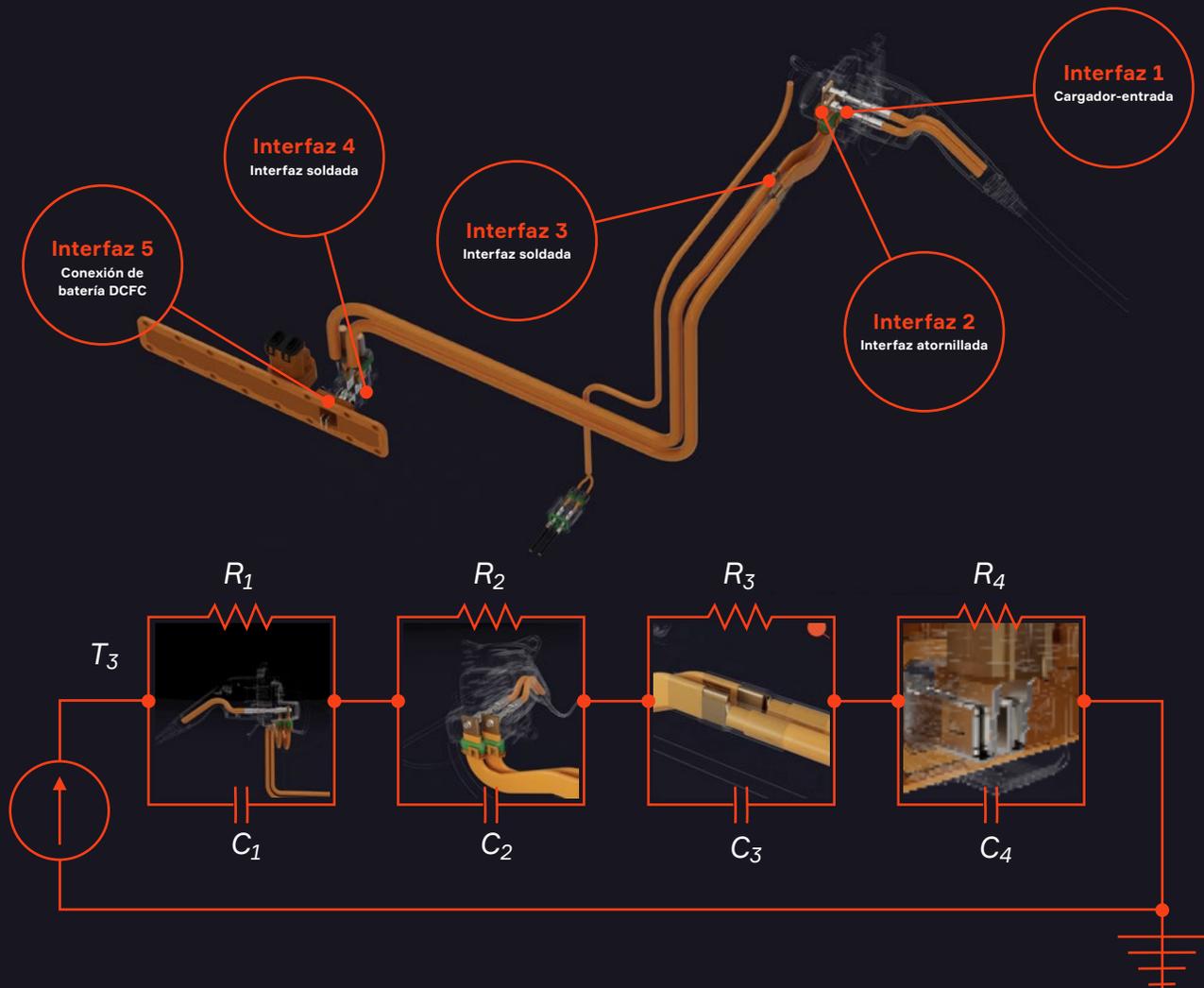
dependiendo del tamaño y el diseño del cable. A modo de contexto, un aumento de la resistencia de engarce de tan solo 0,01 mΩ podría dar lugar a un aumento cercano al 40 por ciento de la temperatura en la interfaz de contacto. Es importante tener en cuenta que los valores de resistencia de contacto mencionados anteriormente y el consiguiente aumento de las temperaturas pueden variar significativamente en función del diseño, las variaciones de fabricación, el abuso por parte del usuario y la exposición

