

Proceso Cadweld para conexión Exotermica

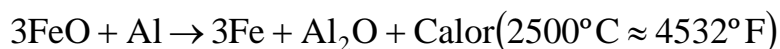
## 1. ¿QUE SIGNIFICA EXOTÉRMICO?

Exotérmico es un término químico que describe una reacción química que desprende calor a medida que se lleva a cabo la reacción. La combustión de la gasolina en el motor de su carro es un ejemplo de una reacción exotérmica.

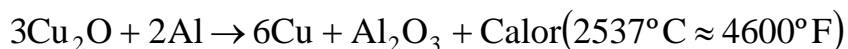
Las reacciones exotérmicas, en relación a los metales, son la reducción de un metal u óxido metálico por otro metal más reactivo, por lo general el aluminio.

## 2. HISTORIA DE LA SOLDADURA EXOTÉRMICA

El primer uso conocido de la exotermia data de finales de 1800 en Alemania, en donde se utilizó una base de óxido de hierro con aluminio como su agente reductor. Se empleó para hacer troqueles y reparar troqueles rotos. Más tarde, también se utilizó en los E.E.U.U. para reparar moldes de forja. Frecuentemente, la cantidad de materiales exotérmicos requeridos para cada uso era muy grande, a veces por el orden de las toneladas. Una fórmula general para la reacción exotérmica basada en el hierro es:



La primera aplicación no ferrosa conocida, fue desarrollada en 1938 por el Dr. Charles Cadwell, del *Case Institute of Technology* (conocido ahora como *Case Western Reserve University*), mientras trabajaba como consultor para *The Electric Railway Improvement Company* (ahora conocida como ERICO<sup>®</sup>, Inc.), y luego patentada por la compañía. A este proceso se le llamó CADWELD<sup>®</sup> en honor al Dr. Cadwell. La fórmula general para la reacción exotérmica cúprica CADWELD, es:



Los valores teóricos para la temperatura son mayores, pero los aditivos para el Proceso CADWELD causan una baja en la temperatura. Este proceso es un material basado en el cobre, reducido por el aluminio. Su aplicación inicial fue la de soldar las uniones de señalización a las vías de ferrocarriles. Las uniones se aplicaban a través de las uniones remachadas de los rieles (cada 39 pies) para conducir una señal que detectara la ubicación de los trenes. El Proceso CADWELD soldaba cada extremo de la unión a los extremos de los rieles, que estaban divididos mecánicamente. Las soldaduras reemplazaban a las uniones

Proceso Cadweld para conexión Exotermica

mecánicas, que eran difíciles de colocar y no eran confiables debido a la corrosión y al movimiento de los rieles al pasar los trenes. El circuito de señales depende de una resistencia baja y constante a todo lo largo de su vida útil, garantizada por el empleo de Uniones CADWELD. Muchos millones de Uniones CADWELD se utilizan hoy en día; y algunas de ellas tienen hasta 40 años.

### **3. ¿DÓNDE SE UTILIZAN LAS SOLDADURAS EXOTERMICAS CADWELD?**

La soldadura exotérmica tiene gran variedad de usos. Tal como se mencionó antes, la misma fue desarrollada en 1938 para soldar uniones señalizadores de aleación de cobre a los rieles. Para mediados de 1940, el proceso se utilizó para soldar alambres protectores catódicos a las tuberías. A medida que la química de producción (plantas químicas), que transportaba sus productos por tuberías mejoraba y aumentaban las tensiones permisibles para tuberías, las compañías de gas y la NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) (Asociación Nacional de Ingenieros de la Corrosión) llevaron a cabo muchas pruebas para determinar si la soldadura podía crear algún defecto perjudicial a la tubería. Al variar los aditivos de la aleación añadidos a la mezcla exotérmica, se desarrolló un material efectivo. Como resultado, el Proceso CADWELD se utiliza en tuberías de transporte de gas y petróleo a alta presión (Ref. ASME B31.4 y B31.8).

