



**Universidad Nacional del Comahue
Facultad de Ingeniería**

***SOLDADURA POR ARCO
CON NUCLEO
FUNDENTE
FLUX CORED ARC
WELDING (FCAW)***

ZALAZAR, MONICA

Cuaderno de Facultad N° 14 /99

NEUQUEN, 18 DE NOVIEMBRE DE

1. RESUMEN

El proceso FCAW presenta las bondades de la soldadura por arco eléctrico con electrodo continuo (GMAW) y de la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW), es por ello que su uso se encuentra en constante crecimiento. En este apunte presentamos una descripción del método, con sus distintas opciones. Es así que se considera el uso o no de gases de protección; los consumibles disponibles para la soldadura de aceros al carbono y baja aleación; se identifican los defectos y las formas de evitarlos. En el momento de la publicación del presente estabamos realizando soldaduras sobre aceros de alta resistencia utilizando consumibles bajo protección gaseosa y se nos presentaban importantes problemas de operatividad de los mismos, es por ello que realizamos una búsqueda bibliográfica cuyos resultados se vuelcan en este apunte.

2. INTRODUCCION:

En el proceso FCAW se genera un arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y la pileta soldada. Este proceso es usado con la protección de un fúndente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin protección adicional de un gas externamente suministrado, y sin la aplicación de presión.

El proceso ofrece dos variantes, una en la que se emplea un gas de protección externamente suministrado y otra (autoprotegida) que se basa enteramente en el gas de protección generado por la desintegración de los fúndente dentro del electrodo. En ambas el material del núcleo del electrodo provee una escoria que protege la solidificación del metal de soldadura.

Los electrodos para FCAW también son utilizados en soldadura electrogas (EGW).

El FCAW es un proceso semiautomático, no obstante con una máquina apropiada puede automatizarse.

3. HISTORIA

Los procesos de soldadura por arco con protección gaseosa fueron desarrollados desde alrededor de 1920. Experimentos en el tiempo muestran una significativa mejora en las propiedades del metal de soldadura cuando es protegido de la contaminación atmosférica, sin embargo el desarrollo del electrodo revestido a fines de 1920 reduce el interés de los métodos protegidos con gas.

No es hasta 1940, con la introducción comercialmente aceptable del proceso Gas-Tungsten Arc Welding que se renueva el interés por los métodos de protección gaseosa. Luego en la misma década el proceso GMAW fue satisfactoriamente comercializado, utilizándose al mismo tiempo protección con Argón y con Helio.

Investigando los gases que se liberan en la soldadura con electrodo manual se encuentra que es principalmente CO_2 , con lo que comienza a utilizarse este gas en la protección de aceros al carbono, apareciendo en 1950 el proceso GMAW.

Casi al mismo tiempo, la protección con CO_2 se combina con electrodos tubulares conteniendo flux en su interior lo cual soluciona muchos problemas encontrados previamente.

Las características de operación se mejoran por la adición de materiales en el núcleo y la calidad de la soldadura fue mejorada por la eliminación de la contaminación atmosférica. Este proceso se introduce a publicidad en la exposición de AWS realizada en Buffalo, Nueva York en mayo de 1954, los consumibles y equipamientos fueron refinados y comercializados desde 1957. El proceso continuo mejorándose pudiendo disponerse actualmente de electrodos de diámetro menores de 0,035 in (0,9 mm).

4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS:

Los beneficios del FCAW se obtienen por la combinación de tres hechos generales:

- 1) La productividad debido a un alambre de soldadura continuo.**
- 2) Los beneficios metalúrgicos que pueden ser obtenidos desde el flux.**
- 3) Una escoria que le da soporte y forma a la pileta soldada.**

El FCAW combina características del proceso de soldadura manual (SMAW), del proceso de soldadura con protección gaseosa (GMAW) y del proceso de arco sumergido (SAW).

En el caso del método con protección gaseosa, mostrado en la Figura 1, el gas de protección (usualmente dióxido de carbono o una mezcla de argón y dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y nitrógeno del aire rodeando el arco y a la pileta soldada. La composición del electrodo es formulada para proveer desoxidantes que se combinen con la pequeña cantidad de oxígeno debido al gas de protección.

En el método autoprotegido, Figura 2, la protección es obtenida desde componentes del flux vaporizados, los cuales desplazan el aire, y por la composición de la escoria que cubre las gotas del metal fundido durante la soldadura. La producción de CO_2 y la introducción de agentes desoxidantes y denitrificantes a partir de adecuados ingredientes del flux sobre la superficie de la pileta soldada explica por que estos electrodos pueden tolerar mayores corrientes de aire que los protegidos por gas.

Otra característica de los electrodos auto-protegidos es el uso de grandes extensiones de electrodos, la extensión del electrodo es la longitud del electrodo no fundido desde el extremo del tubo de contacto durante la soldadura. Extensiones de 19 a 95 mm son generalmente utilizadas.

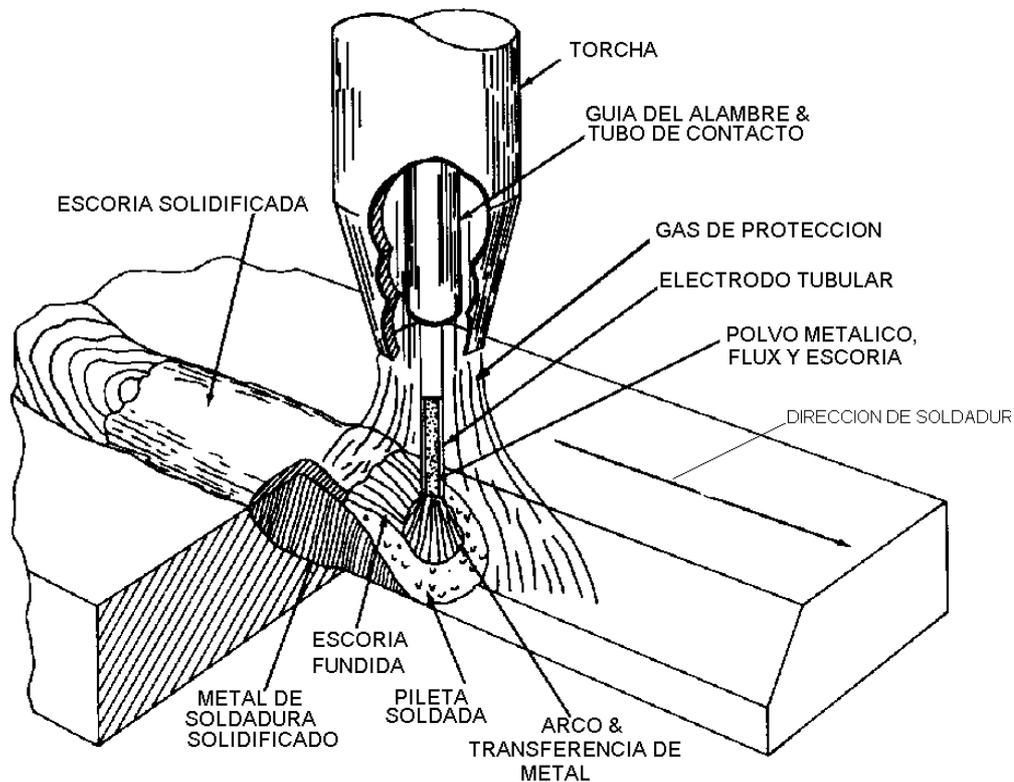
El incremento de la extensión del electrodo aumenta la resistencia al calentamiento. Esto precalienta el electrodo y disminuye la caída de voltaje a

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

través del arco, al mismo tiempo la corriente de soldadura disminuye, lo cuál baja el calor disponible para fundir el metal base, resultando en una pileta soldada angosta y poco profunda esto hace adecuado el proceso para soldar materiales de poco espesor. Si la longitud de arco (voltaje) y la corriente de soldadura se mantienen (por la elección de un mayor voltaje en la fuente de poder y mayor velocidad de alimentación del electrodo) mayores extensiones podrán incrementar la velocidad de deposición.

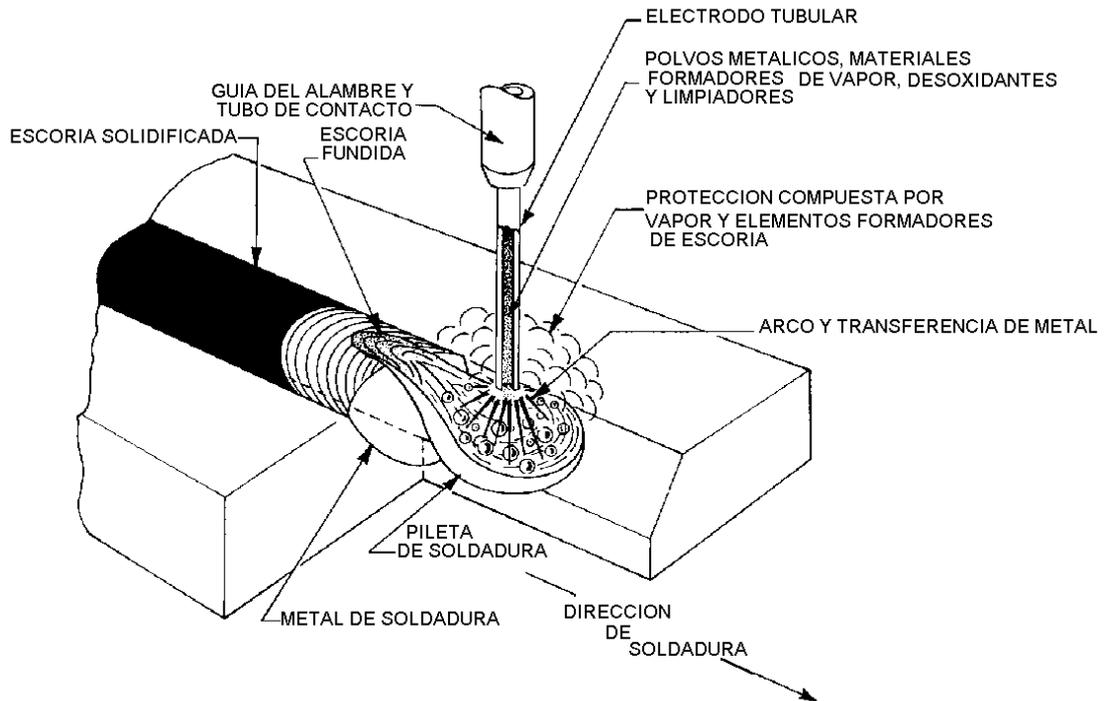
En cierto tipo de electrodos auto-protegidos la polaridad podrá ser DCEN, esta resulta en menos penetración en el metal base, como resultado electrodos de diámetros pequeños (0,8-0,9 y 1,2 mm) resultan ser adecuados para materiales finos. Se han desarrollado algunos electrodos especiales para soldadura de aceros revestidos con cinc o aluminio, los cuales son comunes en la industria automotriz.

FIGURA 1: Proceso FCAW bajo protección gaseosa.



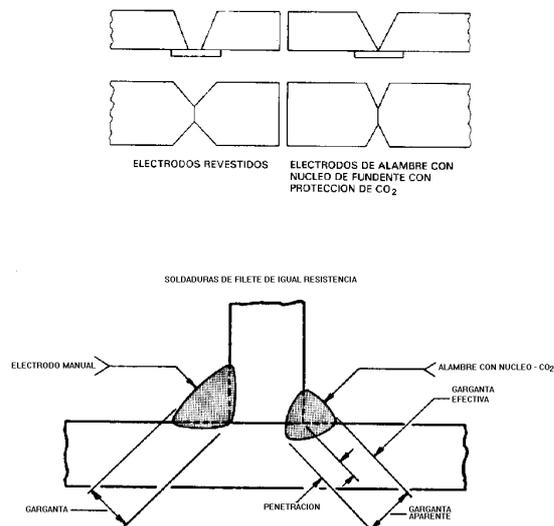
SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

FIGURA 2: Proceso FCAW autoprotegido.



En contraste, el método protegido con gas es adecuado para producción de juntas angostas y profundas. Debido a la protección gaseosa cortas extensiones de electrodos y altas corrientes de soldadura son usadas para todos los diámetros de alambres. Para soldadura de filete, comparada con SMAW, en FCAW las soldaduras son mas angostas y con grandes longitudes de gargantas, Figura 3.

