

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**PROCEDIMIENTO PARA UNIÓN DE DOWNCONERS A
TOPE DE CALDERA POR MEDIO DEL PROCESO
GTAW – SMAW**

POR

**INGENIERO MECÁNICO
HERSON UZIEL GIRÓN NORIEGA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga.	Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga.	Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing.	Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br.	Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br.	Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga.	Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Ing.	Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR:	Ing.	José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR:	Ing.	Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA:	Inga.	Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROCEDIMIENTO PARA UNIÓN DE DOWNCONERS A
TOPE DE CALDERA POR MEDIO DEL PROCESO
GTAW – SMAW**

tema que me fuera asignado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha de 26 de septiembre de 2006.

Ing. Herson Uziel Giròn Noriega

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
ÍNDICE DE CUADROS	IV
RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	VII
OBJETIVOS	VIII
JUSTIFICACIÓN	IX
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.3. ALCANCE DEL TRABAJO	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. PREPARACIÓN DE PARTES A UNIR	3
2.1.1. BISELES	3
2.1.2. ALINEACIÓN	3
2.1.3. AJUSTE DE LA LUZ ENTRE PEGAS	3
2.1.4. LIMPIEZA	3
2.2. PROCESO DE SOLDADURA GTAW	4
2.2.1. LA SOLDADURA TIG	4
2.2.2. OPERACIÓN	5
2.2.3. SEGURIDAD	6
2.2.4. USOS	6
2.2.5. CALIDAD	7
2.2.6. EQUIPO	8
2.2.6.1. ANTORCHA DE SOLDADURA	9
2.2.6.2. ELECTRODO	10
2.2.6.3. GAS PROTECTOR	12
2.3. PROCESO SMAW	14
2.3.1. PRINCIPIOS DEL PROCESO	14
2.3.2. ELECTRODOS	15
2.3.2.1. FABRICACIÓN	15
2.3.2.1.1 FABRICACIÓN DE LA VARILLA	15
2.3.2.1.2. FABRICACIÓN DEL REVESTIMIENTO	16
2.3.3. REVESTIMIENTOS	17
2.3.3.1. COMPOSICIÓN DEL REVESTIMIENTO	17
2.3.4. FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO	18
2.3.4.1. ELÉCTRICA	18
2.3.4.2. FÍSICA	19
2.3.4.3. METALÚRGICA	20
2.3.5. ESPECIFICACIONES	20
2.3.5.1. ELECTRODOS DE ACERO AL CARBONO	21
2.3.5.2. ELECTRODOS DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN	21
2.3.5.3. ELECTRODOS DE ACEROS INOXIDABLES	22

2.3.6. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS	22
2.3.6.1. ELECTRODOS ÁCIDOS	22
2.3.6.1.1. CARACTERISTICAS ESPECÍFICAS	22
2.3.6.1.2. ESCORIAS	23
2.3.6.1.3. METAL DEPOSITADO	23
2.3.6.1.4. PARÁMETROS DE USO	24
2.3.6.2. ELECTRODOS CELULÓSICOS	25
2.3.6.2.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	25
2.3.6.2.2. ESCORIA	25
2.3.6.2.3. METAL DEPOSITADO	26
2.3.6.3. ELECTRODOS DE RUTILIO	27
2.3.6.3.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	27
2.3.6.3.2. ESCORIAS	28
2.3.6.3.3. METAL DEPOSITADO	28
2.3.6.4. ELECTRODOS BÁSICOS	29
2.3.6.4.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	30
2.3.6.4.2. ESCORIAS	30
2.3.6.4.3. METAL DEPOSITADO	31
2.3.6.5. ELECTRODOS DE GRAN RENDIMIENTO	33
2.3.6.5.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	33
2.3.6.5.2. APLICACIONES	34
2.3.6. SELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE	34
2.3.7. APLICACIONES	36
2.5 SOPLO MAGNÉTICO	36
2.4 DEFORMACIÓN POR SOLDADURA	43
2.4.1. CAUSAS POR LAS CUALES SURGEN LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DURANTE LA SOLDADURA	43
2.4.2. CAMBIOS ESTRUCTURALES DEL METAL DEPOSITADO	44
2.4.3. EL RECOCIDO PARA ATENUAR LAS TENSIONES	44
2.5. ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	45
3. INVESTIGACIÓN PROPUESTA	47
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO	47
3.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE	47
3.3. RESULTADOS	51
3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1. ESQUEMA DE SOLDADURA GTAW	5
2. ANTORCHA GTAW CON VARIOS ELECTRODOS, TAZAS, COLLARES Y DIFUSORES DE GASES	8
3. ANTORCHA GTAW DESMONTADA	8
4. DISPOSICIÓN DEL SISTEMA GTAW	13
5. ESQUEMA CARACTERISTICO DE UN TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA	45

ÍNDICE DE CUADROS

1. ELECTRODOS PARA SOLDADURA GTAW	11
2. CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS SMAW SEGÚN AWS	20
3. COMPARACIÓN EN EL USO DE CORRIENTE AC Y DC EN EL PROCESO SMAW	35

PROCEDIMIENTO PARA UNIÓN DE DOWNCONERS A TOPE DE CALDERA POR MEDIO DEL PROCESO GTAW – SMAW

RESUMEN

Como downconers son denominados los tubos de caldera que actúan como conexión entre el domo de lodos y los cabezales inferiores a donde llegan a conectarse los tubos que conforman las paredes de agua para una caldera acuatubular.

La configuración y dimensiones de estos tubos esta en relación al tamaño de la caldera, la presión y temperatura a la que esta deberá de trabajar. Por lo general estas piezas vienen para ser ensambladas en campo.

Las calderas acuatubulares generalmente están diseñadas para poder trabajar a presiones y temperaturas elevadas por lo que se hace imprescindible la realización de un trabajo meticuloso para evitar fallas en las mismas. Para poder garantizar que las uniones se realicen de esta manera los fabricantes recurren a los códigos establecidos para la realización de dichos trabajos.

Para este caso en particular los fabricantes hacen referencia a ciertos documentos llamados especificaciones de procedimientos de soldadura, los cuales contienen toda la información necesaria para la realización de la soldadura de dichos elementos.

Estos documentos indican paso a paso cuales son los procedimientos a seguir y la forma de realizarlos, todos estos referidos al código ASME, con lo cual se garantiza que se están siguiendo los procedimientos que son necesarios y adecuados para garantizar un trabajo de la mejor calidad.

En el presente trabajo se da a conocer un caso en el que se realizo la unión de downconers para una caldera acuatubular, la cual tiene capacidad de producir cien toneladas de vapor por hora a una presión de novecientas libras por pulgada cuadrada y una temperatura de novecientos grados Fahrenheit.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo presenta el caso de la unión de downconers por medio de soldadura utilizando los procesos GTAW y SMAW para una caldera acuatubular.

En el primer capítulo se hace referencia a las características de la caldera entre ellas la producción de vapor, la presión de trabajo y la temperatura de trabajo, además se da una descripción de los trabajos previos necesarios para realizar la unión y el por que de los mismos, se encuentra también la descripción de cada uno de los procesos de soldadura involucrados para este caso el sistema GTAW y el SMAW.

Entre los puntos a los que se hace referencia están: los componentes de los equipos, las clases de electrodos, los revestimientos de los electrodos, los gases a usar en este caso para el sistema GTAW, el tipo de corriente, las aplicaciones de cada uno de los procesos, las causas por las cuales surgen las deformaciones y las tensiones en las soldaduras, la forma de atenuar los esfuerzos residuales, la definición de que son las especificaciones de procesos de soldadura.

En el segundo capítulo se presenta la caracterización del sitio en donde se realizó el trabajo, la información que se tuvo disponible y los resultados obtenidos .