Se desarrolló otro uso para la industria ferrocarrilera eléctrica, que fue la soldadura de los conductores del circuito eléctrico de retorno a los rieles. De nuevo, se desarrolló una aleación especial para esta aplicación debido a la distinta química del acero de los rieles. Las conexiones CADWELD también se emplean para empalmar el "tercer riel" en las líneas de tránsito ferrocarrilero pesado, tales como las de la ciudad de Nueva York, Atlanta, etc.

Las conexiones CADWELD también se han usado para conexiones subterráneas aisladas de alto voltaje, con voltajes hasta de 269 KV y conductores tan grandes como para 3000 mils de circular mils (mcm). Para los conductores de aluminio se utiliza una aleación especial para soldadura de aluminio.

Las Conexiones CADWELD también se emplean en aplicaciones industriales para soldar algunas barras de cobre muy grandes en diversas configuraciones. Se ha logrado soldar barras de cobre hasta de 2" x 20". Se ha soldado hasta 12 barras de aluminio de 1" x 14" con abertura de 1" entre cada barra, a una superficie de

Proceso Cadweld para conexión Exotermica  
soporte de aluminio de 22" x 23", utilizando el material de soldadura de Aluminio  
CADWELD.

#### **4. ¿POR QUE SE EMPLEA LA SOLDADURA EXOTÉRMICA CADWELD?**

Las conexiones CADWELD Soldadas Exotérmicamente ofrecen varias ventajas:

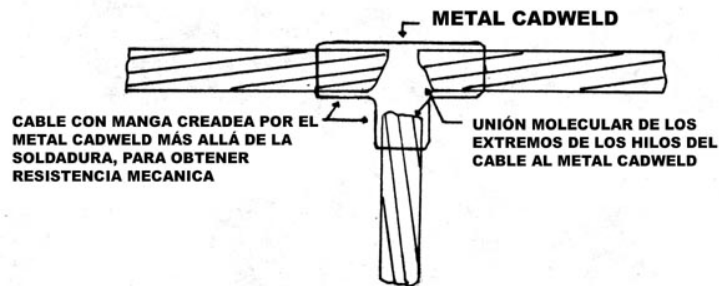
1. La capacidad portadora de corriente de la conexión iguala a la del conductor.
2. Las conexiones no se deterioran con el tiempo puesto que van soldadas y por lo tanto son permanentes.
3. La conexión es una unión molecular permanente que no se puede aflojar.
4. Las conexiones no son afectadas por corrosión al mismo grado que el cobre.
5. Las conexiones pueden aguantar picos repetidos de altas corrientes (fallas), sin deteriorarse.
6. Se requiere un entrenamiento mínimo para hacer una conexión.
7. El material para hacer la conexión es ligero y portátil.
8. No se requiere energía externa o calor para hacer la conexión.
9. La calidad de las conexiones se puede revisar por medio de inspección visual.
10. Las conexiones se pueden utilizar para soldar cobre, aleaciones de cobre, acero revestido en cobre, acero de distintas aleaciones incluyendo el inoxidable, y materiales calefactores de alta resistencia.

#### **5. ¿A QUE SUSTITUYEN LAS CONEXIONES CADWELD?**

La conexión soldada CADWELD produce una unión o conexión, de rendimiento superior al conector mecánico a presión y contacto, de superficie a superficie, o a las conexiones por abrazadera. En virtud de su unión molecular, la conexión soldada CADWELD no se aflojará o corroerá, proporcionando así un aumento en la resistencia, durante toda la vida útil de la conexión, aun bajo las peores condiciones.

## Proceso Cadweld para conexión Exotermica

**Figura 1. Conexión Típica CADWELD®**



Como resultado, las Conexiones CADWELD reemplazan a varios métodos alternativos pero de menor calidad y por lo general mayor precio, para unir conductores para fines eléctricos:

1. Método por abrazaderas
2. Conectores atornillados
3. Conectores sujetos con pernos
4. Conectores sujetos por engarce
5. Conectores de compresión circular.

El tamaño de un conductor para un sistema de toma a tierra se basa en la magnitud y duración máximas de la corriente de falla disponible, y en el tipo de conexión que se utilice en el sistema de toma a tierra. La norma industrial aceptada, IEEE Std 80-1988, Lineamientos para la Seguridad en la Toma a Tierra de Corriente Alterna en Subestaciones, utiliza una fórmula de fusión como base para la selección del tamaño mínimo de conector, para evitar la fusión (derretimiento) en casos de fallas.