FIGURA 3: Diseños de juntas recomendados



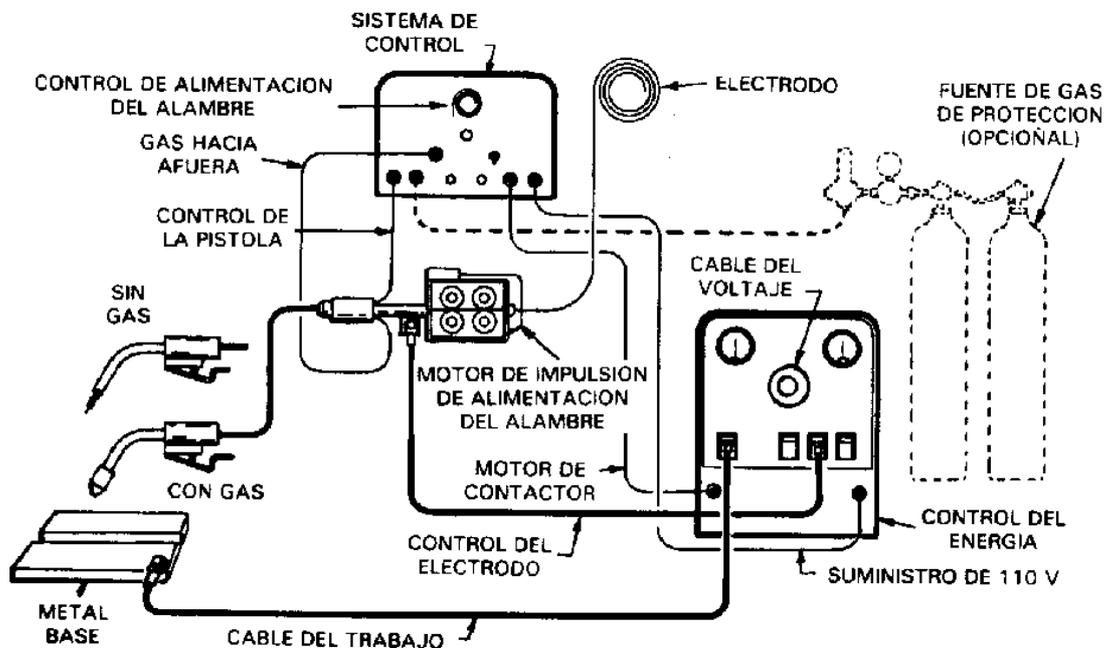
5. EQUIPAMIENTO

El equipamiento necesario para la soldadura con alambre tubular de arco abierto es básicamente similar al del proceso con protección gaseosa. En la Figura 4, podemos ver las partes necesarias.

Los elementos del equipo son:

- 1.- Fuente de poder
- 2.- Alimentación del alambre y sistema de control
- 3.- Torcha y cable-
- 4.- Electrodo tubular
- 5.- Sistema de alimentación del gas de protección (en el procesos con protección gaseosa).
- 6.- Sistema de extracción de humos.

FIGURA 4: Equipamiento necesario



La mayor diferencia entre los métodos está dada en la necesidad de suministro de gas.

Hay dos tipos básicos de fuentes de poder que pueden utilizarse en el proceso de alambre tubular, la Figura 5 esquematiza las mismas.

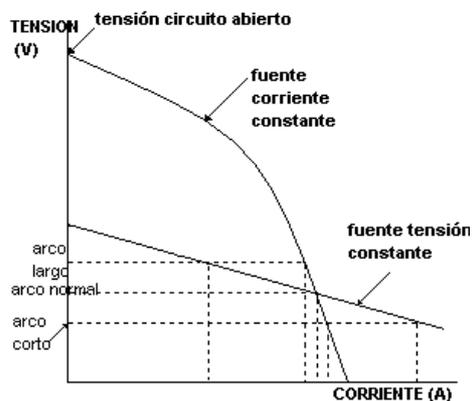
1) Una fuente de corriente constante y un motor de alimentación cuya velocidad es controlada por una señal de realimentación proporcional a la tensión de arco. Con esta combinación, a veces llamada “de arco controlado”, la tensión de soldadura es fijada variando la tensión de referencia en el motor de alimentación y la corriente es regulada directamente desde la fuente de poder. Las variaciones en la longitud del arco son detectadas por las

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

variaciones de la tensión por encima o debajo de la tensión de referencia, y esta diferencia es usada para aumentar o disminuir la velocidad del motor de alimentación hasta igualar al tensión de arco a la de referencia.

2) El segundo sistema consiste en una fuente del tipo DC con voltaje constante, similar a las usadas para GMAW. Muchas de las aplicaciones utilizan al menos 500 A. El control de tensión deberá ser capaz de ajustar incrementos de un Volt o menos. La tensión del arco es fijada por la tensión de salida de la fuente y la corriente queda automáticamente regulada por la velocidad de alimentación del alambre

FIGURA 5: Características externas de las fuentes de tensión y corriente constante.

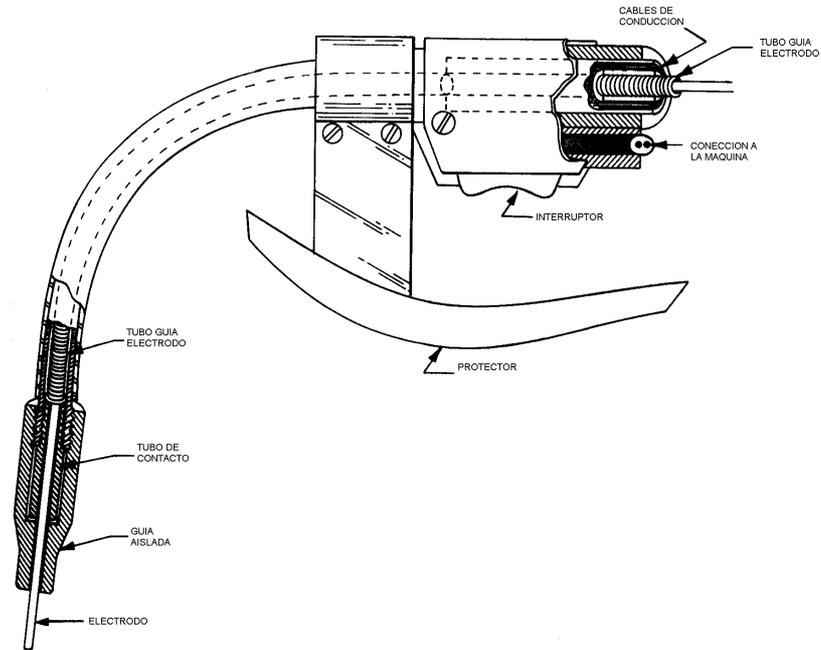


El propósito del control de la velocidad del alambre es un suministro continuo de electrodo a una velocidad constante preestablecida. La velocidad a la cual el electrodo es alimentado dentro del arco determina la corriente de soldadura que una fuente a tensión - constante podrá suministrar. Si la velocidad de alimentación del electrodo es cambiada, la máquina automáticamente se ajusta para mantener el voltaje de arco.

Este proceso requiere el uso de rodillos alimentados, que no distorsionen el electrodo tubular y permitan que avance con menor presión.

La Figura 6 muestra las partes principales de las torchas que se utilizan, estas pueden ser enfriadas por aire o agua. La curvatura de la punta puede variar desde 40° a 60°. En algunas aplicaciones la curvatura de la nariz incrementa la flexibilidad y facilita la manipulación del electrodo. Algunos electrodos autoprottegidos requieren una extensión mínima de electrodos para desarrollar una adecuada protección.

FIGURA 6: Detalles de las torchas típicas para FCAW.



6. MATERIALES:

A continuación se dará un detalle de todos los materiales involucrados en el proceso, con una observación acerca de la importancia de los mismos.

6.1 GASES DE PROTECCION

6.1.1 Dióxido de carbono

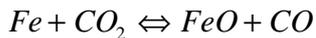
El dióxido de carbono es el gas de protección más ampliamente usado para FCAW, dos ventajas de este gas son su bajo costo y su profunda penetración de la soldadura. Aunque el tipo de transferencia es globular, algunas formulaciones de flux producen transferencia de metal tipo spray con CO₂.

El dióxido de carbono es relativamente inactivo a temperatura ambiente, cuando es calentado a alta temperatura por el arco de soldadura, el CO₂ se disocia para formar monóxido (CO) y oxígeno, como indica la siguiente ecuación.

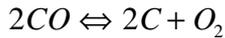


La atmósfera del arco contiene una considerable cantidad de oxígeno que reacciona con elementos en el metal fundido. La tendencia oxidante del gas de protección CO₂ ha sido reconocido en el desarrollo de los electrodos para FCAW. Materiales desoxidantes se adicionan en el núcleo del electrodo para compensar el efecto oxidante del CO₂

En suma el hierro fundido reacciona con el CO₂ produciendo óxido de hierro y monóxido de carbono, mediante la reacción reversible:



A temperaturas elevadas algo del monóxido se disocia en carbono y oxígeno



El efecto del CO₂ sobre el acero dulce y el de baja aleación es único. Dependiendo del contenido de carbono original del metal base y del electrodo, la atmósfera del CO₂ puede ser un medio carburizante o decarburizante o sea que el contenido de carbono del metal de soldadura podrá aumentar o disminuir dependiendo del carbono presente en el electrodo y en el metal base.

Si el carbono en el metal de soldadura está debajo de aproximadamente 0,05%, la piletta fundida líquida puede tender al picado por carbono desde la atmósfera protectora de CO₂. Por otro lado si el contenido de carbono del metal de soldadura es mayor que 0,10%, la piletta fundida puede perder carbono, esta pérdida es atribuida a la formación de monóxido (CO), debido a las características oxidantes del CO₂ a altas temperaturas.

Cuando esta reacción ocurre, el monóxido de carbono puede ser atrapado en el metal de soldadura como porosidad. Esta tendencia es minimizada si se provee un adecuado nivel de elementos desoxidantes en el núcleo del electrodo, el oxígeno puede reaccionar con estos elementos antes que con el carbono en el acero. Esta reacción forma parte de un compuesto de óxido sólido que flota sobre la superficie de la piletta de soldadura fundida y que forma parte de la escoria.

6.1.2 Mezclas de gases:

Permiten combinar las ventajas de dos o más gases. Un mayor porcentaje de gas inerte mezclado con CO₂ u oxígeno, mejora la eficiencia en la transferencia de los desoxidantes contenidos en el núcleo. El Argón es capaz de proteger la piletta fundida a todas las temperaturas de soldadura. Su presencia en suficientes cantidades, como gas de protección, resulta en menos oxidación que con 100% de CO₂.

La mezcla generalmente utilizada consta de 75% de Ar y 25% de CO₂, el metal de soldadura así depositado tiene mayor tensión de rotura y de fluencia que con CO₂ solo. Con esta mezcla se obtiene transferencia tipo spray. Generalmente se utiliza para soldadura fuera de posición.

El uso de gases con excesiva cantidad de gas inerte en electrodos diseñados para CO₂ puede causar un excesivo apilamiento (buildup) de manganeso, silicio y otros elementos desoxidantes en el metal de aporte, lo que puede modificar las propiedades mecánicas del mismo. Mezclas de gas con alto

porcentaje de Argón, tal como 95% con 5% de oxígeno, generalmente no se utilizan en electrodos con flux, debido a que se produce una pérdida de la escoria.

6.2 METALES BASES SOLDABLES:

Muchos de los aceros que son soldables con los procesos SMAW, GMAW o SAW pueden ser soldados con FCAW, a continuación se dan algunos ejemplos:

- (1) Aceros dulces, aceros estructurales, grados de recipientes a presión tales como: ASTM A36, A515 y A516.
- (2) Aceros de grados estructurales de alta resistencia y baja aleación. ASTM A440, A441, A 572 y A548.
- (3) Aceros aleados de alta resistencia templados y revenidos, ASTM A514, A517 y A533.
- (4) Aceros al Cromo- Molibdeno tales como 11/4Cr-1/2Mo; 21/4Cr-1Mo.
- (5) Aceros inoxidable forjables resistentes a la corrosión, AISI 304,309,316, 347, 410, 430 y 502. también inoxidable fundidos del tipo CF3 y CF8.
- (6) Aceros al Níquel, tal como ASTM A203.
- (7) Aceros aleados resistentes a la abrasión cuando son soldados con metales de aportes que tienen tensiones de fluencia menores que la de los aceros a soldar.