a condiciones adversas. Las vibraciones, la dilatación térmica, la humedad e incluso la suciedad son sólo algunas de las condiciones negativas que pueden afectar significativamente a las interfaces entre conductores y provocar su deterioro con el paso del tiempo.

Cada interfaz añade resistencia a lo largo de la red de distribución de energía y genera calor en diferentes magnitudes que también podrían influir en las interfaces vecinas. Es fundamental

## Todo suma

Cada interfaz de contacto a lo largo del arnés de carga introduce cierto nivel de resistencia. Por eso es importante minimizar la resistencia en cada punto, en la medida de lo posible.



que los diseñadores de sistemas de conexión y los fabricantes de arneses colaboren tanto en el diseño como en el control del proceso para mantener las resistencias lo más bajas posible. Afortunadamente, hay medidas que pueden tomar para garantizar que estas interfaces estén optimizadas para soportar condiciones duras a largo plazo. Analizaremos más detenidamente algunas de estas interfaces, junto con soluciones para gestionar eficazmente la alta resistencia y el exceso de generación de calor.

### INTERFAZ DE CONTACTO ENTRE EL CARGADOR Y LA ENTRADA

Una de las interfaces más vulnerables es la que existe entre el cargador y la entrada, que es un contacto de fuerza normal y especialmente difícil de controlar.

En un escenario de carga rápida de 500 A CC,

diferentes cargadores pueden provocar aumentos de temperatura significativamente diferentes en la interfaz de contacto, incluso cuando están acoplados a la misma entrada. Hay dos factores clave que influyen en esta diferencia:

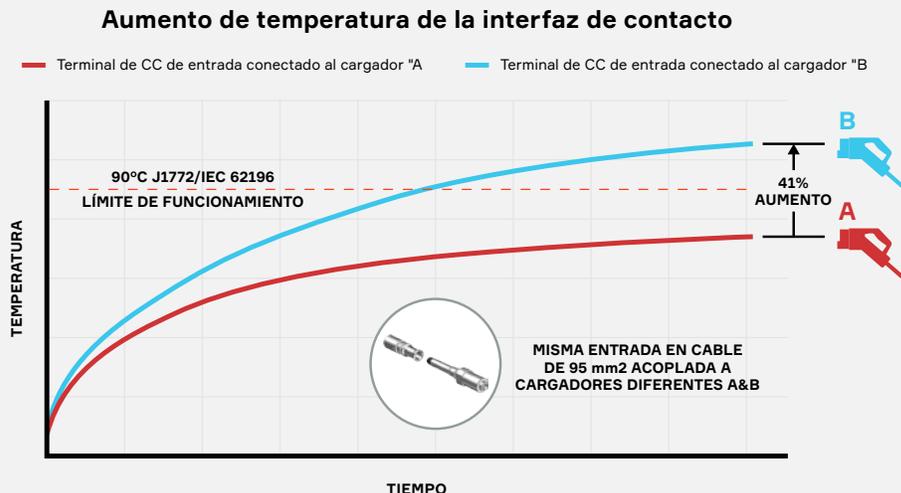
#### 1. La resistencia de la interfaz de contacto.

Controlar la resistencia en la interfaz entre el cargador y el puerto de carga es especialmente difícil por varias razones:

- Las normas pertinentes, como J1772 e IEC 62196, no dictan el diseño de la geometría de contacto, lo que significa que diferentes ingenieros pueden elegir diferentes diseños de muelles de contacto, desde puntas partidas hasta láminas. El resultado es una variedad de fuerzas normales en la clavija, algunas de las cuales pueden producir una conexión eléctrica débil si no se diseñan adecuadamente. Incluso a medida que la adopción de la interfaz

## Historia de dos cargadores

Las pruebas de Aptiv descubrieron que dos cargadores diferentes con la misma potencia en kilovatios pueden generar niveles muy diferentes de calor, incluso cuando están conectados a la misma entrada de carga.