Para finalizar se presentan las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía.

OBJETIVOS

GENERAL

Seguir los procedimientos para el ensamblaje de los downconers de una caldera HPB acuatubular

ESPECIFICOS

1. Identificar los procedimientos mas adecuados para la preparación de las soldaduras, biseles, talón, luz entre las pegas
2. Identificar el procedimiento para realización de la soldadura
3. Entender la ventaja de utilizar un sistema estandarizado

JUSTIFICACIÓN

En la construcción de calderas una de las etapas mas criticas en la unión de la tubería de alta presión, esto debido a las condiciones con las cuales deberá de trabajar entre las que podemos mencionar: temperatura elevada, flujo de vapor a velocidades muy altas, y grandes presiones internas; todo esto provoca que dicha tubería en operación represente un alto riesgo ya que si llegara a fallar produciría una explosión ocasionando perdidas económicas cuantiosas con gran riesgo para las personas que pudieran estar operando la misma.

El seguir los procedimientos especificados por los códigos no debe verse como algo tedioso y caro, al contrario debe verse como algo necesario para poder garantizar la calidad del trabajo realizado, además de que estos sirven como registros de la forma en que se llevo a cabo el trabajo.

Por lo anteriormente mencionado el proceso para la construcción de estas tuberías debe de ser efectuado con todas las normas especificadas por los códigos correspondientes y siguiendo los procesos establecidos por el fabricante.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 GENERALIDADES

Las calderas son dispositivos muy utilizados en toda la industria, estas deben de armarse tomando en cuenta todas las medidas de seguridad debido a las presiones y temperaturas con las que trabajan siendo en si un gran peligro si llega a estallar.

La mayoría de las partes de las que están formadas son unidas por medio de soldadura por lo que el procedimiento debe ser realizado siguiendo los códigos y normas establecidos para dicho fin.

En el presente trabajo se hace mención a la unión de los downconers de una caldera tipo HPB, todo esto de acuerdo a las especificaciones de proceso de soldadura los cuales cumplen con todas las especificaciones requeridas por los códigos existentes para dicho fin.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a las presiones y cargas cíclicas a las que están sometidas las tuberías en una caldera acuatubular se hace necesario que la soldadura en las mismas sea de la mejor calidad posible y siguiendo procedimientos especificados por el fabricante con el mayor de los cuidados para obtener la calidad que se necesita en dichos procesos.

1.3 ALCANCE DEL TRABAJO

El trabajo se centrara en los procedimientos para efectuar la unión de los downconers para una caldera acuatubular tipo HPB de las siguientes características:

- Producción de vapor de 100Tons/hr
- Presión de trabajo de 64 kgf/cm²

- Temperatura de trabajo de 915 °F

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PREPARACION DE PARTES A UNIR

Al decir preparación nos referimos a los trabajos previos realizados sobre las piezas a unir, aquí nos referimos a los trabajos de conformado de los biseles, limpieza, alineación, ajuste de la luz entre pegas.

2.1.1. Biseles: llamamos bisel al trabajo de esmerilar la parte de la pieza a soldar de tal modo que pueda tenerse acceso a ella para depositar el material de aporte en toda la sección transversal de la misma.

2.1.2. ALINEACIÓN: esta es la operación consistente en colocar en un mismo plano las caras de las piezas en donde se aplicara la soldadura, la alineación cobra importancia ya que un tubo mal alineado puede dar una lectura falsa en el momento de ser radiografiado, por lo general falta de penetración

2.1.3. AJUSTE DE LA LUZ ENTRE PEGAS: esta es de vital importancia para asegurarnos que el depósito de material de aporte penetre un 100%, también es necesario para poder ejecutar algunas soldaduras en las que el operario no tiene acceso a la parte posterior.

2.1.4. LIMPIEZA: este punto es de vital importancia para lograr una soldadura de calidad libre de poros y de inclusiones, debe de tratarse de eliminar cualquier rastro de aceite, grasa, oxido etc. después de haber biselado si la soldadura no se realizara de inmediato es recomendable proteger el área con la aplicación de un barniz protector para evitar la oxidación.

2.2. PROCESO DE SOLDADURA GTAW

2.2.1. LA SOLDADURA TIG

(Tungsten Inert Gas), se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos.

La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica notablemente el soldeo de metales no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja de la soldadura por arco con protección gaseosa es la que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen aspecto superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías y el encarecimiento que supone.

Además, este método de soldadura requiere una mano de obra muy especializada, lo que también aumenta los costes. Por tanto, no es uno de los métodos más utilizados sino que se reserva para uniones con necesidades especiales de acabado superficial y precisión.

2.2.2. OPERACIÓN

La GTAW a menudo se considera el más difícil de todos los procesos de soldadura usados en la industria, ya que el soldador debe mantener una longitud corta del arco y gran cuidado y habilidad para prevenir el contacto entre el electrodo y el objeto. Semejante a otros procesos de la soldadura, la GTAW requiere normalmente el uso de las dos manos, puesto que la mayoría de los usos requieren que el soldador alimente manualmente un metal de relleno en el área de la soldadura con una mano mientras que manipule la antorcha de soldadura en la otra. Sin embargo, puede lograrse también una soldadura sin la utilización de material de aporte en placas de espesor pequeño.

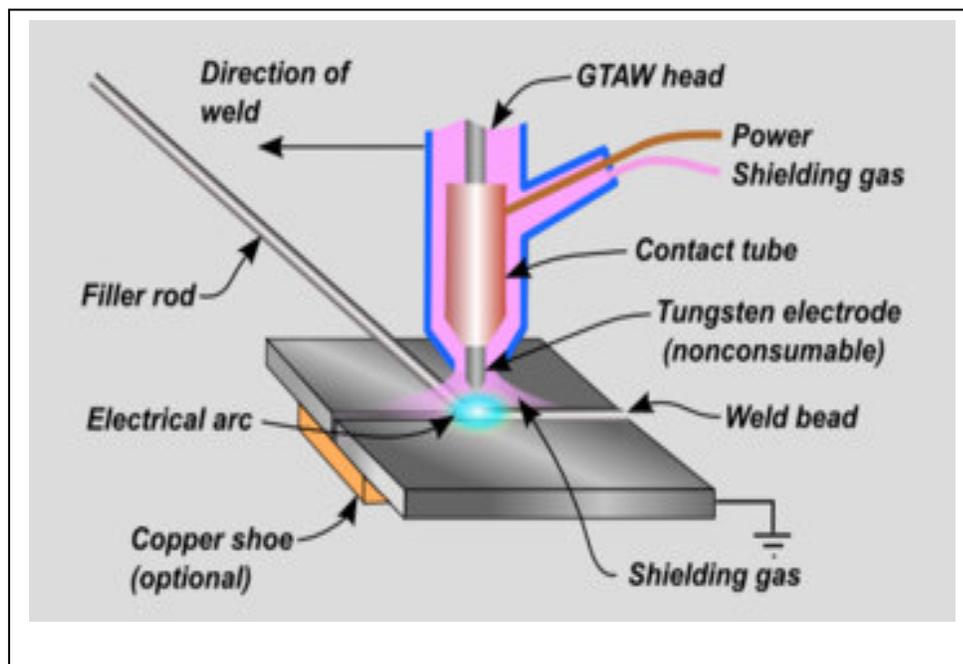


Fig. 1. Esquema de soldadura GTAW
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

2.2.3. SEGURIDAD

Como otros procesos de la soldadura de arco, GTAW puede ser peligrosa si no se toman las precauciones apropiadas. Los soldadores deben usar la ropa protectora, incluyendo guantes de cuero, chaquetas con mangas largas para evitar la exposición al calor extremo y a las llamas. Debido a la ausencia de humo en el proceso GTAW, el arco voltaico puede parecerse más brillante que en SMAW, haciendo a los operadores especialmente susceptibles a las irritaciones de ojos y de piel, vidrios oscuros se usan para prevenir la exposición a la luz ultravioleta, Las mascareras hechas de una película plástica del cloruro de polivinilo, son de uso frecuente y protegen a los trabajadores de la exposición a la luz UV del arco voltaico.