6.3 ELECTRODOS:

Consisten en un acero de bajo carbono o baja aleación en cuyo interior se colocan materiales aleantes y fluidificantes.

La adecuada combinación de los ingredientes del núcleo, junto con el exterior permite:

- 1) Producir soldaduras con adecuada velocidad de deposición y forma de pileta, tanto en posición plana como sobrecabeza.**
- 2) Producir electrodos para distintos tipos de gases de protección y autoprotegidos.**
- 3) Logar metales de aporte con aleaciones desde un acero dulce, hasta alta aleación o aceros inoxidable.**

Las funciones primarias de los ingredientes del flux son:

- 1) Proveer adecuada resistencia mecánica, metalúrgica y a la corrosión del metal de soldadura por ajuste de la composición química.**
- 2) Promover sanidad del metal de soldadura protegiendo la pileta líquida del oxígeno y nitrógeno del aire.**
- 3) Eliminar impurezas desde el metal fundido usando reacciones del flux.**
- 4) Producir un recubrimiento de escoria para proteger la contaminación del metal cuando está solidificando y controlar la forma y apariencia de la pileta en las diferentes posiciones de soldadura en la cual el electrodo es colocado.**

5) Estabilizar el arco y producir una pileta uniformemente rugosa con poco salpicado.

La Tabla 1 muestra los elementos comunmente encontrados en el flux del núcleo, sus fuentes y los propósitos para los cuales son usados.

Una primera clasificación de los electrodos es si requieren protección gaseosa (FCAW-G) o si son electrodos autoprotegidos (FCAW-S). Se debe además distinguir entre electrodos para pasadas simples y electrodos para pasadas múltiples y si el depósito tiene buena ductilidad y tenacidad.

Los electrodos con protección gaseosa suelen a su vez clasificarse en función del tipo de escoria que generan en electrodos rútilicos y electrodos básicos.

Los electrodos rútilicos son mejor aceptados por los soldadores ya que producen un arco suave, sobre un amplio rango de corrientes de soldaduras, buena forma de pileta y pueden ser utilizados en toda posición de soldadura. La escoria solidifica a una temperatura lo suficientemente alta de manera de hacer de soporte de la pileta soldada. Los electrodos con flux rútilico standar no producen soldaduras con buenas propiedades de impacto a baja temperatura ó muy bajos niveles de hidrógeno en el depósito soldado (menor de 5ml/100gr) pero mediante el uso de microaleantes y técnicas de refinamiento, durante la manufactura se han mejorado considerablemente ambos aspectos.

Los electrodos con flux básico son usados cuando se prioriza las propiedades mecánicas del metal de soldadura y se requiere un muy bajo nivel de hidrógeno en el depósito de soldadura. El manejo de estos electrodos es más difícil, la forma de pileta es más convexa y se produce un mayor nivel de salpicado. Los electrodos de flux básico de diámetro pequeño no son adecuados para soldadura fuera de posición ya que resulta difícil sostener la pileta, esto se puede controlar mediante el uso de procesos con arco pulsado.

En electrodos para aceros dulces y de baja aleación, un adecuado balance de desoxidantes y denitrificante (en caso de electrodos autoprotegidos) deberá ser mantenida para producir un depósito de soldadura sano con adecuada ductilidad y tenacidad. Desoxidantes tales como silicio y manganeso, combinados con oxígeno forman óxidos estables, esto ayuda al control de la perdida de elementos de aleación por oxidación y a la formación de monóxido de carbono el cual vimos puede acusar porosidad.

Un problema particular de los electrodos FCAW-S es el nitrógeno, este entra desde el aire en la pileta líquida y si excede los límites de solubilidad solidifica en el metal de soldadura. La diferencia entre la cantidad en solución líquida y el límite de solubilidad en el sólido, puede producir burbujas justo cuando el metal esta solidificando. La calidad del metal de soldadura puede ser garantizada cuando el mismo contiene tolerables niveles de nitrógeno o si el exceso de nitrógeno reacciona para formar productos que benefician las propiedades del metal de aporte. Si el nitrógeno excede los límites de solubilidad solidificando y las condiciones son favorables para nuclear

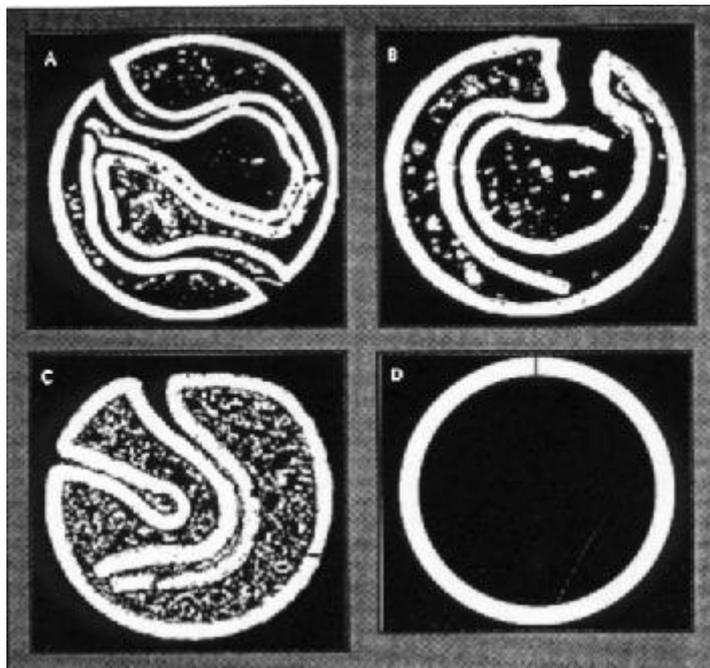
burbujas, entonces el mismo deberá ser disminuido por una reacción química y los productos de esta reacción no deberán degradar el depósito soldado, esto también puede ser controlado alterando los parámetros de soldadura. Los elementos de aleación que se combinan con el nitrógeno son el aluminio, titanio y zirconio. Teóricamente con la introducción de un 1% de estos elementos la solubilidad de el nitrógeno en hierro delta, puede ser reducida, por debajo de 0,012% (120ppm). Los productos de esta reacción, y la porción de elementos de aleación residuales, afectan profundamente la microestructura del metal de soldadura, y por lo tanto las propiedades mecánicas del mismo.

Se ha encontrado que el nitrógeno en el depósito está directamente relacionado con la formulación del núcleo; es inversamente proporcional al tamaño de la gota (área de difusión) del metal transferido; y directamente proporcional a la longitud de arco (controlada primeramente por la tensión de arco, la extensión eléctrica y en menor medida por la corriente de soldadura). De los elementos indicados el más comúnmente utilizado, para combinar con nitrógeno disuelto en la pileta líquida, es el aluminio. El desarrollo de consumibles para soldadura de simple pasada es todo un desafío ya que la dilución entre el aporte y el metal base hace que el aluminio disminuya en la pileta sin embargo el nitrógeno en la pileta soldada es fijado como nitruro y mantenido dentro de la misma.

Cuando se realizan soldaduras de pasadas múltiples con FCAW-S el riesgo a porosidad disminuye en cada pasada debido a que la cantidad de aluminio aumenta. Por otro lado la cantidad de nitrógeno que entra en la pileta es dependiente de la junta. Por ejemplo, para un mismo alambre, el total de nitrógeno sobre una pileta plana es de 0,04%N; en una junta solapada es 0,035%, en una soldadura de filete horizontal 0,03% y en una soldadura vertical descendiente <0,03%. Esto sugiere que la elección de una menor tensión es mejor para la soldadura a tope en juntas planas de material de poco espesor, mientras que una soldadura vertical descendente puede ser realizada con un voltaje levemente mayor. En un acero, el nitrógeno puede estar en una de las siguientes formas: disuelto intersticialmente en el hierro; precipitado en los planos de imperfecciones; reaccionando con el hierro y con los otros elementos como nitruro o nitruros complejos. El nitrógeno es detrimento cuando deposita en borde de grano y produce una importante pérdida en la tenacidad del material.

La Figura 7 muestra las distintas formas de los electrodos autoprottegidos, los más modernos son del tipo "D" dado que es más económica la producción. Los electrodos autoprottegidos se utilizan con corriente continua, y con un sistema de alimentación del alambre que provee una velocidad constante y una fuente de poder con voltaje constante. La aplicación puede ser completamente automatizada. Estos electrodos tienen un alto factor de operación, requieren del uso de torchas muy simples y tienen excelente tolerancia al viento, por otro lado generan más humos por junta soldada que los electrodos con protección gaseosa.

FIGURA 7: Distintas formas de los electrodos para FCAW.



Al final de este apunte se presenta un resumen de recomendaciones y preguntas que deben considerarse en el momento de seleccionar un electrodo para FCAW.

Las Normas AWS A5.20 y A5.29 se utilizan para la clasificación de los electrodos para FCAW, ambas especificaciones usan el mismo sistema de designación para la performance y uso de cada clasificación análoga.

6.3.1 CLASIFICACION DE LOS ELECTRODOS:

Los electrodos de acero dulce para FCAW se clasifican según: ANSI/AWS A5.20/95, *Specification for Carbon Steel Electrodes for FCAW*.

La identificación es la dada en la Figura 8. La Tabla 2 indica el significado del último dígito en la clasificación.

Los electrodos se fabrican en tamaños estandars que van de 1,2 a 4mm de diámetro. Las propiedades de la soldadura pueden variar apreciablemente dependiendo del tamaño de electrodo, corriente de soldadura, espesor de la placa, geometría de la junta, precalentamiento, temperatura entre pasadas, condición superficial, composición del metal base y diferencias con el metal depositado y gas de protección. Muchos electrodos son diseñados para soldadura en posición plana, estos pueden ser utilizados para soldar en otra posición si se seleccionan adecuadamente el diámetro y la corriente, diámetros inferiores de 2,4mm se pueden usar para soldaduras fuera de posición.

La Norma introduce distintos sufijos (de 1 hasta 14, G y GS), que indican un grupo de electrodos que contienen flux o componentes de núcleo similares, que les dan características similares de uso. Algunas clasificaciones se indican

como adecuadas para simples o múltiples pasadas, mientras que otras son únicamente adecuadas para simples pasadas.

EXXT-1 y EXXT-1M: Los electrodos del grupo T-1 son diseñados para utilizar con CO₂, como gas de protección y se utilizan con DCEP. Mezclas de Argón y CO₂ también se utilizan para mejorar el funcionamiento, especialmente en soldadura fuera de posición (T-1M). Una disminución de la cantidad de CO₂ en la mezcla incrementa el manganeso y silicio en el depósito y puede mejorar las propiedades de impacto. Son diseñados para simples o múltiples pasadas. Los diámetros mayores (generalmente 2mm y mayores) son utilizados en soldadura en posición plana y soldadura de filete en posición horizontal. Los diámetros menores (1,6mm y menores) son generalmente utilizados para soldadura en toda posición. El grupo T-1 se caracteriza por una transferencia tipo spray, baja pérdida por salpicado, configuración de piqueta plana o levemente convexa, y moderado volumen de escoria la cual cubre completamente la piqueta soldada. Este tipo de electrodo produce una escoria tipo rutilo y son muy bien aceptados por los soldadores ya que produce un arco suave, bajo salpicado y piletas con buenas formas en toda posición de soldaduras, teniendo además altas velocidades de deposición.

EXXT-2 y EXXT-2M: Se utilizan con DCEP, se diferencian con el grupo T-1 debido al mayor contenido de manganeso, silicio o ambos. Se diseñan primariamente para simple pasada de soldadura en la posición plana y en la soldadura de filete horizontal. La mayor cantidad de desoxidante lo hace adecuado para aceros semicalmados. El manganeso da buenas propiedades tanto en pasadas simples como múltiples. Sin embargo el contenido de manganeso y la resistencia mecánica podrán ser mayor en múltiples pasadas. Este electrodo puede utilizarse sobre materiales con incrustaciones, óxidos y otros elementos extraños sobre su superficie permitiendo una soldadura de calidad radiográfica.

EXXT-3: Los electrodos autoprottegidos T-3 permiten hacer soldaduras a elevada velocidad (250cm/min); son electrodos diseñados para simple pasadas.