*Altas temperaturas observadas como resultado de las diferencias en la resistencia de la interfaz de contacto y los sistemas de gestión térmica  
Garantizar una conexión segura y fiable en cada interfaz eléctrica es fundamental para un rendimiento óptimo de la carga*

NACS (North American Charging Standard) cobra impulso en el sector de los vehículos eléctricos, es probable que esta variación continúe.

- Los muelles de contacto se relajan con el tiempo y con períodos frecuentes y prolongados de exposición a altas temperaturas.
- La interfaz se utiliza mucho (se acopla varios miles de veces a lo largo de la vida útil de un vehículo normal), lo que suele provocar desgaste y oxidación en los puntos en los que el cobre desnudo queda expuesto, lo que aumenta la resistencia.
- El abuso por parte de los usuarios puede dañar los contactos, lo que se traduce en una fuerza normal baja.
- Las variaciones de fabricación pueden

afectar a las transiciones cable-terminal, como engarces, soldaduras y uniones atornilladas.s.

**2. Sistemas de gestión térmica.** La mayoría de los cargadores de 500 A actuales se refrigeran activamente para disipar el calor generado durante la carga rápida de CC. Sin embargo, cabe esperar lo siguiente:

- **Diferencias de rendimiento.** Algunos fabricantes de cables de carga pueden incorporar un enfoque directo para refrigerar sus contactos, mientras que otros pueden adoptar un enfoque más indirecto o pasivo. Es probable que un enfoque directo produzca un mayor rendimiento.
- **Cargadores “empapados de calor”.** Cuando varios vehículos utilizan el mismo cargador en rápida sucesión, es posible que

## El chapado no es una panacea

El material utilizado para el chapado de la clavija de carga debe ser duradero en el tiempo. Pero incluso con el mejor material de chapado, algunos cargadores pueden someter a las clavijas de carga a daños por arco eléctrico que pueden aumentar la resistencia.

RECUBRIMIENTO DE PLATA ESTÁNDAR TRAS 10.000 CICLOS DE ACOPLAMIENTO



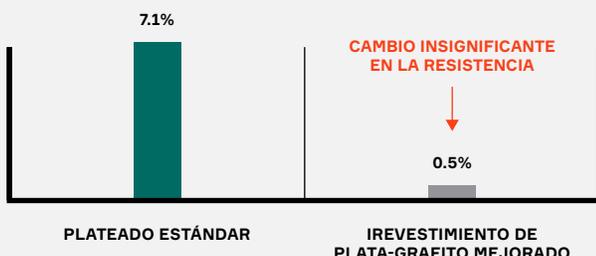
COBRE DESNUDO EXPUESTO SIGNIFICATIVO

REVESTIMIENTO DE GRAFITO PLATEADO MEJORADO TRAS 10.000 CICLOS DE ACOPLAMIENTO

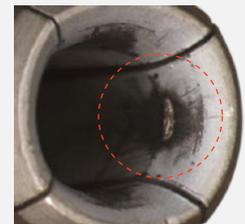
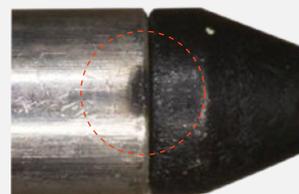


SIN COBRE DESNUDO EXPUESTO

AUMENTO MEDIO DE LA RESISTENCIA DE CONTACTO TRAS 10.000 CICLOS DE ACOPLAMIENTO



EVIDENCIA DE DAÑOS POR ARCO ELÉCTRICO INCLUSO CON UN REVESTIMIENTO DE PLATA-GRAFITO MEJORADO



ES POSIBLE QUE EL CHAPADO NO SOLUCIONE EL PROBLEMA DE LA ALTA RESISTENCIA CAUSADA POR LA FORMACIÓN DE ARCOS O LOS CONTACTOS DAÑADOS CON BAJA FUERZA NORMAL

el cargador no tenga tiempo suficiente para enfriarse entre ciclos de carga.