Los soldadores también se exponen a menudo a los gases peligrosos y a la materia de partículas. El uso de gases puede desplazar el oxígeno y conducir a la asfixia, y mientras que no se produce humo, el brillo del arco en GTAW puede descomponer el aire circundante y formar el ozono. La ventilación apropiada es necesaria proteger el soldador.

2.2.4. LOS USOS

Mientras que la industria aeroespacial es uno de los usuarios primarios de la soldadura GTAW, el proceso se utiliza en un sin número de otras áreas. Muchas industrias utilizan GTAW para la soldadura de objetos finos, especialmente metales no ferrosos. Se utiliza extensivamente en la fabricación de los vehículos espaciales, y también se emplea con frecuencia para soldar con autógena en tuberías de diámetros pequeños y pared delgada. Además, GTAW es de uso frecuente para

hacer la raíz o el primer paso en tubería de varios tamaños. En trabajo de mantenimiento y de reparación, el proceso es de uso general para reparar, especialmente los componentes hechos del aluminio y magnesio. Porque las uniones que produce son altamente resistentes a la corrosión y al agrietamiento.

2.2.5. CALIDAD

Entre los procesos de soldadura de arco, GTAW da la más alta calidad producida. La calidad máxima se asegura manteniendo la limpieza todo el equipo y los materiales usados libres de aceite, humedad, suciedad y otras impurezas, pues esta causa porosidad y por lo tanto una disminución de la resistencia y de la calidad de la soldadura. Para quitar el aceite y la grasa, pueden usarse el alcohol o los solventes comerciales similares, mientras que un cepillo de alambre de acero inoxidable o un proceso químico puede quitar los óxidos de las superficies de metales como el aluminio. El moho en los aceros puede ser quitado con un chorro de arena sobre la superficie y después usando un cepillo de alambre para quitar cualquier arena encajada. El flujo del gas que protege la soldadura debe ser suficiente y constante de modo que este cubra la soldadura y bloquee las impurezas de la atmósfera. Cuando se usa la GTAW en ambientes ventosos es necesario aumentar la cantidad de gas necesaria para proteger la soldadura, por lo que aumenta el costo y esto hace impopular el proceso al aire libre.

Si la cantidad de corriente usada excede la capacidad del electrodo, pueden producirse inclusiones del tungsteno en la soldadura. Conocido como expectoración del tungsteno, puede ser identificada con la radiografía y ser prevenida cambiando el tipo de electrodo o aumentando el diámetro del electrodo. Además, si el electrodo no está bien protegido por el protector del gas o el operador permite accidentalmente que entre en contacto con el metal fundido, puede ensuciarse o contaminarse. Esto

hace a menudo el arco de la soldadura llegar a ser inestable, requiriendo ese electrodo se muela con un abrasivo del diamante para quitar la impureza.

2.2.6. EQUIPO



Fig. 2. Antorcha GTAW con varios electrodos, tazas, collares y difusores de gases
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

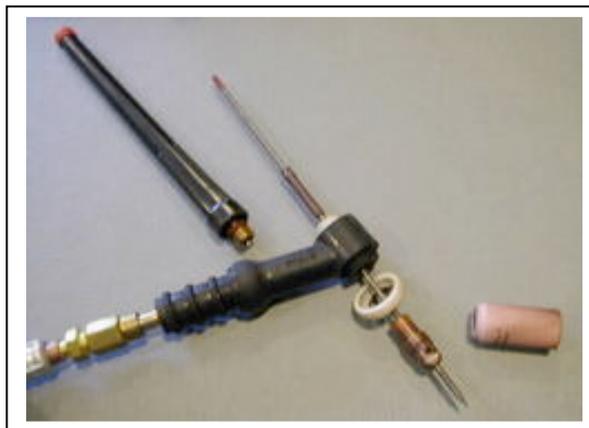


Fig. 3. Antorcha GTAW, desmontada
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

El equipo requerido para la operación de la soldadura del arco de tungsteno del gas incluye una antorcha de soldadura que utiliza un electrodo no consumible de

tungsteno, una fuente de alimentación de corriente directa, y una fuente del gas protector.

2.2.6.1. ANTORCHA DE SOLDADURA

Las antorchas de soldadura de GTAW se diseñan para la operación automática o manual y se equipan de los sistemas de enfriamiento usando el aire o el agua. Las antorchas automáticas y manuales son similares en la construcción, pero la antorcha manual tiene una manija mientras que la antorcha automática viene normalmente con un estante del montaje. El ángulo entre la línea central de la manija y la línea central del electrodo del tungsteno, conocida como el ángulo principal, se puede variar en algunas antorchas manuales según la preferencia del operador. Los sistemas de enfriamiento de aire son los más de uso frecuente para las operaciones de poca intensidad (hasta cerca de 200 A), mientras que el enfriamiento con agua se requiere para la soldadura de gran intensidad (hasta cerca de 600 A). Las antorchas están conectadas con cables con la fuente de alimentación y con mangueras con la fuente del gas protector y así mismo cuando es necesario al abastecimiento de agua.

Las piezas internas de metal de una antorcha se hacen de aleaciones duras de cobre o de latón para transmitir la corriente eficazmente. El electrodo de tungsteno se debe sostener firmemente en el centro de la antorcha con un collar apropiadamente clasificado, alrededor del electrodo se proporciona un flujo constante de gas protector. El cuerpo de la antorcha se hace de plásticos a prueba de calor, que cubren los componentes del metal, proporcionando el aislamiento de calor y de electricidad para proteger al soldador.

El diámetro interior del inyector es normalmente por lo menos tres veces el diámetro del electrodo. El inyector debe ser a prueba de calor y se hace así normalmente de la alúmina o de un material de cerámica, siendo los más comunes los de cuarzo fundido. Los demás dispositivos van montados en el interior inyector, tales como lentes del gas o válvulas para controlar el flujo del gas y los conductores de a corriente y gas.

2.2.6.2. ELECTRODO

El electrodo usado en GTAW se hace de tungsteno puro o de una aleación de este con algún otro material, el tungsteno es usado en estas aplicaciones ya que entre los metales puros es el que tiene una de las mas altas temperaturas de fusión 3422 °C (6192 °F). Consecuentemente, el electrodo no se consume durante la soldadura, aunque una cierta erosión (llamada burn-off) puede ocurrir. El diámetro del electrodo puede variar entre 0.5 milímetros y 6.4 milímetros (0.02-0.25 pulg.), y su longitud puede extenderse a partir de 75 a 610 milímetros (3-24 pulg.).

Un número de aleaciones del tungsteno han sido estandarizadas por el International Organization for Standardization y la sociedad americana de la soldadura en ISO 6848 y AWS A5.12, respectivamente, para el uso en electrodos de GTAW, y se resumen en la tabla adyacente. Los electrodos puros del tungsteno (clasificados como el WP o EWP) son electrodos para fines generales y de bajo costo. El óxido del cerio (o el ceria) como elemento de aleación mejora estabilidad del arco y la facilidad de comenzar mientras que disminuye burn-off. Usar una aleación del óxido del lantano (o del lanthana) tiene un efecto similar. Los electrodos de la aleación del óxido del torio (o thoria) fueron diseñados para los usos de la C.C.

y pueden soportar temperaturas algo más altas mientras que proporcionaban muchas de las ventajas de otras aleaciones. Sin embargo, es algo radiactiva, y como reemplazo, los electrodos con concentraciones más grandes del óxido del lantano pueden ser utilizados. Los electrodos que contienen el óxido del circonio (o el zirconia) aumentan la capacidad actual mientras que mejoran el comienzo y la estabilidad del arco además de aumentar la vida útil del electrodo. Además, los fabricantes del electrodo pueden crear las aleaciones alternativas del tungsteno con las adiciones especificadas del metal, y éstos se señalan con la clasificación EWG bajo sistema de AWS.