El aluminio presente hace que el metal moje lentamente, se utiliza silicio junto con o en lugar del mismo, para fijar el oxígeno. El Titanio mejora el mojado y fija nitrógeno. Una familia de estos electrodos tiene muy baja punto de fusión de escoria que cubre levemente el centro de la soldadura. Esto lo hace ideal para soldaduras que deben ser solapadas en el comienzo. Los electrodos que no permiten solapado producen una cobertura completa de escoria, que resulta difícil de remover. Utilizan conexión a electrodo positivo (DCEP), tienen transferencia tipo spray y producen depósitos convexos a menos de que se utilice una técnica especial de trabajo para posición plana (7-15 grados) La aleación depositada es endurecible por lo que se debe limitar la aplicación para, soldaduras de filete o solapadas en materiales con espesores inferiores a 4,8mm en aceros poco aleados, esto evitaría velocidades de enfriamiento muy rápidas; mientras que para soldaduras a tope deben utilizarse espesores menores de 6,4mm, por no permitir múltiples pasadas.

EXXT-4: Electrodo autoprotegido, diseñado para simples o múltiples pasadas. Opera en DCEP con transferencia globular, se utilizan grandes extensiones (64-95mm) lo que precalienta el electrodo y genera la transferencia de grandes gotas. El sistema de escoria es diseñado para dar características las cuales permiten mayores velocidades de deposición manteniendo un bajo nivel de azufre, lo cual hace que el depósito resulte resistente a fisuración. La transferencia globular dificulta la realización de soldaduras inferiores a 8mm, y hace difícil la penetración en la raíz de una soldadura de filete horizontal. Por esta razón, suelen usarse para llenar grandes volúmenes de juntas a tope y soldaduras con pobre acceso donde un producto con mayor penetración puede producir socavado en el material.

EXXT-5 y EXXT-5M: Estos electrodos son diseñados para usar con CO₂ como gas de protección (o mezclas Ar-CO₂ T-5M) para simple o múltiple pasada, en posición plana y para filetes horizontales. Se caracterizan por una transferencia globular, con una configuración de piletta levemente convexa, y una fina escoria la cual puede no cubrir completamente la piletta soldada; la escoria es tipo básica, primeramente CaF₂ y CO₃Ca. El depósito producido tiene buenas propiedades de impacto y resistencia a la fisuración comparados con los del tipo rutilo. (EXXT-1 y EXXT-2), sin embargo la operatividad de estos electrodos no es tan buena como la de los electrodos con escoria rutilica.

EXXT-6: Los electrodos de esta clasificación son autoprotegidos, operan con DCEP, con una extensión de 25mm y tienen un modo de transferencia tipo spray. Es una segunda generación del T-4 e intentan competir con los alambres FCAW-G T-1 y T-5. Igual que para los T-4, los alambres de esta clasificación contienen altos niveles de óxidos alcalinos y óxidos de litio aglomerados como ferritas complejas y muy poca cantidad de fluorita. El volumen de la escoria es un producto de las reacciones que ocurren durante la soldadura. Consecuentemente, el operador y la elección de los parámetros de soldadura afecta la performance del electrodo más que para los otros electrodos FCAW-S. Si el metal base se encuentra oxidado, la escoria en una pasada simple puede resultar muy fluida, por otro lado se obtiene excelente remoción de la escorias en juntas profundas. Aunque los alambres FCAW T-6 no penetran tan bien como los FCAW-G, en soldaduras de filetes horizontales se obtiene profunda penetración. El sistema de escoria es diseñado para dar muy buenas propiedades de impacto a bajas temperaturas. Se utiliza en simple o múltiple pasada y en posiciones plana y horizontal. El depósito contiene menos de 0,045% N y más de 0,14%Ti. Este último cumple un rol vital en la fijación del nitrógeno e interrumpe el crecimiento columnar de la ferrita.

EXXT-7: Este grupo de electrodos se diseñan para producir depósitos a muy altas velocidades y bajos costos. Son autoprotegidos y operan con cortas extensiones y con DCEN lo que produce transferencia tipo spray y buena penetración. Permiten soldar en toda posición. El sistema de escoria cubre completamente la piletta soldada con altas temperaturas entre pasadas, permite desulfurizar el metal de soldadura, lo cual ayuda a un depósito resistente a fisuras. También se utilizan en simple y múltiple pasadas. El soldador puede manejar el sistema arco/escoria fácilmente de modo de obtener piletas levemente convexas de 2,8mm a 8mm de garganta (leg). El

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

menor diámetro de este grupo es de 1,6mm, utilizado para vertical descendente a muy rápidas velocidades de trabajo. Para este diámetro las aplicaciones se superponen con el T-11, siendo el T-7, para iguales condiciones de uso, más económico.

EXXT-8: Son autoprotegidos, operan con DCEN y tienen una transferencia de pequeñas gotas, tipo spray. Se utilizan en simple y múltiple pasadas. Las características esenciales de este grupo son: la habilidad de soldar en toda posición, producir temperaturas de transición de Charpy V, de -29°C o menores, y operar con una velocidad de deposición entre 0,9-2Kg/h con una extensión nominal de electrodo de 19mm.

EXXT-9 y EXXT-9M: Los electrodos de esta clasificación son diseñados para usar con CO₂ como gas de protección, sin embargo mezclas Ar-CO₂ (T-5M) se utilizan para mejorar las características de uso, especialmente para soldadura fuera de posición. La composición del gas de protección afecta al electrodo de igual forma que el grupo T- 1 y T-1M. Son diseñados para simple o múltiple pasada. Los diámetros más grandes (>2mm) se utilizan en soldadura de posición plana y en soldaduras de filetes horizontales: Los diámetros menores (<1,6mm) son frecuentemente utilizados en soldaduras en todas posiciones. Las características del arco son esencialmente similares a los electrodos EXXT-1; 1M, podemos decir que se trata de los mismos electrodos pero con un metal de soldadura con mejores propiedades de impacto. Algunos electrodos de esta clasificación requieren que la junta este relativamente limpia y libre de aceites y óxidos para lograr una soldadura de calidad radiográfica.

EXXT-10: Son electrodos autoprotegidos y permiten realizar soldaduras de pasada simple sobre materiales de cualquier espesor en posiciones planas, horizontales y verticales descendentes (hasta 20 grados), pueden utilizarse también para soldar alrededor de una soldadura si se mantiene un ángulo mínimo de 60 grados. Son desarrollados para obtener una máxima velocidad de trabajo cuando se utilizan con equipos automáticos y semiautomáticos y para suministrar un sistema de aleaciones que pueda ser aplicados sobre todos los espesores aceros aleados. El aluminio se utiliza para fijar nitrógeno y oxígeno. Operan con DCEN y permiten obtener de 75-215 cm/min de velocidad de trabajo. Presentan una fácil remoción de escoria, la cuál cubre completamente la piqueta. Estos electrodos pueden también aplicarse en forma paralela, con un espaciado entre electrodos no mayor de 9,5mm.

EXXT-11: Son autoprotegidos, y operan con corta extensión del electrodo y DCEN, tienen un arco suave (agradable para el soldador) con transferencia tipo spray. El sistema de escoria permite soldadura en toda posición y con alta velocidad. Se proponen para simple o múltiple pasadas y en toda posición. Un cambio en el sistema de escoria reemplaza el fluoruro de calcio por fluoruro de bario. Esto introduce bario dentro del humo, por lo que se deben tomar precauciones en la ventilación. (Esto lo debe informar el fabricante). La agradable operación del electrodo requiere de una transferencia spray muy fina que incrementa el contenido de nitrógeno. Mayor nitrógeno requiere de mayor cantidad de aluminio, para evitar porosidad. Mayor aluminio requiere de más

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

carbono consistente con los requisitos de ductilidad del grupo. Por lo que cuando un alambre T-11 se utiliza en placas gruesas bajo condiciones severas de temple, él depósito puede no alcanzar el límite de 22% de ductilidad. Por lo tanto los límites de espesor para multipasadas son de 13mm. (En placa gruesa para pasada simple las soldaduras son mejores con el T-8 o los nuevos T-11 con 3,5%Ni E81TG-G).

EXXT-12 y EXXT-12M: Los electrodos de esta clasificación son esencialmente electrodos EXXT-1 y EXXT-1M, los cuales han sido modificados para mejorar la tenacidad y tienen menor requerimiento de manganeso para alcanzar los requerimientos del grupo A-1 del código *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX*. Esto produce menores valores de tensión y dureza. En cuanto a las características de la soldadura, transferencia del arco y velocidad de deposición también son similares a las de los electrodos del grupo EXXT-1 y EXXT-1M

EXXT-13: Son electrodos autoprotegidos y permiten realizar soldaduras de pasada simple, fueron desarrollados para materiales con pobre acceso (poor fit-up) en metales finos. Son alambres calmados con aluminio y titanio y contienen substanciales niveles de estabilizadores del arco. Los estabilizadores permiten el uso de muy bajos voltajes de arco (13-15VDCEN) lo que genera un modo de transferencia en corto circuito. Cuando se utiliza con mayores voltajes y velocidades de alambre, se caracteriza por un arco suave y bajo salpicado, y puede utilizarse a velocidades mayores de 216 cm/min. Los depósitos son sensibles al temple, es por ello que la mejor aplicación es pasada simple en soldaduras de aceros dulce de ¼ in o menos de espesor. Las características del electrodo en cuanto a su manejo y limpieza de la junta, lo hacen útil para la pasada de raíz en soldadura de cañerías, sin embargo deben utilizarse en soldadura de cañerías, estos electrodos cuando específicamente son diseñados para tal fin, ya que los mismos tienen menor contenido de aleantes.

EXXT-14: Son electrodos autoprotegidos, operan con DCEN, tienen una suave transferencia tipo spray y permiten realizar soldaduras de pasada simple. Se desarrollan para obtener un alto factor de operación en unión de metales finos, por lo que la cantidad de aluminio se mantiene tan alta como sea practicable. Se disponen en diámetros de 0,8mm, y permiten altas corrientes y cortas extensiones así como una mínima escoria consistente en bario y/o estroncio. Estos electrodos no deben utilizarse en soldaduras de pasadas múltiples debido a que el aluminio y carbono alcanzan rápidamente valores muy elevados es por ello que se utilizan hasta espesores de 6,4 mm, en soldadura a tope y hasta 4,8mm de espesor en soldadura soalpada. Estos son electrodos adecuados para la soldadura de aceros galvanizados. (Cuando la ductilidad del depósito no permite utilizar un electrodo T-14 se deberá usar un electrodo de la clasificación T-11).

EXXT-G: Esta clasificación esta destinada a electrodos de múltiple pasada no cubierto por la clasificación anterior. Excepto la composición química y las

propiedades mecánicas el resto de los requisitos surgen de un acuerdo con el proveedor.

EXXT-GS: Esta clasificación esta destinada a electrodos para simple pasadas no cubiertos en la clasificación actual. Salvo la tensión de rotura, el resto de las exigencias surge de un acuerdo con el proveedor.

La Tabla 3 y 4 dan la composición química y propiedades mecánicas recomendadas para el metal de soldadura.