### Tecnología de recubrimiento

Dado que las numerosas variables que pueden provocar una alta resistencia en la infraestructura de carga están a veces fuera del control de los fabricantes de equipos originales, éstos deben tomar precauciones adicionales en el vehículo.

Pueden empezar por los terminales de carga del vehículo. El uso de una tecnología superior de recubrimiento de plata y grafito en esos terminales puede reducir significativamente el desgaste y aumentar la durabilidad. Esto reduce el riesgo de exposición al cobre desnudo, que puede provocar la formación de óxido de cobre en la interfaz y aumentar la resistencia.

Las pruebas de Aptiv han demostrado que con el recubrimiento de plata estándar, tras 10.000 ciclos de acoplamiento, el desgaste y la

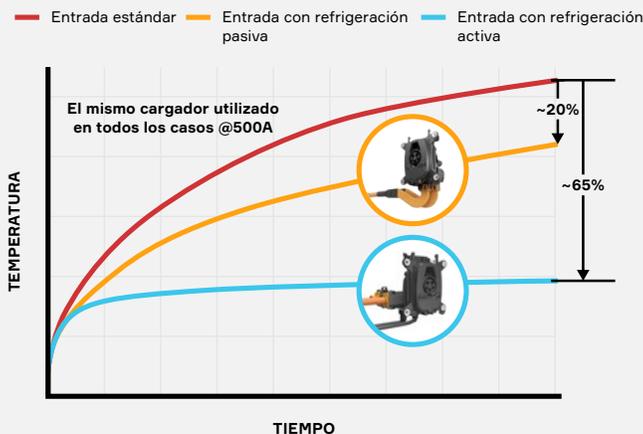
exposición al cobre desnudo son significativos, lo que se traduce en un aumento del 7 por ciento en la resistencia de los contactos. Esta cifra podría ser mucho mayor o menor, dependiendo de la velocidad de oxidación, el tiempo de exposición y las condiciones ambientales. En comparación, con tecnología de revestimiento de plata-grafito, tras los mismos 10.000 ciclos, no hay cobre desnudo expuesto y se produce un cambio insignificante en la resistencia.

Hay que tener en cuenta que, aunque la tecnología de revestimiento de plata-grafito es una solución excelente para mitigar las preocupaciones sobre la exposición del cobre desnudo, sólo llega hasta cierto punto. No puede solucionar el problema de que los contactos dañados o desgastados de un cable de carga ejerzan una fuerza normal baja sobre el terminal, lo que podría provocar la formación de arcos, dañar el revestimiento y, en última instancia, crear puntos de alta resistencia.

## Mantenerse frío

Para mantener la clavija de carga dentro de las temperaturas permitidas, es importante poder obtener lecturas de temperatura precisas y en tiempo real, así como aplicar técnicas de refrigeración activa o pasiva..

### Ventajas de la refrigeración activa/pasiva



### Gestión térmica avanzada

Dado que es inevitable encontrarse con cargadores desgastados sobre el terreno, es esencial desarrollar sistemas de control de la temperatura que puedan detectar de forma precisa e instantánea altas temperaturas en el puerto de carga del vehículo y tecnologías de gestión térmica que puedan mitigar eficazmente el exceso de generación de calor.