Clase de la ISO	Color de la ISO	Clase de AWS	Color de AWS	Aleación
WP	Verde	EWP	Verde	Ninguno
WC20	Gris	EWCe-2	Anaranjado	EI ~2% CeO ₂
WL10	Negro	EWLa-1	Negro	EI ~1% La ₂ O ₃
WL15	Oro	EWLa-1.5	Oro	~1.5% La ₂ O ₃
WL20	Cielo-azul	EWLa-2	Azul	EI ~2% La ₂ O ₃
WT10	Amarillo	EWTh-1	Amarillo	EI ~1% ThO ₂
WT20	Rojo	EWTh-2	Rojo	EI ~2% ThO ₂
WT30	Violeta			EI ~3% ThO ₂

Cuadro 1. Electrodo para soldadura GTAW
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

Los metales de relleno también se utilizan en casi todos los usos de GTAW, la excepción principal es la soldadura de materiales finos. Los metales de relleno están disponibles con diversos diámetros y se hacen de una variedad de materiales. En la

mayoría de los casos, el metal de relleno bajo la forma de barra se agrega a la piscina de la soldadura manualmente, pero algunos usos necesitan una alimentación automática del metal de relleno, el cual se almacena a menudo en los carretes o las bobinas.

2.2.6.3. GAS PROTECTOR

Como con otros procesos de la soldadura tales como la soldadura de arco aquí también es necesario proteger el área de la soldadura contra los gases atmosféricos tales como nitrógeno y oxígeno, que pueden causar defectos de la fusión, porosidad, y la fragilidad del metal de la soldadura si entran en contacto con el electrodo, el arco, o el metal de la soldadura. El gas también transfiere calor del electrodo del tungsteno al metal, y ayuda a comienzo y mantiene un arco estable.

La selección de un gas protector depende de varios factores, incluyendo el tipo de material que es soldado, el diseño del empalme, y el aspecto final deseado de la soldadura. El argón es el gas protector de uso general para GTAW, puesto que ayuda a prevenir los defectos debido a una longitud del arco que varía. Cuando está utilizado con la corriente alterna, el uso del argón da lugar a alta calidad de la autógena y a buen aspecto. Otro gas protector común es el helio, se usa frecuentemente cuando se necesita aumentar la penetración de la soldadura en un empalme, aumentar la velocidad de la soldadura. Una desventaja significativa es la dificultad de iniciar el arco con el gas del helio, y la disminución de la calidad asociada a una longitud del arco que varía.

Las mezclas del Argón-helio también se utilizan con frecuencia en GTAW, puesto que pueden aumentar el control del calor entrado mientras que mantienen las ventajas de usar el argón. Normalmente, las mezclas se hacen con sobre todo helio (a menudo el cerca de 75% o más alto) y un equilibrio del argón. Estas mezclas aumentan la velocidad y la calidad de la soldadura de la CA del aluminio, y también la hacen más fácil pulsar un arco. Otra mezcla del gas protector es la de, argón-hidrógeno, se utiliza en la soldadura mecanizada del acero inoxidable de la galga ligera, pero porque el hidrógeno puede causar porosidad, sus aplicaciones son limitadas. Semejantemente, el nitrógeno se puede agregar a veces al argón para ayudar a estabilizar la austenita en los aceros inoxidables austeníticos y aumenta la penetración al soldar con autógena el cobre. Debido a los problemas de la porosidad en aceros ferríticos sus ventajas son limitadas.

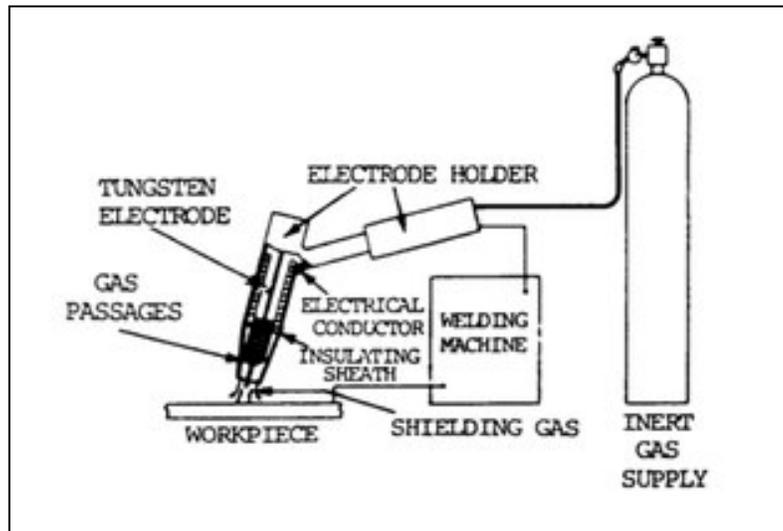


Fig. 4. Disposición del sistema GTAW
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

2.3. PROCESO SMAW

En el año 1.904 tiene lugar en Suecia un hecho de trascendencia para el desarrollo de la soldadura. Oscar Kjellberg descubre el electrodo recubierto y aunque la era industrial de la unión soldada por arco eléctrico empieza en Europa a comienzos de la década de los 50, ya se realizaron uniones de este tipo a principios de nuestro siglo.

2.3.1. PRINCIPIOS DEL PROCESO

En este proceso de soldadura también llamado manual Metal Arc (MMA), se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto.

Con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión en el material de base.

En el arco las gotas del metal fundido se proyectan recubiertas de escoria fundida procedente del recubrimiento que por efecto de la tensión superficial y de la viscosidad flota en la superficie, solidificando y formando una capa de escoria protectora del baño fundido.

2.3.2. ELECTRODOS

2.3.2.1. FABRICACIÓN.

El material de aportación que se usa en el proceso MMA se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica, generalmente acero, recubierta de un revestimiento concéntrico de flux extruido y seco. La fabricación de electrodos se realiza en dos líneas en paralelo: varilla o alma, y revestimiento.

2.3.2.1.1 FABRICACIÓN DE LA VARILLA.

La materia prima es el alambro de 6 a 8 mm de diámetro, que la siderurgia suministra en rollos o bobinas, de aproximadamente 1.000 Kg. El fabricante comprueba la composición a partir del análisis químico de un despunte de la bobina y posteriormente ésta pasa a una devanadora protegida por una campana metálica, en donde el alambro se retuerce y despegue el óxido adherido en el tren de laminado en caliente. A esta etapa se le denomina decapado mecánico. Al ser la fabricación de electrodos un proceso continuo, los extremos de cada bobina se empalman por resistencia eléctrica, eliminando las rebabas de la soldadura con muela de esmeril.

Seguidamente el alambro pasa a las cajas de trefilado donde tiene lugar una reducción progresiva de diámetro hasta el deseado, utilizando sustancias lubricantes para facilitar la operación y evitar un endurecimiento del alambre, que le haga quebradizo. A continuación se desengrasa o se lava con agua el polvo de jabón adherido a su superficie. Los diámetros del alamo son normalmente 1.6, 2, 2.5, 3,

3.25, 4, 5 y 6 mm, siendo los más utilizados los señalados en negrita. Una máquina endereza y corta las varillas a un ritmo entre 580 y 1400 cortes/minuto, en función de su diámetro.