6.3.2 ELECTRODOS PARA ACEROS DE BAJA ALEACION:

Corresponden a la clasificación dada por ANSI/AWS A5.29-80, *Specification for Low Alloy Steel Electrodes for FCAW*, permiten depósitos de soldadura con composiciones químicas y propiedades mecánicas similares a los electrodos SMAW. Son utilizados en soldadura de baja aleación de similar composición química. La Figura 9 muestra el sistema clasificación. La Norma clasifica los electrodos en base a lo siguiente:

- (1) Cuando el CO₂ se utilice como un gas de protección separado.**
- (2) Tipo de corriente**
- (3) Posición de soldadura**
- (4) Composición química del metal de soldadura**
- (5) Propiedades mecánicas del metal de soldadura**

FIGURA 8: Clasificación de los electrodos de aceros al carbono para FCAW

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

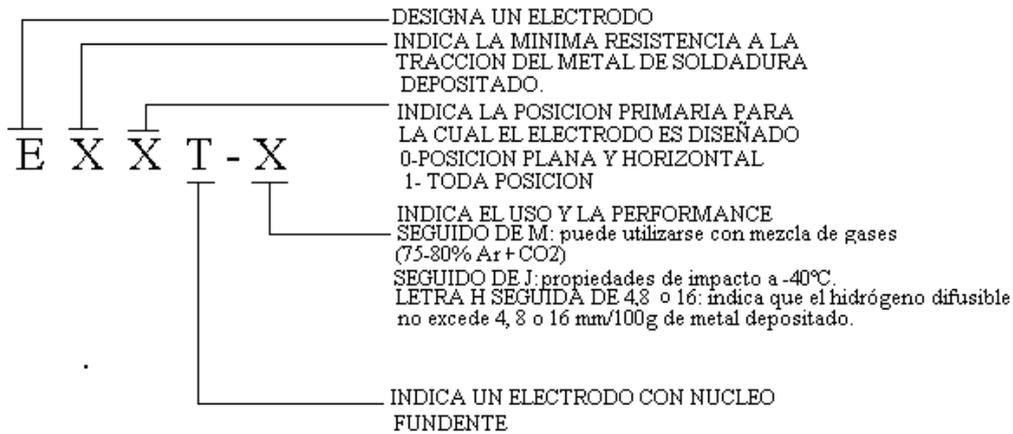
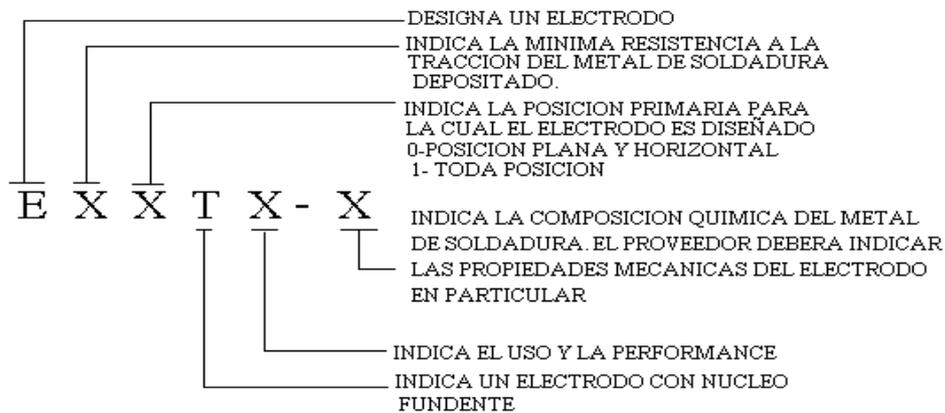


FIGURA 9: Clasificación de los electrodos de aceros aleados para FCAW



La Tabla 5, 6 y 7, dan los requerimientos de composición química y propiedades mecánicas para el metal de soldadura depositado. Los 5 grupos en que clasifica la Norma a los electrodos son:

EXXT1-X: Se utilizan con CO₂ como gas de protección. Mezclas de Ar y CO₂ se utilizan para mejorar la soldadura fuera de posición. Se utilizan para simple y múltiple pasada, se caracteriza por la transferencia tipo spray, baja pérdida por salpicado, configuración de piqueta plana o levemente convexa, y moderado volumen de escoria, el cuál cubre completamente la piqueta. Muchos de los electrodos de este grupo tienen una escoria rutilica. El electrodo de mayor diámetro (≥2mm) es usado para soldadura en posición plana, y soldadura de

filete horizontal, los diámetro menores o iguales a 1,6mm son utilizados para soldadura en toda posición.

EXXT4-X: Estos electrodos son autoprotegidos, operan con DCEP y tienen transferencia globular. El sistema de escoria permite desulfurizar el metal de soldadura, lo cual ayuda a un depósito resistente a fisuras y además elevada velocidad de deposición. Se diseñan para baja penetración, en simple y múltiple pasadas, y en juntas de acceso limitado.

EXXT5-X: Estos electrodos son diseñados para usar con DCEP y CO₂ como gas de protección, tienen transferencia globular, pueden utilizarse para simple y múltiple pasadas en posición plana y para filetes horizontales. Mezclas de Ar y CO₂ permiten utilizar DCEN en soldadura fuera de posición. Se caracterizan por una transferencia globular, con una configuración de pileta levemente convexa, y una fina escoria, la cuál puede no cubrir completamente la pileta soldada. Producen una escoria base lime-fluoride. Los depósitos producidos por estos electrodos tienen mejores propiedades de impacto y resistencia a fisuración que los del tipo T1-X.

EXXT8-X: Estos electrodos son autoprotegidos, operan con DCEN. El sistema de escoria permite el uso del electrodo en toda posición de soldadura, y también es diseñado para producir muy buenas propiedades de impacto a baja temperatura en el metal de soldadura y desulfurizar el metal de soldadura a niveles muy bajos, lo cual ayuda a un depósito resistente a fisuras. Pueden ser utilizados en soldadura de simple y múltiple pasadas.

EXXTX-G: Se utiliza para clasificaciones nuevos electrodos no previstos anteriormente.

7. CONTROL DEL PROCESO:

A continuación se dará un detalle de los distintos parámetros de soldadura que influyen en el proceso y la forma de controlarlos.

7.1 CORRIENTE DE SOLDADURA:

Es proporcional a la velocidad de alimentación del electrodo para un diámetro específico, composición y extensión del electrodo. Los fabricantes de consumibles suministran curvas que relacionan la velocidad de alimentación del electrodo y corriente de soldadura para distintos electrodos. Una fuente de potencia de tensión constante de adecuado tamaño es utilizada para fundir el electrodo a una velocidad que mantenga la tensión de salida seleccionada (longitud de arco). Si para un diámetro de electrodo dado las otras variables se mantienen constante, un cambio en la corriente puede tener los siguientes efectos:

(1) Incremento en la corriente incrementa la velocidad de deposición del electrodo.

- (2) Incremento en la corriente, incrementa la penetración.**
- (3) Corriente excesiva produce piletas convexas con pobre apariencia.**
- (4) Corriente insuficiente produce transferencia de grandes gotas y excesivo salpicado.**
- (5) Corriente insuficiente puede resultar en contaminación con nitrógeno y también porosidad en el metal de soldadura, cuando se utilizan electrodos autoprotegidos.**

La corriente de soldadura incrementa o disminuye cambiando la velocidad de alimentación del electrodo, la tensión de salida deberá ser cambiada para mantener la optima relación de tensión-corriente. *Para una velocidad dada de alimentación del electrodo, la corriente medida varía con la extensión del electrodo. Cuando la extensión del electrodo incrementa, la corriente puede disminuir y viceversa.*

7.2 Tensión del arco:

La tensión del arco y la longitud del arco se encuentran muy relacionados. El voltaje mostrado en el medidor de la máquina de suministro de potencia es la suma de la caída de voltaje a través del circuito de soldadura. Esto incluye la caída a través de los cables, la extensión del electrodo, el arco, la pieza de trabajo, y el cable de masa.

La apariencia, sanidad y propiedades de la soldadura realizada con FCAW pueden ser afectados por la tensión del arco. Una tensión de arco demasiado alta (un arco demasiado largo) puede resultar en un excesivo salpicado y una piletta ancha y de forma irregular. Con los electrodo autoprotegidos, un voltaje demasiado alto puede resultar en excesivo nitrógeno atrapado, el cuál deteriora la tenacidad de la junta; se ha encontrado que el contenido del mismo es linealmente proporcional a la longitud de arco. Con electrodos de acero dulce esto puede causar porosidad. Con electrodos de acero inoxidable puede disminuir el porcentaje de ferrita con lo que aumenta el riesgo a fisuras. Tensión de arco muy baja (o arco corto) puede resultar en una piletta angosta convexa con excesivo salpicado (muy inestable) y penetración reducida. En los alambres con fundentes tipo AWS T-3, T-4 y T-6 se utiliza DCEP (polaridad inversa) ya que con electrodo negativo disminuye la penetración y el contenido de nitrógeno tiende a aumentar. Para los demás alambres se recomienda usar electrodos negativos (polaridad directa).

7.3 Extensión del electrodo:

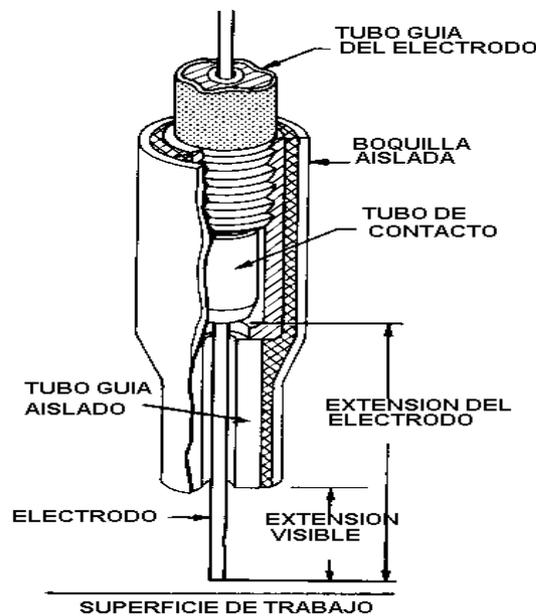
El electrodo no fundido se extiende debajo del tubo de contacto durante la soldadura, la resistencia al calentamiento es proporcional a esta longitud asumiendo que las otras variables se mantienen constante, la Figura 10 muestra detalles de la punta de la torcha. Este calentamiento afecta la energía del arco, la velocidad de deposición del electrodo y la penetración de la soldadura, esto también puede afectar la sanidad y la estabilidad del arco.

El efecto de la extensión del electrodo es un factor operativo en FCAW que introduce nuevas variables que pueden ayudar en el balance con las condiciones de protección y las variables de soldadura.

Una extensión demasiado larga produce un arco inestable con excesivo salpicado. Una extensión demasiado corta puede causar una excesiva longitud de arco para el voltaje seleccionado. Con protección gaseosa esto puede causar excesivo salpicado delante de la torcha que interfiere con el flujo de gas de protección, generando porosidad en el metal de soldadura y excesiva oxidación.

Muchos fabricantes recomiendan una extensión de 19 a 38 mm para electrodos protegidos con gas y de 19 a 95 mm para autoprotegidos, dependiendo de la aplicación.

FIGURA 10: Detalles de la boquilla para el electrodo autoprotegido.



7.4 Velocidad de trabajo:

La velocidad de trabajo influye en la penetración de la pileta y su contorno. Si otros factores permanecen constantes, la penetración a bajas velocidades de trabajo es mayor que a altas velocidades. Bajas velocidades y altas corrientes pueden resultar en sobrecalentamiento del metal de soldadura. Esto puede resultar en una soldadura de apariencia rugosa con posibilidades de escoria atrapada, o de fusión del metal base. Altas velocidades de trabajo pueden resultar en una pileta viscosa e irregular.

7.5 Flujo de gas:

En el caso de electrodos con protección gaseosa el flujo de gas es una variable que afecta la calidad de la soldadura. Su efecto es similar a otros procesos protegidos con gas.

El flujo adecuado depende del tipo y diámetro de la torcha, la distancia desde la superficie de trabajo, y el movimiento de aire en las regiones cercanas a la soldadura.

7.6 Velocidad de deposición y eficiencia:

La velocidad de deposición es el peso de material depositado por unidad de tiempo. Depende de variables de soldadura tales como: diámetro, composición y extensión del electrodo y corriente de soldadura. Los proveedores de consumibles suministran gráficos que vinculan, la velocidad de deposición en función de la corriente de soldadura para electrodos de varios diámetros y en distintas posiciones de soldadura.

Para electrodos FCAW protegidos con gas la eficiencia en la deposición esta en el rango de 80 a 90%, mientras que para los autoprotegidos es de 78 a 87%. Eficiencia de deposición es la relación entre peso de metal depositado sobre peso de metal consumido.

7.7 Angulo del electrodo:

El ángulo en el cuál el electrodo es mantenido durante la soldadura determina la dirección de aplicación de la fuerza en la pileta fundida. Cuando las variables son adecuadamente ajustadas para la aplicación involucrada, la fuerza puede ser usada para oponerse a los efectos de gravedad. En los procesos FCAW y SMAW, la fuerza es utilizada no solamente para ayudar en la forma de la pileta deseada sino para prevenir escoria por delante de la pileta y que quede atrapada en la misma.

Un problema que presenta la soldadura en posición plana es que la fuerza de gravedad hace que la pileta de soldadura fundida avance por delante de la soldadura. Esto debe ser contrarrestado con un adecuado ángulo entre el electrodo y la posición de trabajo, el cuál se denomina ángulo de avance. Este ángulo de avance, definido como “ángulo de arrastre”, es medido desde una línea vertical en el plano axial de la soldadura, como muestra la Figura 11.