#### Existen dos enfoques principales para la gestión térmica en el lado de entrada:

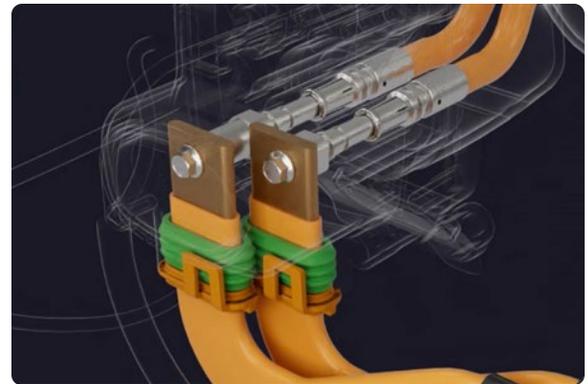
- **La refrigeración pasiva** es una estrategia sencilla para alejar el calor de los terminales de entrada. Un enfoque emergente consiste en utilizar barras colectoras de gran sección transversal en lugar de cables redondos de alta tensión. El aumento de la masa térmica y de la superficie permite una mejor disipación del calor, lo que se traduce en una reducción del 20% de las temperaturas de funcionamiento en comparación con un cable redondo de 95 mm<sup>2</sup> cuando se carga a 500 A. La solución es muy eficaz, menos costosa y más fácil de mantener que otras opciones.
- **La refrigeración activa** es una estrategia en la que se coloca una placa fría de líquido muy cerca de los terminales de entrada, lo que permite un rendimiento superior y una transferencia de calor maximizada. Este enfoque reduce las temperaturas de funcionamiento en un 65% en comparación con el enfoque estándar. Aunque la refrigeración activa ofrece un rendimiento superior, aumenta el coste y la complejidad.

Los sistemas de control de la temperatura deben ser capaces de seguir con precisión la temperatura real de los terminales en tiempo real, con un retraso mínimo. Esta característica es fundamental, ya que permite al sistema reaccionar con la suficiente rapidez a los rápidos aumentos de temperatura y detener o reducir adecuadamente la carga.

En resumen, se necesita una combinación de

chapado superior, gestión térmica y sistemas precisos de detección de temperatura para gestionar eficazmente la difícil interfaz cargador-entrada.

### INTERFAZ ATORNILLADA



Dada la prominencia de la interfaz cargador-entrada, puede resultar fácil minimizar la importancia de gestionar todas las demás interfaces a lo largo del arnés de carga, pero hay que tener cuidado con cada una de ellas para mitigar la generación de calor en todo el sistema.

A medida que la corriente se aleja de la entrada, es probable que se encuentre con una interfaz atornillada donde el terminal de clavija de entrada se encuentra con las barras colectoras y el cableado de alta tensión, otra interfaz muy importante que hay que gestionar.

Con el tiempo, las interfaces atornilladas pueden aflojarse o sufrir fatiga por dilatación térmica, lo que reduce la conductividad eléctrica y aumenta la resistencia. Entre las posibles causas se encuentran la falta de un control adecuado del par de apriete o del ángulo, o incluso el roscado cruzado durante el proceso de montaje.

La superficie también puede oxidarse por falta de control de la limpieza o por una selección inadecuada del material.

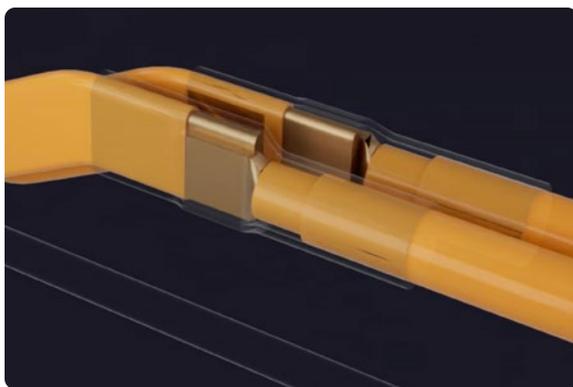
Para resolver estos problemas hay que empezar por el diseño. Mediante la experimentación,

los diseñadores deben encontrar el valor de par óptimo que consiga una baja resistencia de contacto y evite al mismo tiempo la deformación de la rosca de cobre. La optimización del par de apriete es especialmente crítica para una unión de cobre con cobre, dado que el cobre es blando y tiende a relajarse con facilidad.