2.3.2.1.2. FABRICACIÓN DEL REVESTIMIENTO.

Para el revestimiento se suelen utilizar hasta cuarenta minerales y sustancias distintas, como arena de zirconio, rutilo, celulosa, caolín, mármol, polvo de hierro, FeSi, FeTi, FeMn, etc. Se realiza un análisis individualizado de la calidad y composición de estos productos.

La selección, origen y dosificación de cada componente que va a intervenir en la composición del revestimiento es un secreto celosamente guardado fabricante. Una vez escogido cada componente, se machaca y criba hasta conseguir la granulometría adecuada y se dosifica mediante un programa de computadora, pasando de un sistema de tolvas específicas de cada producto a una tolva central, donde seguidamente se homogenizan mediante vibradores distribuyéndose después la mezcla en tolvas destinadas a producción.

Para aglutinar la mezcla seca y darle consistencia se agrega silicato sódico o silicato potásico. Una vez obtenida la mezcla húmeda se vierte en una prensa en donde penetra la varilla por un lado saliendo recubierta en toda su longitud por el lado opuesto. Se comprueba la excentricidad del recubrimiento y se cepillan ambos extremos de la varilla revestida. Uno, para el ajuste de la pinza porta electrodos y el otro, para facilitar el cebado de arco. Se marcan con la identificación del fabricante y el tipo de electrodo según American Welding Society, AWS.

El secado previo se lleva a cabo haciéndolos pasar por un horno de funcionamiento continuo, cuya temperatura se incrementa gradualmente para evitar que se agriete y se desprenda el revestimiento. Para electrodos tipo rutilo normal, el secado previo a una temperatura es de aproximadamente 100 °C es suficiente. Para electrodos básicos, después de este secado previo se pasan a hornos convencionales de aire para darles un secado final a 400-450 °C, con el fin de que el contenido de H₂O a 1.000 °C según AWS, sea inferior a 0,4%. De esta forma nos aseguramos que el contenido de hidrógeno sea inferior a 10 cc. por cada 100 gr/metal depositado.

Posteriormente se empaquetan en cajas de cartón o metálicas. Aquéllas suelen protegerse de la humedad con plástico termorretráctil. En general, debe seguirse la regla de que los materiales de aporte deben embalarse de tal forma que no sufran deterioros, ni se humedezcan, ni se sequen.

2.3.3. REVESTIMIENTOS

2.3.3.1. COMPOSICIÓN DEL REVESTIMIENTO.

La composición de los revestimientos suele ser muy compleja. Se trata generalmente de una serie de sustancias orgánicas y minerales. En la fabricación de la pasta para el revestimiento suelen intervenir:

- óxidos naturales: óxidos de hierro, ilemita (50% óxido férrico y 50% óxido de titanio), rutilo (óxido de titanio), sílice (óxido de silicio).
- silicatos naturales: caolín, talco, mica, feldepasto...
- productos volátiles: celulosa, serrín...

- fundentes
- productos químicos: carbonatos, óxidos...
- ferro aleaciones: de Mn, Si, Ti...
- aglomerantes: silicato sódico, silicato potásico.

Sin embargo, la naturaleza, dosificación y origen de los componentes permanece en secreto por parte del fabricante que en la práctica se limita a garantizar la composición química del metal depositado y sus características mecánicas: carga de rotura, límite elástico, alargamiento y resiliencia (tenacidad).

2.3.4. FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO.

2.3.4.1. ELÉCTRICA.

- a. Cebado de arco: En general, las sustancias que se descomponen produciendo gases fácilmente dissociables exigen tensiones de cebado de arco más elevadas, debido al calor absorbido en la disociación, que es un proceso endotérmico. Con corriente alterna, se necesitan tensiones de cebado más altas. Los silicatos, carbonatos, óxidos de Fe, óxidos de Ti, favorecen el cebado y el mantenimiento del arco
- b. Estabilidad del arco: La estabilidad del arco depende, entre otros factores, del estado de ionización de los gases comprendidos entre el ánodo y el cátodo. Para un arco en corriente alterna es imprescindible un medio fuertemente ionizado. Por este motivo se añaden al revestimiento, entre otras sustancias, sales de sodio y de potasio.

2.3.4.2. FÍSICA.

Una misión fundamental del revestimiento es evitar que el metal fundido entre en contacto con el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno del aire, ya sea por la formación de un gas protector alrededor del camino que han de seguir las gotas del metal fundido y después, mediante la formación de una abundante escoria que flota por encima del baño de fusión.

El revestimiento debe ser versátil y permitir generalmente la soldadura en todas las posiciones. En ello interviene dos factores:

- a. el propio espesor del revestimiento.
- b. su naturaleza, que determina la viscosidad de la escoria, que es necesaria para mantener la gota en su lugar a través de su propia tensión superficial y para proteger el baño fundido del contacto con el aire.

El revestimiento del electrodo se consume en el arco con una velocidad lineal menor que el alma metálica del mismo. Como resultado, el recubrimiento queda prolongado sobre el extremo del alma y forma un cráter que sirve para dirigir y concentrar el chorro del arco, disminuyendo sus pérdidas térmicas.

2.3.4.3. METALÚRGICA.

El revestimiento dispone de elementos que se disuelven en el metal fundido con objeto de mejorar las características mecánicas del metal depositado.

La escoria:

- reduce la velocidad de enfriamiento de la soldadura por su efecto aislante;
- reduce el número de inclusiones en la soldadura, al eliminar un gran número de impurezas;
- produce en el baño una verdadera micro metalurgia, desoxidando, desnitruando, desfosforando y desulfurando el metal fundido;
- aísla el baño de elementos con los que tiene gran afinidad: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno ya sea a través de escorias o gases protectores.

2.3.5. ESPECIFICACIONES.

Las especificaciones actuales de la American Welding Society a que obedecen son:

Electrodos de acero al carbono	AWS-A.5.1
Electrodos de aceros de baja aleación	AWS-A.5.5
Electrodos de aceros inoxidable	AWS-A.5.4

Cuadro 2. Clasificación para electrodos SMAW según AWS
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

Se describirá brevemente el contenido de estas especificaciones.

2.3.5.1. ELECTRODOS DE ACERO AL CARBONO.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con los criterios siguientes:

- Tipo de corriente a utilizar.
- Tipo de recubrimiento.
- Posición de soldadura aconsejable.
- Composición química del metal depositado.
- Propiedades mecánicas del metal depositado.

2.3.5.2. ELECTRODOS DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con idénticos criterios que los de acero al carbono, e incluyen las clases siguientes:

- Clase A: Aceros al carbono-molibdeno.
- Clase B: Aceros al cromo-molibdeno.
- Clase C: Aceros al níquel.
- Clase D: Aceros al manganeso-molibdeno.
- Clase N: Aceros al níquel-molibdeno.
- Clase G: Aceros de baja aleación, no incluidos en las otras clases.

2.3.5.3. ELECTRODOS DE ACEROS INOXIDABLES

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con su composición química, propiedades mecánicas y tipo de corriente e incluyen aceros en los que el cromo excede del 4% y el níquel no supera el 37% de la aleación.

2.3.6. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS

2.3.6.1. ELECTRODOS ÁCIDOS

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6020.

2.3.6.1.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Estos electrodos contienen una adecuada proporción de productos desoxidantes en forma de ferroaleaciones, FeSi, FeMn. Sin embargo, el contenido de Si en el cordón se mantiene bajo por lo que el metal aportado contiene siempre una cierta cantidad de oxígeno y, en consecuencia, la resiliencia de la unión es solamente mediana.