La ecuación se puede simplificar hasta expresarla como sigue:

$$A = K \times I\sqrt{S} \quad (1)$$

en donde:

- A: Tamaño del conductor en circular mils,
- K: Constante tomada del siguiente cuadro,
- I : RMS de la corriente de falla en amperios, y
- S : Tiempo de falla en segundos.

## Proceso Cadweld para conexión Exotermica

Tomando como base una temperatura ambiente estándar de 40°C.

**Tabla 1. Constante "k" para la ecuación antes indicada**

Temperatura Máxima	Cobre Estándar	Aleación de Cobre DSA 40%	Aleación de Cobre DSA 30%
1083 <sup>0</sup> C	7,01	10,46	12,04
450 <sup>0</sup> C	9,18	13,74	15,87
350 <sup>0</sup> C	10,10	15,13	17,46
250 <sup>0</sup> C	11,65	17,47	20,17

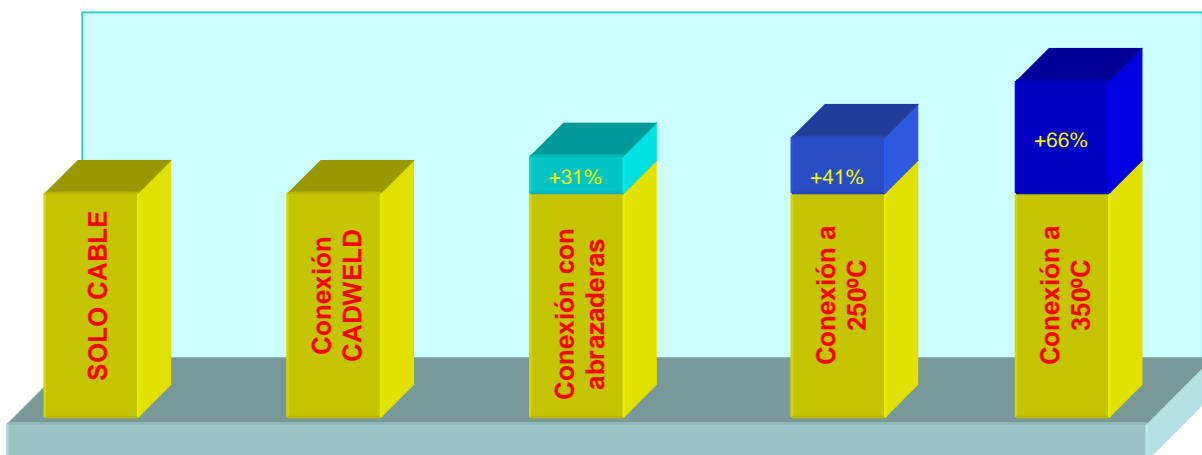
Las temperaturas listadas arriba para cada material se especifican en la norma IEEE Std 80-1986 a emplearse para los distintos tipos de conexiones:

**Tabla 2**

Tipo de Conexión	Temperaturas
A presión	250 a 350 <sup>0</sup> C*
Por abrazaderas	450 <sup>0</sup> C
Soldadas exotérmicamente.	1083 <sup>0</sup> C

\* Salvo aquellas que han sido probadas y aprobadas según los requisitos de IEEE Std 837-1989.

**Figura 2. Tamaños relativos del conductor**



## Proceso Cadweld para conexión Exotermica

EJEMPLO - 25.000 Amperios, falla de 2 segundos:

TIPO DE CONEXIÓN	TAMAÑO DEL CONDUCTOR	
	Calculado	Recomendado
CADWELD®	246 mcm	250 mcm
Por abrazaderas	322 mcm	350 mcm
A presión (a 250°C)	357 mcm	350 mcm
A presión (a 350°C)	408 mcm	400 mcm