Los diseñadores también deben elegir materiales que minimicen los efectos de la expansión térmica y la relajación inducida por la tensión. Por ejemplo, el cobre de mayor conductividad puede ayudar a maximizar la transferencia de calor, mientras que el recubrimiento de plata puede evitar la oxidación. Además, el uso de arandelas Belleville también puede ayudar a mitigar los efectos de la expansión térmica, especialmente cuando se utilizan dos materiales distintos, como el cobre y el aluminio.

La otra mitad de la solución son unos controles de proceso robustos. Mediante el control del par de apriete y la supervisión del ángulo, los fabricantes pueden evitar el roscado cruzado o el desgarro de las roscas de cobre. Además, deben establecerse protocolos de trazabilidad para registrar los datos del proceso de cada unión producida.

### INTERFAZ SOLDADA



Las interfaces soldadas también pueden presentar problemas, como una unión inadecuada entre el cable y el terminal. Esto puede deberse a una mala configuración de las herramientas y los parámetros de soldadura, al estado de

mantenimiento del equipo de soldadura o a la falta de control de la limpieza. Una unión inadecuada puede dar lugar a una baja resistencia a la tracción y al pelado, lo que significa que la soldadura podría debilitarse más fácilmente cuando se tira del cable en línea recta o perpendicular, respectivamente. Además, los hilos cortados o sueltos podrían plantear problemas de falta de aislamiento, especialmente con terminales de alta tensión muy próximos entre sí.

Desde el punto de vista del diseño, los fabricantes pueden garantizar una soldadura robusta seleccionando los materiales y el chapado adecuados, utilizando un diseño sencillo y robusto para evitar daños debidos a vibraciones y resonancias, y evitando las láminas y otros elementos intrincados. Pasar de una interfaz mecánica, como un engarce en F, a una interfaz metalúrgica, como una soldadura sónica, puede reducir seis veces la resistencia de contacto y la generación de calor y duplicar la resistencia a la tracción.

Desde el punto de vista del control del proceso, los fabricantes deben asegurarse de optimizar los parámetros de tiempo, amplitud y frecuencia de la soldadura. Las pruebas de resistencia a la tracción pueden ayudar a garantizar que la soldadura resista la tensión a lo largo del tiempo. Además, los tubos termorretráctiles pueden proteger contra los problemas de aislamiento cuando los contactos de alta tensión están muy próximos, y también pueden ayudar a aliviar la tensión. Garantizar la trazabilidad durante todo el proceso de soldadura es primordial.

### CONEXIONES DE LA BATERÍA DE CARGA RÁPIDA DE C.C.

Donde el arnés de carga de CC se encuentra con la batería hay otro contacto de fuerza normal, que suele ser un diseño de caja y cuchilla. Al igual que ocurre con el contacto entre el cargador y la entrada, los principales problemas de esta interfaz son la baja fuerza normal y la relajación inducida por la tensión con el paso del tiempo, lo que reduce la conductividad eléctrica y la fiabilidad.

La solidez de esta interfaz suele depender del muelle que mantiene los dos terminales en contacto y de si el fabricante ha seleccionado materiales inadecuados o ha dañado el muelle durante el proceso de soldadura. Además, la corrosión por frotamiento causada por el movimiento relativo entre las dos superficies de contacto bajo vibración puede provocar oxidación en la interfaz.