2.3.6.1.2. ESCORIAS

Pertenece al sistema $\text{FeO-SiO}_2\text{-MnO}$ y contienen una gran proporción de silicatos de Fe (fayalita) y de Mn (rodonita), así como óxidos libres FeO y MnO . La reacción es ácida, o sea, disuelve los óxidos básicos, tales como el MnO . En consecuencia, gran parte del Mn se desplaza a la escoria. Este enriquecimiento en Mn disminuye la viscosidad, proporcionando un cordón de aspecto liso y facilitando el soldeo.

La escoria de los electrodos típicamente ácidos es abundante, de color negro y adquiere al solidificar una estructura esponjosa que tiende a hacerse más compacta y vítrea a medida que disminuye la acidez. Se separa con bastante facilidad. Por su abundante escoria se requiere soldar con mayor intensidad e inclinación adecuada del electrodo, para evitar que la escoria se anticipe al metal fundido.

2.3.6.1.3. METAL DEPOSITADO

Estos electrodos confieren al metal depositado un contenido de H_2 e impurezas relativamente alto. A menudo, el cordón contiene escorias. La soldabilidad del metal base debe ser buena, pues en caso contrario pueden producirse grietas en caliente. Esta susceptibilidad es función de la acidez de la escoria y disminuye a medida que tiende a la neutralidad.

2.3.6.1.4. PARÁMETROS DE USO

Tensión de cebado: entre los 30 y 40 V.

Tensión de funcionamiento: aproximadamente 25 V.

Arco: Son electrodos de fusión rápida, facilitada en parte por el calor que produce la oxidación del Mn. Pueden emplearse con intensidades de corriente elevadas. Se usan normalmente sólo en corriente continua y electrodo unido al polo negativo.

Rendimiento gravimétrico.

El rendimiento gravimétrico estándar es del 95%.

Aplicaciones.

Destinados para soldar aceros normales de construcción, de resistencia inferior a 48 Kg. /mm². Se solía utilizar en juntas a tope o en V en calderería cuando se requería un buen aspecto del cordón. También por su facilidad en proporcionar cordones lisos en juntas en ángulo o solapadas.

En este tipo de electrodos, que hace unas décadas dominaba el mercado, ha ido siendo sustituido progresivamente por los rutilos y básicos. En la actualidad se

encuentran prácticamente en desuso, pues su cuota de consumo no alcanza el 2% del mercado español.

2.3.6.2. ELECTRODOS CELULÓSICOS

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6010 (Na) y AWS-E-6011 (K).

2.3.6.2.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

En estos electrodos la celulosa, obtenida a partir de la pulpa de la madera, es el componente principal. Esta sustancia orgánica se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector que aísla y protege de la oxidación al Mn y al resto de los componentes. Las reacciones de reducción se desarrollan en una atmósfera de hidrógeno que cubre el metal fundido.

2.3.6.2.2. ESCORIA

Es poco voluminosa ya que, recordemos, la protección del baño es esencialmente de tipo gaseoso. Se desprende con facilidad.

Arco: Producen una gran penetración gracias al hidrógeno procedente de la celulosa que el calor del arco libera. La velocidad de soldeo es elevada. Se producen, sin embargo, abundantes pérdidas por salpicaduras.

2.3.6.2.3. METAL DEPOSITADO

El metal depositado por estos electrodos carece prácticamente de oxígeno (O_2 0,02%). En cambio, contiene una gran cantidad de hidrógeno (15-25 cm^3 por cada 100 gr. de metal depositado). La superficie del cordón es rugosa y éste se enfría rápidamente.

Rendimiento gravimétrico.

El arco produce un fuerte chisporroteo, con abundantes pérdidas por salpicaduras. El rendimiento estándar suele ser inferior al 90%.

Seguridad de uso.

Los electrodos celulósicos producen una gran cantidad de humos. Por ello, es recomendable evitar su uso en recintos cerrados, como el interior de calderas, cisternas, recipientes, etc. Por otra parte, lo enérgico del arco aconseja emplear con más rigor los materiales de protección, tales como gorras, guantes, mandiles, polainas, etc. Los electrodos celulósicos no deben resecarse nunca.

Aplicaciones.

Aunque son adecuados para soldar en todas las posiciones, se suelen emplear exclusivamente para soldar tubería en vertical descendente, porque:

- producen muy poca escoria.
- se manejan con facilidad.
- consiguen una buena penetración en el cordón de raíz, en esta posición.

Su uso se está generalizando en oleoductos, y gasoductos en donde resulta ventajoso soldar en todas las posiciones, sin cambiar los parámetros de soldeo. También son adecuados en aplicaciones en donde se pretenda conseguir una buena penetración.

2.3.6.3. ELECTRODOS DE RUTILIO

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6012 (Na) y AWS-E-6013 (K).

2.3.6.3.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

El principal componente de estos electrodos es el rutilo, mineral obtenido a partir de menas que en su estado natural contienen de un 88-94% de TiO_2 . También puede extraerse de la ilemita, mineral compuesto por un 45-55% de TiO_2 y el resto de Fe_2O_3 . La protección en estos electrodos la proporciona la escoria.

2.3.6.3.2. ESCORIAS

Pertenece al sistema TiO_2 -FeO-MnO que dan como resultado titanatos de hierro o titanatos complejos. La escoria, de aspecto globular o semiglobular, tiene la viscosidad adecuada para permitir la soldadura de elementos con ajuste deficiente o cuando entre los bordes a unir existe una distancia excesiva, resultando los electrodos de rutilo idóneos en la soldadura con defectuosa preparación de juntas. La escoria se elimina con facilidad.

2.3.6.3.3. METAL DEPOSITADO

Contiene un buen número de inclusiones. El nivel de impurezas es intermedio entre el que presentan los electrodos ácidos y los básicos. El contenido de hidrógeno puede llegar a fragilizar las soldaduras. El contorno de las costuras en ángulo oscila entre convexo en el AWS-E-6012 a prácticamente plano en el AWS-E-6013. en cualquiera de los casos, el cordón presenta un buen aspecto.

Arco de fácil encendido y reencendido, incluso con elevadas tensiones de vacío en la fuente de corriente. La pequeña proporción de celulosa del revestimiento permite una elevada intensidad de corriente. La cantidad de elementos refractarios del recubrimiento origina un arco tranquilo, de mediana penetración.

Parámetros de uso.

Tensión de cebado: entre 40 y 50 V.

Se emplean con corriente alterna o con corriente continua, en ambas polaridades.

Rendimiento gravimétrico.

El rendimiento gravimétrico estándar está comprendido entre el 90 y el 100%.

Aplicaciones.

Estos electros, fáciles de encender y reencender, poco sensibles a la humedad, escasas salpicaduras y favorable eliminación de escoria, que permiten una razonable velocidad de soldeo constituyen una gama de consumibles muy apreciada.

Resultan por su fácil manejo en cualquier clase de montaje, la escasa influencia de las condiciones ambientales y por ser adecuados para emplearse en todas las posiciones, idóneos para todo tipo de soldaduras siempre que no se requiera una elevada tenacidad. Los principales campos de aplicación son las estructuras metálicas, en construcciones de calderas y construcciones navales.

2.3.6.4. ELECTRODOS BÁSICOS

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-7015 (Na) poco frecuentes y AWS-E-7016 (K) muy utilizados

2.3.6.4.1. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Los componentes principales son el carburo cálcico y el fluoruro cálcico. El revestimiento, que no contiene celulosa ni arcilla, proporciona un gas protector a base de CO_2 procedente del mármol y del fluoruro de silicio formado a partir de la fluorita e espato flúor, en reacción con el SiO_2 . Funden a temperaturas muy elevadas (aprox. $2.000\text{ }^\circ\text{C}$), razón por la cual necesitan un fundente en su composición, como el espato flúor.