### 6. ¿COMO SUELDAN LAS REACCIONES EXOTERMICAS CADWELD?

1. Se diseña un molde con:

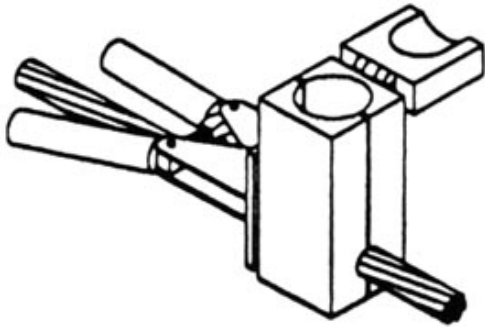
- a) Un crisol o tazón para recoger los materiales que reaccionan,
- b) Una cavidad de soldado para sostener los materiales por soldar,
- c) Una abertura con rosca que conecte a a) con b).

2. La reacción se lleva a cabo en el crisol, separada de la abertura roscada por medio de un disco de metal que se derrite y permite que el metal de soldadura derretido corra hacia abajo, a través de la abertura roscada, hacia la cavidad de soldado.

3. El metal de soldadura derretido derrite los extremos de los objetos por soldar y se solidifica rápidamente, creando la conexión soldada.

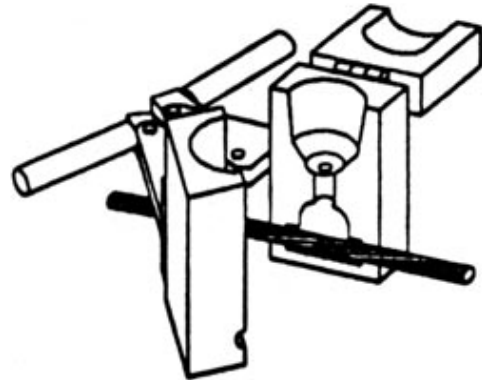
- 1) Limpie el conductor
  - Coloque el molde sobre los extremos del cable
- 2) Cierre las manillas para obturar el molde
  - Coloque el disco de metal dentro del molde
- 3) Vierta el metal de soldado en el molde
  - Espolvoree el material activante sobre el metal de soldado y en el labio del molde.
- 4) Cierre la tapa y caliente
  - Abra el molde después de solidificarse el metal
  - Retire los restos de metal del molde antes de hacer la próxima conexión
- 5) Una Conexión CADWELD® terminada.

## Proceso Cadweld para conexión Exotermica



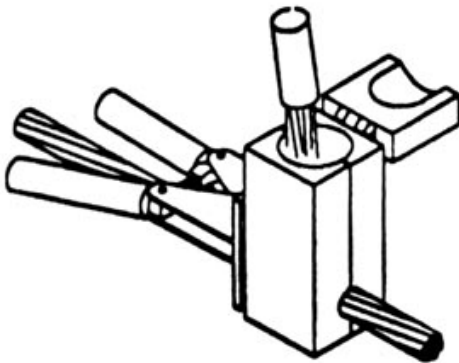
### PASO 1

- Limpie el conductor
- Coloque el molde sobre los extremos del cable



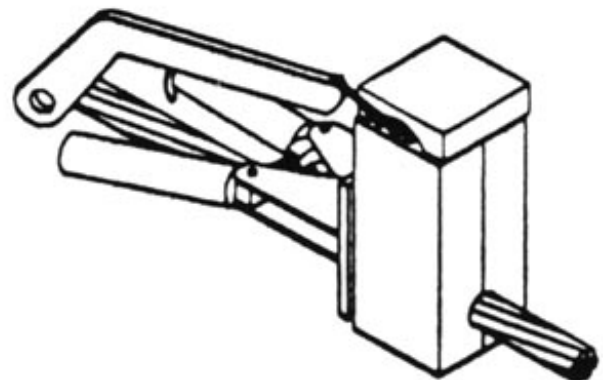
### PASO 2

- Cierre las manillas para obsturar el molde
- Coloque el disco de metal dentro del molde