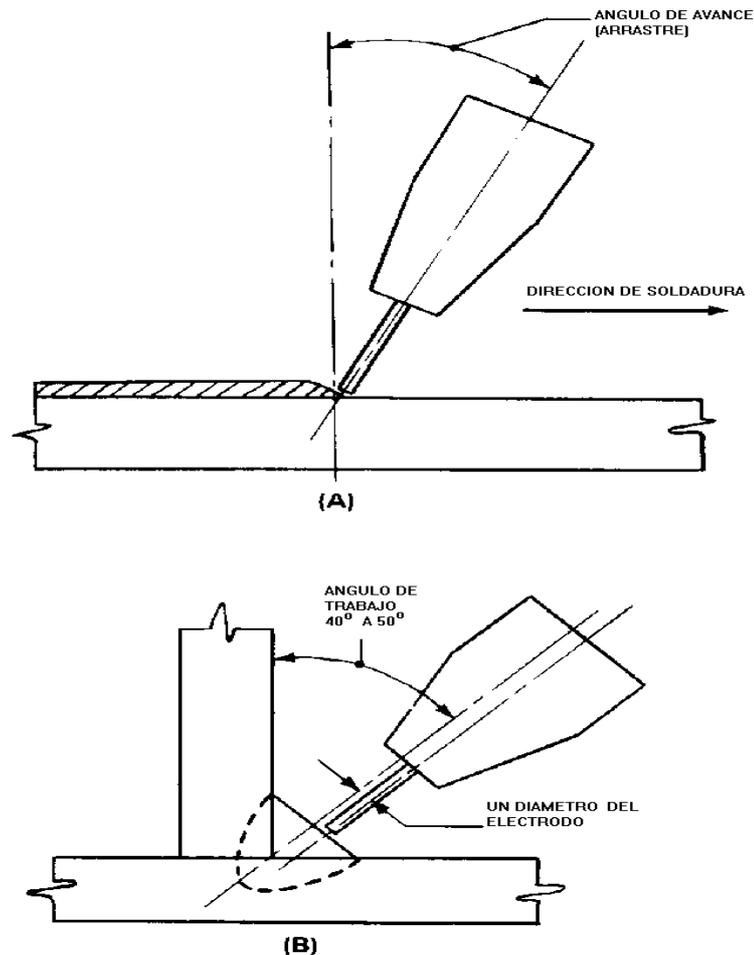
El ángulo de arrastre adecuado depende de: el tipo de protección, el espesor del metal base, y la posición de soldadura. Para soldadura autoprotegida, el ángulo de arrastre deberá ser el mismo que el que se utiliza en SMAW, variando de 20 a 45 grados para posición plana, los mayores ángulos se utilizan para secciones finas. Cuando el espesor del material incrementa, el ángulo de arrastre deberá disminuir para incrementar la penetración. Para vertical descendente, el ángulo deberá ser de 5 a 10 grados.

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

Para protección gaseosa, el ángulo de arrastre deberá ser pequeño, usualmente de 2 a 15 grados, pero no más de 25 grados.

Cuando se realizan soldaduras de filete en posición horizontal, la pileta tiende a fluir tanto en la dirección de trabajo como hacia los lados de esta. Para contrarrestar esto se debe posicionar el electrodo con un ángulo de trabajo de 40 a 50° desde la vertical, Figura 11(b).

FIGURA 11: Posiciones de torcha recomendadas.



7.8 Diseños de juntas:

El diseño de junta adecuado depende del tipo de protección que se utilice.

El diseño de junta debe permitir que se pueda mantener una extensión del electrodo constante, un adecuado acceso a la raíz y que se pueda manejar fácilmente el electrodo durante la realización de la unión. La Tabla 8, muestra los diseños de junta típicos para soldaduras con electrodos con protección gaseosa y la Tabla 9 para electrodos autoprotectidos.

8. CALIDAD DE LA SOLDADURA

Depende del tipo de electrodo utilizado, condición del metal base, diseño de junta y condiciones de soldadura.

La Tabla 10 indica los posibles problemas que pueden aparecer en estas soldaduras y las probables soluciones.

9. GENERACION DE HUMOS

Los electrodos para FCAW producen una mayor velocidad de deposición, eficiencia y factor de operación pero usualmente generan más humos para un dado trabajo que los electrodos para SMAW y para GMAW. Si bien es factible disponer de buenos equipos para la extracción de humos, el esfuerzo en los últimos años ha sido dado en lograr consumibles con una producción entre 25 y 75% menos de humos que los precesores y reducir el nivel de salpicado. Estos se consideran como una nueva generación de FCAW-G.

En FCAW el humo es generado desde reacciones de los ingredientes del núcleo del electrodo, la envoltura exterior, el metal base, el gas de protección y la atmósfera que lo rodea durante al ejecución de la soldadura. La cantidad de humo generada durante la soldadura es usualmente expresada en velocidad de generación de humos (FGR). Para medirla se juntan las partículas sólidas por un método controlado y se calcula el resultado como gramos de humo por tiempo de arco (gr/mín) o por metal de soldadura depositado (gr/Kg metal de soldadura). En algunos casos puede requerirse además la composición química de los humos para evaluar si cumple con los requisitos de calidad establecidos por las agencias de control.

La generación de humo es dependiente del porcentaje de carbono y el tipo de ingrediente presente en el núcleo, es así como los electrodos con un sistema básico de escoria (A5.20- T5) gran cantidad de compuestos de fluoruro (CaF_2 , NaF, etc.) comparados con los electrodos de escoria tipo rutilo (TiO_2) (A5.20T-5), los cuales tienen menos compuestos de fluoruro, por lo que los electrodos del grupo "T5" tienen tendencia a producir mayor cantidad de ingredientes más volátiles, por lo que en los nuevos electrodos de bajo nivel de humos (AWS T-5M) estos ingredientes se mantienen en un mínimo.

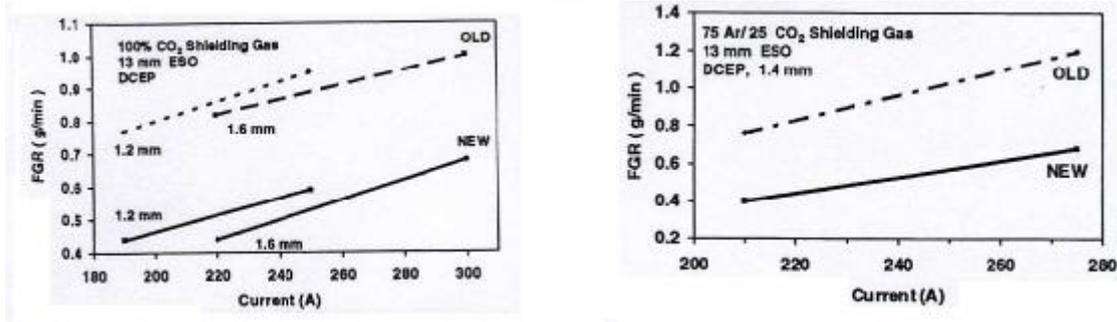
Desde el punto de vista de los parámetros de soldadura la corriente y la tensión, contribuyen significativamente a la FGR, mientras que la extensión del electrodo y la velocidad de soldadura tienen poco efecto sobre el nivel de humo. El tipo de gas también influye en la generación de humos, en general conforme incrementa el porcentaje de CO_2 como gas de protección, la velocidad de generación de humos incrementa, debido a que el CO_2 reduce al estabilidad del arco, produce más disturbios y reacciona con las gotas fundidas por oxidación generando más partículas metálicas dentro del humo.

La composición química del metal base y el estado superficial del mismo también afecta la generación de humos, por lo que deberán ser considerados.

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

La Figura 12 muestra resultados de la FGR en el electrodo AWS E71T-1 de la vieja y nueva generación.

Figura 12: Graficos que muestran la generación de humos en nuevos y viejos electrodos.



10. VENTAJAS DEL PROCESO FCAW

- ***Alta calidad del metal depositado***
- ***Excelente apariencia del cordón, soldadura suave y uniforme.***
- ***Excelente contorno de los cordones de filete horizontales.***
- ***Se puede soldar una variedad de aceros con un amplio rango de espesores.***
- ***Factor de alta operatividad: fácil mecanizado***
- ***Alta tasa de deposición: densidad de alta corriente***
- ***Utilización del metal de electrodo: relativamente alta.***
- ***Velocidades de desplazamiento relativamente alta.***
- ***Economía en los diseños ingenieriles de las juntas.***
- ***Arco visible: fácil de usar.***
- ***La limpieza previa es menor que la que se requiere para la soldadura por arco de metal con protección gaseosa GMAW.***
- ***Distorsión reducida comparada con la soldadura SMAW.***
- ***Alrededor de cuatro veces más velocidad de deposición que con SMAW.***
- ***Los electrodos autoprottegidos tienen buena tolerancia al viento y no requieren del manejo de equipos de gas.***
- ***Mayor tolerancia a los contaminantes que pueden causar fisuras en la soldadura.***
- ***Resistentes a la fisuración bajo pileta.***

11. LIMITACIONES DEL PROCESO FCAW

- ♦ ***Esta limitado a la soldadura de materiales ferrosos y aleaciones base níquel.***
- ♦ ***El proceso produce escoria la que debe ser eliminada.***
- ♦ ***El consumible es más caro a igualdad de peso que los alambres sólidos, excepto para aceros de alta aleación.***

- ◆ *El equipamiento es más caro y complejo que el requerido por SMAW, sin embargo el incremento de productividad generalmente compensa esto.*
- ◆ *La alimentación del alambre y la fuente de poder pueden ser juntamente cerradas en el punto de soldadura.*
- ◆ *En el caso de protección gaseosa esta puede verse afectada por condiciones atmosféricas.*
- ◆ *El equipamiento es más complejo que para SMAW, y se requiere más mantenimiento.*
- ◆ *Se generan más humos de soldadura. (comparados con GMAW y SAW)*

12. ACLARACIONES CON RELACIÓN A LOS ELECTRODOS:

Sin duda el mayor problema que presenta este proceso es familiarizarse con el manejo de la denominación de los electrodos, lo que permitirá prevenir de los siguientes problemas:

El uso de un electrodo para pasadas simples (E70T-2) en múltiples pasadas genera fisuras.

Cuando un electrodo fabricado para utilizar con gas de protección CO₂ puro (E71T-1) y se emplean mezclas ricas en Argón (75%) se produce mayor dureza en la soldadura y riesgo a corrosión acelerada, debido a que se retiene más Mn y/o Si en el depósito de soldadura.

Esperar buenas propiedades de impacto cuando se seleccionan electrodos que no requieren ensayos de impacto (E70T-4; E70T-7).

Observando la Figura 7 vemos que el último dígito en la clasificación es sin duda el de mayor importancia en la performance del electrodo esto plantea algunas preguntas:

Si el electrodo es diseñado para usar con CO₂ puro. ¿Puede utilizarse con mezclas ricas en Ar o sin gas de protección?

Con CO₂ puro se necesitan más elementos desoxidantes para compensar la pérdida en el arco. El uso de gases inertes hace que disminuya el consumo de desoxidantes, por lo que los mismos se depositan como aleantes en el metal de soldadura, incrementando la dureza, resistencia y disminuyendo la ductilidad. Los electrodos diseñados para procesos autoprottegidos constan de elementos en el núcleo que previenen o controlan la formación de porosidad y otros problemas potenciales en la soldadura.

Si el electrodo es diseñado tanto para simple como múltiples pasadas o es limitado para simple pasada?

El electrodo diseñado para pasada simple contiene más aleantes, tales como Mn, Si y/o Ti para FCAW con protección gaseosa y Al para autoprottegido. Estos elementos ayudan a limpiar alguna escoria, óxido y otras impurezas desde el metal base. Sin embargo, el hecho que la primera pasada elimina mucha de estas impurezas, hace que si los electrodos se utilizan en pasadas múltiples estos elementos pueden también actuar como aleantes y fragilizar la soldadura.

Si el electrodo es diseñado para corriente continua con electrodo positivo (DCEP) o con electrodo negativo (DCEN)?.

Si el electrodo requiere tener una composición química establecida, o aprobar un adecuado test radiográfico?.

Si el electrodo requiere lograr determinadas propiedades de impacto con las variables de soldadura preestablecidas?.