La elevada proporción de TiO_2 y de silicato potásico, permiten su uso en corriente alterna. Son fuertemente higroscópicos, por lo que precisan de ciertas precauciones para evitar que una retención de humedad origine porosidades en el metal depositado y fisuraciones bajo el cordón en el soldeo de aceros ferríticos de alta resistencia o límite elástico.

2.3.6.4.2. ESCORIAS

Pertencen a los sistemas CaO-SiO_2 , 2CaO-SiO_2 y 3CaO-SiO_2 . La escoria es poco abundante, de color pardo y aspecto brillante. Su fluidez se controla agregando espato flúor al revestimiento. Sube a la superficie con rapidez por lo que son poco probables las inclusiones. Se elimina con menos facilidad que la de los otros tipos de electrodos.

En general, la velocidad de fusión no es elevada ni tampoco soportan grandes intensidades de corriente. Ofrecen una velocidad de soldeo razonable en posición

horizontal o cornisa y más rápida en vertical ascendente, porque es esta posición admiten una intensidad de corriente más alta que otros electrodos.

La longitud de arco es más corta que en el caso de los rutilos. La tensión de cebado es elevada, aprox. 65 V. Por esta razón, algunos fabricantes proceden a impregnar de grafito, excelente conductor eléctrico, uno de los extremos del electrodo, para facilitar de esta manera el encendido del arco. Los básicos son más difíciles de manejar que los otros electrodos.

Rendimiento gravimétrico.

Oscila en torno al 110%.

2.3.6.4.3. METAL DEPOSITADO

En el momento de la fusión se produce una verdadera micro metalurgia, con fijación de elementos metálicos en el metal fundido. Pueden obtenerse así, por adición de elementos adecuados tales como Mn, Cr, Ni, Mo. soldaduras de elevadas características mecánicas y de alta resistencia contra determinados agentes corrosivos. El metal depositados se encuentra prácticamente exento de impurezas, libre de hidrógeno ($H_2 \leq 10$ ppm) y de porosidad, si el revestimiento está seco. Posee además una elevada capacidad de deformación (\leq aprox. 30%) y presenta una alta tenacidad.

Precauciones específicas.

Si el electrodo, por su higroscopicidad, ha captado humedad deposita un metal poco dúctil y, en determinadas circunstancias, propenso a fisuración bajo el cordón. Para evitar ambos fenómenos, los electrodos básicos que hayan estado expuestos a un ambiente húmedo, deben secarse siguiendo estrictamente las recomendaciones de su fabricante.

La temperatura de secado en horno o estufa y el tiempo necesario de permanencia a esa temperatura deben ser los adecuados a la composición del revestimiento, que sólo el fabricante conoce la exactitud. En efecto, la humedad absorbida se encuentra en forma de hidrato lo que requiere temperaturas elevadas para extraer el agua atrapada en los cristales.

Aplicaciones.

El campo de aplicación es muy amplio. Una de las ventajas de los electrodos básicos es que pueden eliminar el S por su reacción con el Mn, formando compuestos que pasan a la escoria, por lo que la soldadura realizada con este tipo de electrodos muestra una gran resistencia al agrietamiento en caliente.

El metal depositado es poco sensible a la fisuración, incluso en soldaduras sometidas a fuertes tensiones de embridamiento por condiciones de rigidez. Se utilizan ampliamente en la soldadura de estructuras metálicas, recipientes sometidos a presión, construcción naval y maquinaria. Para resolver el problema de su fuerte

higroscopicidad, actualmente se están desarrollando electrodos básicos menos propensos a captar humedad: electrodos LMA (Low Moisture Absortion).

2.3.6.5. ELECTRODOS DE GRAN RENDIMIENTO.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6027 (ácido), AWS-E-7014 (rutilo), AWS-E-7018 (básico), AWS-E-7024 (rutilo) y AWS-E-7028 (básico).

2.3.6.5.1. CARACTERISTICAS ESPECÍFICAS

Se denominan electrodos de gran rendimiento aquellos que, cualquiera que sea la naturaleza de la composición de su revestimiento, tienen un rendimiento gravimétrico superior al 130%. Si en los electrodos clásicos, como acabamos de ver, el rendimiento suele oscilar entre el 80% y 100%, con esta clase de electrodos se puede llegar hasta el 240%.

El rendimiento de un electrodo viene dado por la relación del peso del metal depositado al peso de la varilla fundida. La norma UNE-14.038 versa sobre la determinación del rendimiento de los electrodos. En general, para su evaluación se desprecian 40 mm de su longitud, aproximadamente igual a la parte desnuda del alma que se aloja en la pinza porta electrodos de 450 mm y 310 mm para los que poseen una longitud original de 350 mm.

Esta clase de electrodos fue desarrollada por VAN DER WILLIGEN en Holanda a partir del año 1947, añadiendo polvo de Fe al revestimiento. Parece lógico suponer que la posición sobremesa es la más fácil y favorable para la soldadura. En efecto, en esa posición el metal fundido se beneficia de la fuerza de la gravedad y se pueden conseguir las máximas velocidades de deposición. Después de ésta, la más ventajosa es la horizontal en ángulo. Por la economía que supone soldar en ambas posiciones se han desarrollado electrodos específicos que únicamente pueden emplearse en estas posturas de soldeo. Pertenecen a este grupo aquellos electrodos cuya penúltima cifra en su designación AWS es un 2. Se les llama también electrodos de contacto. El rendimiento de un electrodo, en general, es función de la naturaleza del revestimiento, del diámetro y de la intensidad de la corriente.

2.3.6.5.2. APLICACIONES

Estos electrodos requieren altas intensidades de soldeo para lograr fundir, además del alma, el polvo de Fe agregado a su revestimiento, por lo que resulto necesario fuentes de energía potentes. Se seleccionan para reducir costes en soldadura, tanto en construcción naval como en talleres de calderería pesada.

2.3.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE

La clase de corriente depende fundamentalmente del tipo de electrodo que se va a utilizar. A pesar de que la corriente continua es la más común, la amplia gama de electrodos actualmente en el mercado, que deben utilizarse con corriente alterna han hecho que crezca el uso de este tipo de corriente.

<i>Características</i>	<i>Corriente continua</i>	<i>Corriente alterna</i>
Pérdida de tensión en cables	Grande Los cables han de ser tan cortos como sea posible	Pequeña Preferible para soldar a gran distancia de la fuente.
Electrodos	Son válidos todos los tipos de electrodos.	El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Encendido del arco	Fácil.	Más difícil sobre todo en electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Fácil.	Más difícil, excepto cuando se utilizan electrodos de gran rendimiento.
Efecto de soplo magnético	Muy sensible, sobre todo cuando la soldadura está cerca de extremos de la pieza. El efecto se incrementa con la intensidad.	Es raro que se produzca. La alternancia de ciclos neutraliza los campos magnéticos.
Salpicaduras	Poco frecuentes.	Más frecuentes, debidas a la pulsación.
Posiciones de soldeo	Más fácil de usar << en posición >> para soldaduras de secciones gruesas.	Fácil de usar en cualquier posición si se dispone del electrodo adecuado.
Soldadura de hojas metálicas	Preferible.	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido del arco.
Soldaduras de secciones gruesas	Rendimiento bajo.	Preferible pues al poder utilizar un mayor diámetro del electrodo y más intensidad de corriente, se logran altas tasas de rendimiento

Cuadro 3. Comparación entre el uso de corriente AC y DC en el proceso smaw
Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki>

2.3.7. APLICACIONES.

El proceso SMAW se utiliza por su versatilidad en una amplia gama de aplicaciones tanto en taller como en obra en la soldadura de materiales de espesor superior a 1,5 mm. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de maquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderería, etc. La selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el coste de la soldadura.