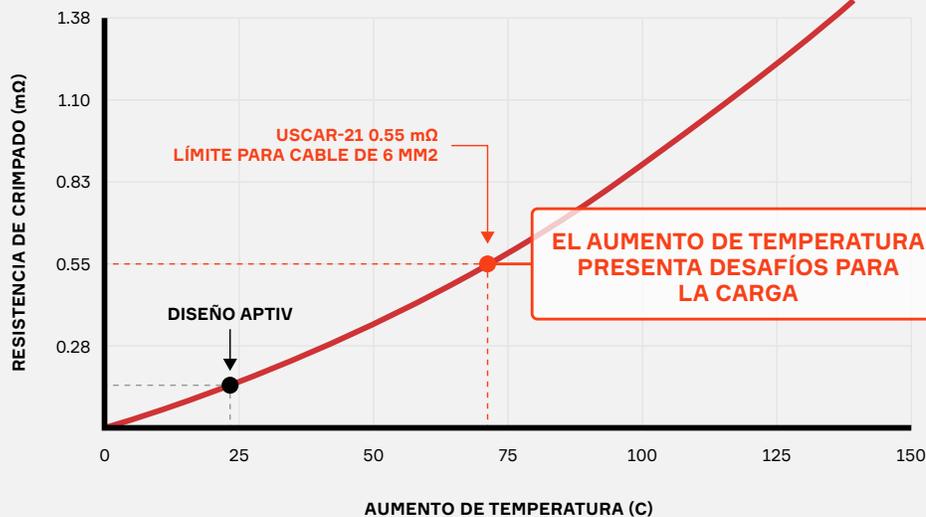
corrosión por rozamiento. También evita el uso de resortes delicados que podrían dañarse por resonancia. Todas estas características podrían suponer un aumento de la longevidad de hasta tres órdenes de magnitud en comparación con los muelles tradicionales de aleación de cobre.

El uso de un muelle de contacto de acero inoxidable -como el utilizado en la tecnología Direct Contact Technology™ de Aptiv- puede ayudar a minimizar los efectos de la relajación inducida por la tensión con el paso del tiempo. Esta tecnología garantiza una fuerza normal alta y estable, incluso con corrientes y temperaturas elevadas, al tiempo que utiliza materiales y chapados para minimizar el impacto de la

## El verdadero límite

La resistencia de los engarces puede tener un impacto sustancial en el aumento de la temperatura, y las normativas no son lo suficientemente estrictas como para mantener las temperaturas bajas durante la carga. Aptiv diseña todos los crimpados para una resistencia mucho menor que la especificada por la norma.

### Resistencia de crimpado frente a aumento de temperatura - 48A



## INTERFAZ DE CRIMPADO



En los circuitos de carga de CA, los engarces mecánicos son más comunes, pero a menudo no se les presta toda la atención que deberían. Los engarces defectuosos son una de las principales causas de resistencia elevada y calor excesivo. Las causas principales son una compactación inadecuada, la relajación del engarce con el tiempo y un control inadecuado del proceso.

### Más allá de las normas

Los criterios para diseños de crimpado aceptables según la especificación USCAR-21, ampliamente utilizada, no son lo suficientemente estrictos para la carga de vehículos eléctricos de alto voltaje, especialmente para tamaños de cable más pequeños, como 6 mm<sup>2</sup>, donde el límite de conformidad se establece actualmente en 0,55 mΩ.

La temperatura aumenta cuadráticamente con el incremento de la resistencia de crimpado. En un escenario de carga de CA de 48 A con un cable de 6 mm<sup>2</sup>, si la resistencia de crimpado es de 0,55 mΩ, el aumento de temperatura respecto a la temperatura ambiente se acercaría a los 75 °C. Esto puede ser problemático, sobre todo si se tiene en cuenta que la resistencia aparente de la interfaz entre el cargador y la entrada podría provocar un aumento de temperatura aún mayor. Comprendiendo estos riesgos, Aptiv diseña todos los crimpados para la próxima generación de

aplicaciones de carga de CA para lograr menos de 0,11 mΩ de resistencia, tanto si están destinados a 32A, 48A u 80A. Aptiv basa este objetivo en las directrices de USCAR-21 para aplicaciones de cables de 8 mm<sup>2</sup> y en nuestras propias pruebas exhaustivas.

Garantizar unos métodos de fabricación de crimpado robustos también es primordial para asegurar la fiabilidad y minimizar la resistencia. Mediante la mejora de los controles de proceso y las comprobaciones de calidad, y a través de la supervisión periódica de la fuerza de crimpado, las pruebas de tracción y las mediciones de la resistencia de crimpado, los fabricantes de arneses pueden garantizar la producción de crimpados de alta calidad.