Esto es a que temperatura puede lograr un promedio de tenacidad a la fractura Charpy-V de 27 J(20lb-ft).

En general en este caso el proveedor de consumible agrega una letra J (por ejemplo E71T-12MJ) con lo cuál indica que el electrodo tiene tenacidad a la fractura a -40°C.

Hasta 1995 se disponían solo dos tipos de electrodos para múltiples pasadas y protección gaseosa el T-1 y T-5. Los T-1 son mas deseados por los soldadores y tienen mejor desprendimiento de escoria, pero el T-5 provee mejor tenacidad a la fractura. Para soldaduras de aceros al carbono la nueva clasificación T-9 y T-12 tiene ambas ventajas. Si bien T-9 y T-12 son bastantes similares puede aclararse que solo el T-12 cumple los requisitos de límites de Mn establecidos para buenos depósitos en la Sección IX del Código *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*.

Dos nuevas clasificaciones se han incorporado para depósitos en pasadas simples utilizando electrodos autoprotegidos. T-13 diseñado para pasadas de raíz en toda posición en juntas de cañerías a tope y el electrodo T-14 diseñado para láminas de metal tal como juntas superpuestas o a tope de materiales aluminizados, galvanizados o revestidos con espesores no mayores de 5mm y 6 mm respectivamente.

Una denominación adicional consistente en la letra “J” se utiliza cuando el equipamiento o las estructuras deben operar a bajas temperaturas donde un mínimo de tenacidad a la fractura es requerido para prevenir la fractura frágil.

La letra H se adiciona en electrodos que producen depósitos de soldaduras con menores niveles de hidrógeno difusible. Esto es importante cuando hay riesgo de fisuración inducida por hidrógeno, generalmente no hay problemas en la soldadura de aceros de bajo carbono (<0,30%C), sin embargo algunos problemas aparecen cuando se seleccionan aceros HSLA, o de mayor porcentaje de carbono o aceros de bajo carbono con mayor restricción.

13. REFERENCIAS:

- ◆ Welding Handbook- Vm Vm 2 - AWS.

- ◆ Metals Handbook- Vm 6 - X Ed.
- ◆ Harry W. Ebert. Advanced in Flux Cored electrodes reflected in new classifications. Welding journal. Vm 77- N°2. Pp53-55.
- ◆ Amata M. and Fiore S.. Choosing the proper self-Shielded FCAW wire. Welding Journal. Vm 75 (6): 33-39, 1996.
- ◆ AWS A5.20-95. Specification for carbon steel electrodes for FCAW.
- ◆ AWS A5.29-80 Specification for low alloy steel electrodes for FCAW.
- ◆ French I.E. and Bosworth A comparasion of pulsed and conventional welding with basic flux cored and metal cored welding wires. Welding Journal, 74(6): 197s-205s, 1995.
- ◆ S. E. Ferree. "New generation of Cored wires creates less fume and spatter". Welding Journals Vm 74 (12): 45-49, 1995
- ◆ Wang, M; Liu S: and Jones J.E.- FCAW: Arc signals, processing and metal transfer characterization. Welding Journal, 74(11): 369s-377s, 1995.
- ◆ French I.E. and Bosworth M.R. Special basic flux cored wire for all-position pulsed welding. Welding Journal, 76(3): 120s-124s, 1997.
- ◆ H.W. Lee, S.W. Kang and D.S. Um. A study on transverse weld cracks in thick steel plate with the FCAW process. Welding Journal, 77(12): 503s-510s, 1998.

14. TABLAS

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

Tabla 1: Elementos comunes en el núcleo de los electrodos:

Elemento	Usualmente presente como:	Propósito en la soldadura
Aluminio	Polvo metálico	desoxidante y desnitricaste
Calcio	Mineral como fluospar(CaF ₂) y limestone (CaCO ₃)	Provee protección y escoria
Carbón	En ferroaleaciones como ferromanganeso	Incrementa la dureza y resistencia
Cromo	Ferroaleaciones o polvo metálico	Mejora la resistencia al creep, dureza, resistencia mecánica y a la corrosión
Hierro	Ferroaleaciones o polvo metálico	Para aleaciones base hierro, base Níquel y otros depósitos no ferrosos. Actúa sobre la matriz.
Manganes o	Ferroaleaciones tales como ferromanganeso o como polvos metálicos	Desoxidante: forma MnS, incrementa la dureza y resistencia. Forma escoria.
Molibdeno	Ferroaleaciones	Incrementa la dureza en inoxidable austenítico, mejora la resistencia a la corrosión por picado.
Níquel	Polvometálico	Mejora la dureza, resistencia, tenacidad y resistencia a la corrosión.
Potasio	Desde minerales y sales como feldespatos y silicatos	Estabiliza el arco, forma escoria.
Silicio	Desde ferroaleaciones o minerales (feldespatos)	Desoxidante, forma escoria
Sodio	Minerales como feldespatos y silicatos	Estabiliza el arco y forma escoria
Titanio	Ferroaleaciones tales como ferrotitanio, en minerales, rutilo	Desoxidante y desnitricante, forma escoria, estabiliza el carbón en inoxidable.
Zirconio	Oxido o polvo metálico	Desoxidante- desnitricante. Forma escoria
Vanadio	Oxido o polvo metálico	Incrementa la resistencia

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

Tabla 1(cont.): Resumen del efecto de los elementos contenidos en el núcleo de los electrodos:

Ingredientes del núcleo	formadores de gas	desoxidante	desnitrificante	formadores de escoria	control de la viscosidad	estabiliza el arco	aleantes
Rutilo (TiO ₂)				X	X		
Fluorspar (CaF ₂)				X	X		
Lime (CaC ₃)	X			X		X	
Feldpar				X		X	
frit sinteticas				X	X	X	
Manganeso		X					X
Silicio		X					X
Titanio		X	X				
Aluminio		X	X				
Cromo, Níquel Molibdeno							X

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

Tabla 2:Requerimientos de protección y polaridad de los FCAW electrodos:

Clasificación AWS	Simple o múltiples pasadas(a)	Medio externo de protección	tipo de transferencia	requerimientos de tenacidad	Corriente y polaridad	Características especiales
EXXT- 1,1M	múltiple	CO ₂	spray	27J a -40°C	DCEP	Bajo salpicado, cobertura completa con escoria
EXXT-2,2M	simple	CO ₂	spray	(b)	DCEP	Bajo salpicado, cobertura completa con escoria, alta desoxidación
EXXT- 3	simple	ninguno	spray	(b)	DCEP	Alta velocidad
EXXT- 4	múltiple	ninguno	globular	(b)	DCEP	Alta deposición, baja penetración, resistente a fisuras
EXXT- 5,5M	múltiple	CO ₂	globular	27J a -40°C	DCEP ^(c)	Mejora la tenacidad, resistente a fisuras, fina escoria.
EXXT- 6	múltiple	ninguno	spray	27J a -40°C	DCEP	Mejora la tenacidad, profunda penetración.
EXXT- 7	múltiple	ninguno	spray	(b)	DCEN	Resistente a fisuras, buena remoción de escorias.
EXXT- 8	múltiple	ninguno	spray	27J a -40°C	DCEN	Mejora la tenacidad, resistente a fisuras.
EXXT-9,9M	múltiple	CO ₂	spray	27J a -40°C	DCEP	Buenas propiedades de impacto
EXXT- 10	simple	ninguno	globular	(b)	DCEN	Alta velocidad
EXXT- 11	múltiple	ninguno	spray	(b)	DCEN	Propósitos generales
EXXT- 12,12M	múltiple	CO ₂	spray	27J a -40°C	DCEP	Mejora la tenacidad, resistente a fisuras, fina escoria.
EXXT- 13	simple	ninguno	cortocircuito	(b)	DCEN	Pasada de raíz en cañerías
EXXT- 14	simple	ninguno	spray	(b)	DCEN	
EXXT- G	múltiple	*	no especificado	(b)	*	No especificado
EXXT- GS	simple	*	no especificado	(b)	*	no especificado

* Acuerdo entre suministros y usuario

(a): pasadas múltiples se adecuan para pasadas simples.

(b) sin requerimientos.

© Los electrodos T5 se clasifican utilizando DCEP, sin embargo a veces suelen utilizarse con DCEN

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

Tabla 3: Requisitos de composición química para el metal de soldadura según la Norma AWS A5.20-75

AWS Classification	UNS Number ^c	Weight Percent ^{a,b}										
		Carbon	Manganese	Silicon	Sulfur	Phosphorus	Chromium ^d	Nickel ^d	Molybdenum ^d	Vanadium ^d	Aluminum ^{d,e}	Copper ^d
E7XT-1 } E7XT-1M }	W07601											
E7XT-5 } E7XT-5M }	W07605	0.18	1.75	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	—	0.35
E7XT-9 } E7XT-9M }	W07609											
E7XT-4	W07604											
E7XT-6	W07606											
E7XT-7	W07607	(f)	1.75	0.60	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	1.8	0.35
E7XT-8	W07608											
E7XT-11	W07611											
EXXT-G ^g	—	(f)	1.75	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	1.8	0.35
E7XT-12 } E7XT-12M }	W07612	0.15	1.60	0.90	0.03	0.03	0.20	0.50	0.30	0.08	—	0.35
E6XT-13	W06613											
E7XT-2 } E7XT-2M }	W07602											
E7XT-3	W07603											
E7XT-10	W07610	Not Specified ^h										
E7XT-13	W07613											
E7XT-14	W07614											
EXXT-GS	—											

Notes:

- a. The weld metal shall be analyzed for the specific elements for which values are shown in this table.
- b. Single values are maximums.
- c. SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- d. The analysis of these elements shall be reported only if intentionally added.
- e. Applicable to self-shielded electrodes. Electrodes intended for use with gas shielding need not have significant additions of aluminum.
- f. The limit of this element is not specified, but the amount shall be determined and reported (see A6.5 in the Annex).
- g. The total of all elements listed in this table shall not exceed 5 percent.
- h. The composition of weld metal is not meaningful since electrodes of these classifications are intended only for single pass welds. Dilution from the base metal in such welds usually is quite high (see A7.2 in the Annex).

**SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –**

Tabla 4: Requisitos de propiedades mecánicas para el metal de soldadura (como soldado) según la Norma AWS A5.20-75

AWS Classification	Tensile Strength		Yield Strength ^b		Percent Elongation ^c	Charpy V-Notch Impact Energy ^d
	ksi	MPa	ksi	MPa		
E7XT-1, -1M ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at 0°F (27 J at -18°C)
E7XT-2, -2M ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-3 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-4	70	480	58	400	22	Not Specified
E7XT-5, -5M ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-6 ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-7	70	480	58	400	22	Not Specified
E7XT-8 ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-9, -9M ^d	70	480	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E7XT-10 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-11	70	480	58	400	20	Not Specified
E7XT-12, -12M ^d	70 to 90	480 to 620	58	400	22	20 ft·lbf at -20°F (27 J at -29°C)
E6XT-13 ^e	60	415	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-13 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-14 ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E6XT-G	60	415	48	330	22	Not Specified
E7XT-G	70	480	58	400	22	Not Specified
E6XT-GS ^e	60	415	Not Specified		Not Specified	Not Specified
E7XT-GS ^e	70	480	Not Specified		Not Specified	Not Specified

Notes:

a. Single values are minimums.

b. 0.2% offset.

c. In 2 in. (50 mm) gage length (see Section 11). In 1 in. (25 mm) gage length for 0.045 in. (1.1 mm) and smaller sizes of EXXT-11 classification.

d. Electrodes with the following optional supplemental designations shall meet the lower temperature impact requirements specified below:

AWS Classification	Electrode Designation	Charpy V-Notch Impact Requirements
E7XT-1, -1M	E7XT-1J, -1MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-5, -5M	E7XT-5J, -5MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-6	E7XT-6J	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-8	E7XT-8J	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-9, -9M	E7XT-9J, -9MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)
E7XT-12, -12M	E7XT-12J, -12MJ	20 ft·lbf at -40°F (27 J at -40°C)

e. These classifications are intended for single pass welding. They are not for multiple pass welding. Only tensile strength is specified and, for this reason, only transverse tension and longitudinal guided bend tests are required (see Table 3).