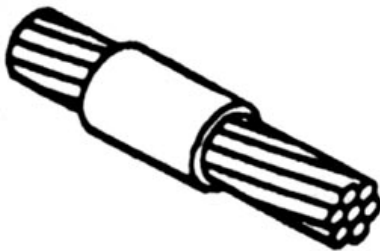
### PASO 3

- Vierta el metal de soldado en el molde
- Espolvoree el material activante sobre el metal de soldado y en el labio del molde



### PASO 4

- Cierre la tapa y caliente
- Abra el molde después de solidificarse el metal
- Retire los restos de metal del molde antes de hacer la próxima conexión



### FINAL

Una conexión CADWELD® Terminada

Proceso Cadweld para conexión Exotermica

## **7. DATOS DE RENDIMIENTO**

Las conexiones CADWELD han pasado por pruebas exhaustivas. Las pruebas continuas que ERICO lleva a cabo han probado que una fórmula de material básica no arrojará los mismos resultados en todas las aplicaciones. A continuación se presentan varios ejemplos:

1) El Metal de soldado CADWELD Estándar (F20) para tomas a tierra, contiene aproximadamente 3% de estaño. Esto crea una soldadura fuerte, en especial cuando se une a una estructura de acero. También evita resquebrajamiento en soldaduras grandes, que tienden a partirse o agrietarse cuando se enfrían.

2) El Metal de Soldado Catódico CADWELD (F33) no contiene estaño pero sí un 1% aproximado de vanadio. Esto minimiza el agrietamiento que se forma bajo la soldadura, lo cual podría debilitar la tubería.

3) El Metal de Soldado por Hierro Forjado CADWELD (XF-19) contiene gran cantidad de estaño, casi un 10%. El molde también tiene un diseño distinto al utilizado para las soldaduras sobre superficies de acero, para proporcionar una mayor soldadura en la superficie del hierro forjado.

4) El Metal de Soldado para Rieles CADWELD (F80) no contiene estaño.

Se le añaden productos químicos especificados para hacer la mejor unión al riel y minimizar el impacto metalúrgico.

### **A. PRUEBAS A ALTAS CORRIENTES**

Las primeras pruebas a altas corrientes se llevaron a cabo a inicios de 1960 en las instalaciones de ERICO, utilizando un soldador de punto como fuente de corriente. La primera prueba, un circuito de 4/0 AWG de cobre limpio, que contenía varias Conexiones CADWELD, fue sometido a casi 35.000 amperios. El ciclo de corriente era de picos de un segundo con intervalos de un segundo entre pico. Después de 15 picos, los conductores se fundieron explosivamente entre dos conexiones CADWELD. Antes de fundirse, se notó que las conexiones CADWELD estaban más frías que el conductor. Se efectuó una segunda prueba

Francisco M. Gonzalez-Longatt, 1 Mayo 2000



Proceso Cadweld para conexión Exotermica

con los mismos resultados. La tercera prueba, empleando 500 mcm de cobre limpio, fue fijada a 35.000 amperios (la salida máxima del soldador), y dio también los mismos resultados.

A comienzos de los años 70, la *Copperweld Company* también llevó a cabo pruebas en una instalación de pruebas externa, con el fin de obtener datos de fusión de su conductor revestido con cobre. La primera serie de pruebas empleaban conectores mecánicos, que arrojaron fallas del conductor adyacente al conector y a valores de fusión más bajos que los pronosticados. La segunda serie de pruebas se efectuó con Conexiones CADWELD. Estas no sólo produjeron los valores de fusión estimados, sino que también mostraron la falla del conductor a una mayor distancia de las Conexiones CADWELD.

En 1979, ERICO efectuó una serie de pruebas a altas corrientes en *The Bussman Company*, con varios tipos de Conexiones CADWELD. Las pruebas se llevaron a cabo hasta la falla de los circuitos de prueba. En todos los casos, la falla se presentaba a corrientes y tiempos consonos con las fórmulas de fusión del cobre, ilustradas en IEEE Std 80-1986.

En 1986 se llevaron a cabo más pruebas en el *The Ontario Hydro Test Lab*, sobre una serie de tamaños de conductores (de 1/0 AWG a 500 mcm) y tipos de conductores (conductores de cobre y Copperweld junto con barras de toma a tierra revestidas con cobre). Todos los resultados de las pruebas estuvieron en consonancia con la fórmula de fusión dada en IEEE Std 80-1986.