En caso de que la resistencia de engarce medida no cumpla el objetivo diseñado, puede ser necesario considerar la opción de soldar los engarces, aunque puede ser un proceso que requiera mucha mano de obra. La automatización del proceso de soldadura puede minimizar el coste de este paso adicional.

Dados los problemas que plantean los engarces mecánicos para aplicaciones de alta tensión, sustituirlos por soldaduras sónicas es una opción a considerar siempre que sea posible. Esta tecnología, ampliamente utilizada en los circuitos de carga rápida de CC, podría ayudar a reducir significativamente la resistencia y la generación de calor en los circuitos de carga de CA.

## UNA VISIÓN DEL SISTEMA

El calor excesivo es el enemigo de la carga rápida. La alta resistencia es una de las principales causas del calor excesivo que debe controlarse para maximizar el rendimiento de la carga.

Un arnés de carga típico tiene hasta 20 interfaces

de contacto de alto voltaje que requieren un diseño robusto y un control del proceso. Garantizar la fiabilidad y longevidad de cada interfaz es clave para evitar una disminución del rendimiento eléctrico. A medida que los fabricantes de equipos originales buscan adoptar la interfaz de cargador NACS para su próxima generación de componentes de carga, la gestión de la interfaz no podría ser más importante.

Se necesita una filosofía unificada de diseño de productos y procesos a nivel de sistema. Esto requiere una estrecha colaboración entre los expertos en sistemas de conexión y los expertos en cableado de alta tensión y barras colectoras para garantizar que todas las interfaces eléctricas producidas sean seguras y fiables.

Aptiv está desarrollando u ofreciendo todas las técnicas descritas anteriormente para prevenir,

detectar y mitigar la alta resistencia de contacto y el calor excesivo. Tenemos una perspectiva única de la arquitectura eléctrica/electrónica completa del vehículo, y comprendemos lo importante que es la gestión de interfaces para cada interfaz de contacto eléctrico de un vehículo eléctrico. Gracias a nuestra profunda experiencia en electrificación de alto voltaje, estamos creando soluciones flexibles y duraderas para las necesidades de las arquitecturas eléctricas de próxima generación. Estas innovaciones permiten a los fabricantes de equipos originales construir sistemas de carga seguros y rentables que proporcionarán de forma fiable la carga rápida que esperan los propietarios de vehículos eléctricos, haciendo posible nuestra visión de un futuro de la movilidad más seguro, ecológico y conectado.

## SOBRE LOS AUTORES



**Thomas Mathews**

Supervisor de Ingeniería, VES Charging Inlets

Thomas Mathews lidera el equipo de ingeniería que desarrolla la próxima generación de entradas de carga en Aptiv. Thomas comenzó su carrera en Aptiv en 2016 como ingeniero de desarrollo de productos trabajando en interconexiones de alto voltaje, antes de pasar a centrarse en el desarrollo de la próxima generación de entradas de alto voltaje de Aptiv. La tecnología que su equipo ha desarrollado ha dado lugar a varios premios empresariales y patentes, cosechando el reconocimiento de clientes a nivel mundial.



**Garrett McIntyre**

Director de Soluciones Técnicas, Cableado de Alta Tensión VES

Garrett McIntyre dirige el desarrollo y la implantación de mazos de cables de alta tensión en Aptiv. Garrett comenzó su carrera en Aptiv en 2018 como ingeniero de producto centrado en equipos de suministro de vehículos eléctricos para la carga residencial de VE, llegando a dirigir el mismo equipo en proyectos para clientes a nivel global. Garrett ahora lidera el equipo responsable del desarrollo de los mazos de cables de alto voltaje de Aptiv.

---

**MÁS INFORMACIÓN EN [APTIV.COM/VES](https://www.aptiv.com/ves) →**