Tabla 5: Requisitos de composición química para el metal de soldadura según la Norma AWS A5.29-80

**SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –**

Clasificación AWS	Rango de tensión de rotura		Tensión de Fluencia, 0,2%, mín		Porcentaje de elongación, en 2" (50mm), mín.
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E6XTX-X	60 to 80	410 to 550	50	340	22
E7XTX-X	70 to 90	490 to 620	58	400	20
E8XTX-X	80 to 100	550 to 690	68	470	19
E9XTX-X	90 to 110	620 to 760	78	540	17
E10XT-X	100 to 120	690 to 830	88	610	16
E11XT-X	110 to 130	760 to 900	98	680	15
E12XT-X	120 to 140	830 to 970	108	750	14
EXXTX-G	Propiedades, son acordadas entre las partes				

Nota: a) Los gases de protección pueden modificar las propiedades.

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) -

Tabla 7: Requisitos de impacto, según la Norma AWS A5.29-80

Clasificación	Condición 1	Resistencia al impacto
E80T1-A1	PWHT	Not required
E81T1-A1	PWHT	Not required
E70T5-A1	PWHT	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E81T1-B1	PWHT	Not required
E81T1-B2	PWHT	Not required
E80T1-B2	PWHT	Not required
E80T5-B2	PWHT	Not required
E80T1-B2H	PWHT	Not required
E80T5-B2L	PWHT	Not required
E90T1-B3	PWHT	Not required
E91T1-B3	PWHT	Not required
E90T5-B3	PWHT	Not required
E100T1-B3	PWHT	Not required
E90T1-B3L	PWHT	Not required
E90T1-B3H	PWHT	Not required
E71T8-Ni1	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E80T1-Ni1	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E81T1-Ni1	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E80T5-Ni1	PWHT	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E71T8-Ni2	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E80T1-Ni2	AW	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E81T1-Ni2	AW	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E80T5-Ni2 ^b	PWHT	20 ft · lb @ -75° F (27 J @ -60° C)
E90T1-Ni2	AW	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E91T1-Ni2	AW	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E80T5-Ni3 ^b	PWHT	20 ft · lb @ -100° F (27 J @ -73° C)
E90T5-Ni3 ^b	PWHT	20 ft · lb @ -100° F (27 J @ -73° C)
E91T1-D1	AW	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E90T5-D2	PWHT	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E100T5-D2	PWHT	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E90T1-D3	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E80T5-K1	AW	20 ft · lb @ -40° F (27 J @ -40° C)
E70T4-K2	AW	20 ft · lb @ 0° F (27 J @ -18° C)
E71T8-K2	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E80T1-K2	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E90T1-K2	AW	20 ft · lb @ 0° F (27 J @ -18° C)
E91T1-K2	AW	20 ft · lb @ 0° F (27 J @ -18° C)
E80T5-K2	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E90T5-K2	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E100T1-K3	AW	20 ft · lb @ 0° F (27 J @ -18° C)
E110T1-K3	AW	20 ft · lb @ 0° F (27 J @ -18° C)
E100T5-K3	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E110T5-K3	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E110T5-K4	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E111T1-K4	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E120T5-K4	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E120T1-K5	AW	No requerido
E61T8-K6	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E71T8-K6	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
E101T1-K7	AW	20 ft · lb @ -60° F (27 J @ -51° C)
E80T1-W	AW	20 ft · lb @ -20° F (27 J @ -30° C)
EXXXTX-G		

Las propiedades surgen de un arreglo entre partes

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) -

Tabla 8: Diseños de junta recomendados por AWS para la soldadura FCAW-G para electrodos de aceros al carbono y baja aleación (EXXT-1)

Joint	Thickness, T		Root Opening, R		Total	Electrode Diameter		Welding Power, dcrp (ep)		Wire Feed Speed		Electrode Extension		m/s
	Joint Design	in.	mm	in.		mm	in.	mm	A	V(P) ^a	in./min	mm/s	in.	
Flat position groove welds (semiautomatic)														
	0.14	3.4	5/32	4	1	3/32 ^c	2.4	300	29 ⁺	150	65	2-3/4	70	116
	3/8	10	3/8	10	2	1/8 ^c	3.2	500	33 ⁺	200	85	2-3/4	70	80
	1/2	13	3/8	10	3	1/8 ^c	3.2	500	32 ⁺	200	85	2-3/4	70	95
	1	25	3/8	10	6	1/8 ^c	3.2	550	36 ⁺	300	125	3-3/4	95	95
	1/2	13	3/32	2	2	3/32 ^c	2.4	350	29 ⁺	190	80	2-3/4	70	95
	3	76	3/32	2	26	1/8 ^c	3.2	550	36 ⁺	300	125	3-3/4	95	95
	3/8	10	3/8	10	2	1/8 ^c	3.2	500	32 ⁺	200	85	2-3/4	70	80
	1-1/4	32	3/8	10	7	1/8 ^c	3.2	550	36 ⁺	300	125	3-3/4	95	80
Vertical position groove welds (semiautomatic)														
	0.105	2.7	1/8	3	1	5/64 ^d	2.0	250	20 ⁻	110	55	1	25	80
	1/4	6	7/32	5	3	5/64 ^d	2.0	350	25 ⁻	230	100	1	25	80
	5/16	8	3/32	2	1	1/16 ^d	1.6	150	18 ⁻	90	40	1	25	75
	1	25	3/32	2	1	1/16 ^d	1.6	195	21 ⁻	120	50	1	25	75
	3/8	10	3/16	5	2	1/16 ^d	1.6	170	19 ⁻	105	45	1	25	75
	1	25	3/16	5	6	5/64 ^d	2.0	190	19 ⁻	110	45	1	25	75
	3/8	10	1/4	6	1	1/16 ^d	1.6	170	19 ⁻	105	45	1	25	70
	1-1/2	38	1/4	6	4	5/64 ^d	2.0	190	19 ⁻	110	45	1	25	70
	1/2	13	1/4	6	1	3/32	2.4	30	450	195				83
														83

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

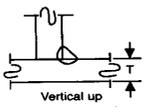
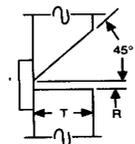
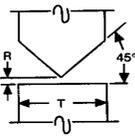
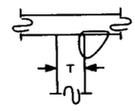
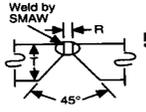
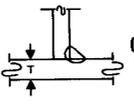
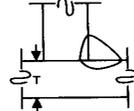
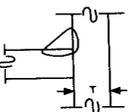
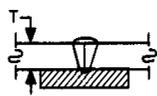
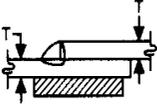
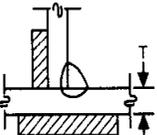
Joint Design	Plate Thickness, T		Root Opening		Total Passes	Electrode Diameter		Welding Power, dc		Wire Feed Speed		Electrode Extension	
	in.	mm	in.	mm		in.	mm	A	V(P) ^a	in./min	mm/s	in.	mm
 Vertical up	1/4	6	0	0	Vertical position fillet weld (semiautomatic)								
	5/8	16	0	0	1	1/16 ^d	1.6	130	18	80	35	1	25
	1-1/2	38	0	0	4	1/16 ^d	1.6	185	21	108	45	1	25
 45°	5/16	8	3/16	5	Horizontal position groove welds (semiautomatic)								
	1-1/4	32	3/16	5	3	3/32 ^c	2.4	300	28 ⁺	150	65	2-3/4	70
 45°	3/4	19	3/32	2	Horizontal position groove welds (semiautomatic)								
	1-1/2	38	3/32	2	6	3/32 ^c	2.4	300	28 ⁺	140	60	2-3/4	70
	0.105	2.7	0	0	Overhead position groove and fillet welds (semiautomatic)								
	3/4	19	0	0	1	1/16 ^d	1.6	150	18 ⁻	100	40	1	25
 Weld by SMAW	5/16	8	1/16	1.6	Horizontal position groove and fillet welds (semiautomatic)								
	1	25	1/16	1.6	2	1/16 ^d	1.6	150	18 ⁻	90	40	1	25
	0.105	2.7	0	0	Horizontal position fillet welds (semiautomatic)								
	3/16	5	0	0	1	5/64 ^d	2.0	235	20 ⁻	105	45	1	25
	1/4	6	0	0	Horizontal position fillet welds (semiautomatic)								
	1	25	0	0	5	3/32 ^c	2.4	325	29 ⁺	150	65	1	25
	5/16	8	0	0	Flat position welds (semiautomatic)								
	1	25	0	0	1	3/32 ^c	2.4	350	30 ⁺	190	80	2-3/4	70
					4	1/8 ^c	3.2	580	27 ⁺	330	140	3-3/4	95

Tabla 9 (cont): Diseños de junta recomendados por AWS para la soldadura FCAW-S para electrodos de aceros al carbono y baja aleación.

SOLDADURA POR ARCO CON NUCLEO FUNDENTE
FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) –

Tabla 9 (cont.)

Joint Design	Plate Thickness, T		Root Opening		Total Passes	Electrode Diameter		Welding Power, dc		Wire Feed Speed		Electrode Extension	
	in.	mm	in.	mm		in.	mm	A	V(P) ^a	in./min	mm/s	in.	mm
	Flat position groove welds (automatic)												
	0.05	1.2	0	0	1	3/32 ^c	2.4	425	26 ⁺	160	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^c	4.0	950	27 ⁺	150	65	1-1/4	32
	Horizontal position fillet welds (automatic)												
	0.05	1.2	0	0	1	3/32 ^c	2.4	475	26 ⁺	170	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^c	4.0	900	26 ⁺	140	60	1-1/4	32
	0.06	1.5	0	0	1	3/32 ^c	2.4	425	26 ⁺	160	70	1	25
	3/16	5	0	0	1	5/32 ^c	4.0	875	27 ⁺	130	55	1-1/4	32

- a. (p)—Polarity: + electrode positive; - electrode negative
- b. Production rate at 100 percent operator factor
- c. E70T-4 electrode

- d. E60T-7 electrode
- e. E70T-G electrode

Tabla 10: posibles causales de falla y algunas soluciones

Problema	causa posible	Solución
Porosidad	Bajo flujo de gas Alto flujo de gas Excesivo viento Gas contaminado Metal base contaminado Metal de aporte contaminado Insuficiente flux en el núcleo Voltaje excesivo Excesivo stick-out del electrodo Insuficiente stick-out del electrodo (para autoprotegidos)	
Incompleta fusión o penetración	Excesiva velocidad de trabajo Inadecuada manipulación Parámetros inadecuados	Incrementar la corriente Reducir la velocidad de trabajo Disminuir stick-out Disminuir el diámetro del alambre Incrementar la velocidad de trabajo (para autoprotegidos)
Fisuración	Impropio diseño de junta. Excesiva restricción de la junta Inadecuado electrodo Insuficientes desoxidantes o inconsistentes flux en el núcleo.	
Alimentación del electrodo	Excesivo desgaste de la punta de contacto Fusión de la punta de contacto Humedad en los alambres de conducción	

INDICE

- 1. RESUMEN 1**
- 2. INTRODUCCION: 2**
- 3. HISTORIA 2**
- 4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS: 3**
- 5. EQUIPAMIENTO 6**
- 6. MATERIALES: 8**
 - 6.1 GASES DE PROTECCION 8*
 - 6.1.1 Dióxido de carbono 8
 - 6.1.2 Mezclas de gases: 9
 - 6.2 METALES BASES SOLDABLES: 10*
 - 6.3 ELECTRODOS: 10*
 - 6.3.1 CLASIFICACION DE LOS ELECTRODOS: 13
 - 6.3.2 ELECTRODOS PARA ACEROS DE BAJA ALEACION: 18
- 7. CONTROL DEL PROCESO: 20**
 - 7.1 CORRIENTE DE SOLDADURA: 20*
 - 7.2 Tensión del arco: 21*
 - 7.3 Extensión del electrodo: 21*
 - 7.4 Velocidad de trabajo: 22*
 - 7.5 Flujo de gas: 23*
 - 7.6 Velocidad de deposición y eficiencia: 23*
 - 7.7 Angulo del electrodo: 23*
 - 7.8 Diseños de juntas: 24*
- 8. CALIDAD DE LA SOLDADURA 25**
- 9. GENERACION DE HUMOS 25**
- 10. VENTAJAS DEL PROCESO FCAW 26**
- 11. LIMITACIONES DEL PROCESO FCAW 26**
- 12. ACLARACIONES CON RELACIÓN A LOS ELECTRODOS: 27**
- 13. REFERENCIAS: 28**
- 14. TABLAS 30**