## **B. PRUEBAS A ALTOS VOLTAJES**

Las conexiones CADWELD (ambas con base de cobre para conductores de cobre, y con base de aluminio para conductores de aluminio) fueron probadas exhaustivamente en la instalación de pruebas patrocinada por EPRI en *Watts Mill*, PA. Los voltajes fueron de hasta 500 Kv. No se reportó falla alguna en las Conexiones CADWELD.

## **8. NORMAS Y CODIGOS**

Varias normas y códigos tratan sobre la soldadura exotérmica, bien de manera directa o indirecta.

A. IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

Francisco M. Gonzalez-Longatt, 1 Mayo 2000

## Proceso Cadweld para conexión Exotermica

- a. IEEE Std 80-1986, Reafirmada en 1991, Lineamientos para la seguridad en la Toma a Tierra de Corriente Alterna en Subestaciones.

Esta norma establece que las conexiones exotérmicas, instaladas adecuadamente, equivalen al propio conductor. Además explica que otros conductores deben ser prorrateados o calificados según pruebas esbozadas en IEEE Std 837-1989. Otras partes de IEEE Std 80 también hacen referencia a las conexiones exotérmicas para el sistema de toma a tierra.

Muchas otras normas de la IEEE también se refieren a la soldadura exotérmica o a la IEEE Std 80, para las conexiones de toma a tierra.

### B. ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

- a. Las normas ANSI/ASME B31.4, Sistemas de Tuberías para el Transporte de Petróleo Líquido, y B31.8, Sistemas de Tuberías para la Transmisión y Distribución de Gas, permiten ambas el uso de la soldadura exotérmica de guías catódicas a la tubería, con limitantes en cuanto al tamaño del metal soldado.

### C. AAR (*American Association of Railroads*) Asociación Americana de Ferrocarriles

- a. Manual de Señales de AAR, PARTE 8.1.30, que cubre la fabricación, aplicación y prueba de uniones de señalización soldadas exotérmicamente.

En los sistemas electrificados, la unión del circuito de retorno de energía se suelda directamente al riel. ERICO ha optimizado tanto el tamaño del metal soldado empleado, como la ubicación de la unión al riel, tomando en cuenta el fin a que se destine la línea de rieles.

### D. AREA (*American Railway Engineers Association*) Asociación Americana de Ingenieros Ferrocarrileros

- a. La norma AREA Sección 33, Parte 7.1.5 cubre la fabricación, aplicación y prueba de las uniones de energía y señalización soldadas exotérmicamente.
- b. La norma AREA Sección 33, Parte 7.1.6 cubre los demás tipos de conexiones soldadas exotérmicamente, tanto para la toma a tierra de los sistemas de ferrocarriles, como para conexiones tales como empalmes y terminales de conductores de energía utilizados en el sistema.

## Proceso Cadweld para conexión Exotermica

- E. NEC (*National Electrical Code*) Código Eléctrico Nacional
  - a. Según la Sección 250, el uso de soldaduras exotérmicas se permite para varias aplicaciones. La mención de soldadura exotérmica se hizo necesaria puesto que el Código normalmente permite sólo los medios de toma a tierra que estén enumerados. Ya que la soldadura exotérmica no puede incluirse en tal lista, se menciona la misma por su nombre para garantizar la aprobación de los inspectores locales. REF Secciones 250-81, 91, 113 y 115.

## **9. DESARROLLOS ACTUALES EN EL CAMPO EXOTÉRMICO**

- A. En vista de la creciente necesidad de efectuar soldaduras mas reservadas en las industrias telefónicas y otras industrias electrónicas, ERICO desarrolló en 1956, un proceso de soldadura exotérmica de baja emisión, bajo el nombre comercial de CADWELD EXOLON<sup>®</sup>. El mismo emplea múltiples filtros para contener el humo, y un sistema de encendido eléctrico para dar inicio a la reacción.
- B. Constantemente se están introduciendo al mercado nuevas herramientas y accesorios para ayudar al trabajador en el área.