Para el usuario, es muy importante disponer de una correcta relación de electrodos con finalidades específicas. En este sentido, los catálogos y folletos que editan los fabricantes suelen contener información acerca de diámetros, parámetros de uso, revestimientos y precauciones sobre el almacenaje y funcionamiento de cada uno de sus productos. Se expondrá a continuación dos aplicaciones, la primera por su novedad y la segunda por lo generalizado de su uso.

2.4. SOPLO MAGNETICO

El soplo magnético o golpe de arco es la desviación de un arco eléctrico de su curso normal debido a fuerzas magnéticas. La desviación de arco, o golpe como se llama, puede ser extremadamente frustrante para un soldador. En la mayoría de los casos afectara adversamente la apariencia de la soldadura causa demasiada salpicadura, y también puede perjudicar la calidad de la soldadura.

El golpe de arco tiene lugar principalmente al soldar aceros o materiales ferromagnéticos, pero también ocurre al soldar materiales no magnéticos. El arco de soldar generalmente se desvía hacia delante o hacia atrás de la dirección de la

dirección del recorrido; sin embargo, también puede desviarse hacia un lado u otro. Puede llegar a ser tan fuerte que resulta imposible hacer una soldadura de manera satisfactoria. El golpe de de arco es uno de los problemas mas peligrosos que el soldador puede encontrar, y uno de los que menos se entienden.

Las leyes de electricidad y magnetismo pueden ayudar a explicar el problema de golpe de arco. Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor eléctrico produce un flujo magnético en círculos alrededor del conductor en planos perpendiculares al conductor y con sus centros en el conductor. Se usa la regla de la mano derecha para determinar la dirección del flujo magnético. Esa regla dice que cuando el pulgar de la mano derecha apunta en dirección en la cual fluye la corriente (flujo convencional del positivo al negativo) en el conductor, los demás dedos apuntan en la dirección del flujo magnético. La dirección del flujo magnético produce polaridad en el campo magnético, la misma que los polos norte y sur de un imán permanente. Este campo magnético es el mismo que el producido por un electroimán. Las reglas del magnetismo, que afirman que los polos iguales se repelen y los polos opuestos se atraen, se aplican a esta situación. La corriente de soldar es mucho mayor que la corriente eléctrica que generalmente encontramos. Por consiguiente, los campos magnéticos son mucho mayores.

El arco de soldar es un conductor eléctrico y el flujo magnético se establece a su alrededor de acuerdo con la regla de la mano derecha. El campo magnético importante alrededor del arco de soldar es el campo producido por la corriente de soldar que pasa a través de dicho arco desde el electrodo hasta el metal base o el trabajo. Este es un campo magnético autoinducido circular que rodea el arco y ejerce una fuerza sobre el desde todos los lados, de acuerdo a la regla electromagnética. Siempre que el campo magnético sea simétrico no habrá desequilibrio en la fuerza magnética ni desviación del arco. Bajo esa condición el arco es paralelo o esta alineado con la parte central del electrodo y toma el camino mas corto hacia la placa base. Si se altera la simetría de este campo magnético, las fuerzas sobre el arco ya no son iguales y el arco es desviado por la mayor de las fuerzas.

Esta relación electromagnética se usa en ciertas aplicaciones para mover u oscilar magnéticamente el arco de soldar. El aro de tungsteno en gas se desvía muy fácilmente por medio del flujo magnético. Puede hacerse oscilar mediante campos magnéticos transversales o desviarse en la dirección del recorrido. Mover magnéticamente el arco es depender del flujo del campo introduciendo una polaridad de flujo semejante a un flujo externo. La oscilación se obtiene invirtiendo el campo transversal externo para hacerlo que atraiga al campo que rodea el arco. Cuando el campo autoinducido alrededor del arco es atraído y repelido tiende a mover la columna del arco, que trata de mantener la simetría dentro de su mismo campo magnético. La oscilación magnética del arco de tungsteno con gas se usa para ampliar la depositación. También se puede hacer que los arcos giren alrededor de la periferia de los tubos a tope por medio de campos magnéticos rotatorios. Los arcos más largos son más fáciles de mover que los cortos. La cantidad de flujo magnético para crear el movimiento debe ser del mismo orden que el flujo que rodea a la columna del arco. Esto se hace a propósito y se menciona aquí solo para describir el uso de campos magnéticos y su relación con los arcos.

Los datos anteriores son útiles para explicar los fenómenos del golpe magnético del arco. Siempre que la simetría del campo se altere por alguna otra fuerza magnética, tendera a mover al campo autoinducido que rodea al arco y a mover este.

Excepto bajo las condiciones más sencillas, el campo magnético autoinducido no es simétrico a través del círculo eléctrico completo y cambia de dirección en el arco. Además, siempre hay un desequilibrio del campo magnético alrededor del arco porque este se mueve y así el patrón de flujo de la corriente a través del metal base no es constante.

Hay otro factor que ayuda a producir la relación no asimétrica o desbalanceada e las fuerzas magnéticas. El flujo magnético pasa a través de un material magnético, tal como el acero, mucho mas fácilmente de lo que lo hace a través del aire. En efecto, el camino del flujo magnético tendera a permanecer dentro

del acero y estará mas concentrado e intenso que en el aire. La corriente de soldar pasa a través de la toma del electrodo, el porta electrodo y el electrodo de soldar; después a través del arco hacia el metal base (suponiendo que es acero). En este punto, la corriente cambia de dirección para pasar a la conexión de tierra en la pieza de trabajo, de regreso hacia la maquina de soldar. En el punto en donde el arco esta en contacto con la pieza de trabajo, el cambio de dirección es relativamente abrupto, y el hecho de que las líneas de fuerza sean perpendiculares a la trayectoria de la corriente de soldar da lugar a un desequilibrio magnético en ese punto. Las líneas de fuerza se concentran en el interior del ángulo del flujo de la corriente, a través del electrodo y de la pieza de trabajo, y se dispersan en el ángulo externo a esta trayectoria. Por consiguiente, el campo magnético es mucho más fuerte del lado del arco que mira hacia la conexión de trabajo con la tierra que del otro lado. Este desequilibrio de las fuerzas magnéticas produce una fuerza del lado más intenso, que desvía el arco hacia la izquierda, esto es hacia la fuerza más débil y en dirección opuesta a la trayectoria de la corriente. La dirección de esta fuerza es la misma, ya sea que la corriente este fluyendo en una u otra dirección. En otras palabras, si la corriente de soldar se invierte, el campo magnético también se invierte, pero la dirección de la fuerza magnética que actúa sobre el arco siempre queda en la misma dirección, apartándose de la trayectoria de la corriente a través del trabajo.

El segundo factor que mantiene asimétrico un campo magnético es el hecho de que el arco se mueve y esta depositando metal de soldadura. Cuando se hace una soldadura uniendo dos placas, el arco se mueve de un lado a otro de la unión. El campo magnético en las placas cambiara constantemente. Si suponemos que la conexión del trabajo esta inmediatamente bajo el arco y se mueve con el, el camino magnético en el trabajo no será concéntrico alrededor del punto de trabajo. Esto se debe a que las líneas de fuerza no toman la distancia más corta, sino la distancia más fácil. Cerca del lado de arranque de la unión, las líneas de fuerza están apiñadas entre si porque tenderán a permanecer en el acero. Hacia el lado en que termina la unión, las líneas de fuerza estarán separadas porque hay más área. Además donde se ha hecho la soldadura, las líneas de fuerza pasan a través del acero. Donde no se ha hecho la soldadura las líneas de fuerza deben cruzar el

espacio de aire o abertura de raíz. El campo magnético es mas intenso en el lado corto y el desequilibrio produce una fuerza que desequilibra una fuerza que desvía el arco a la derecha, o hacia el lado largo.

Cuando se suelda con corriente directa la fuerza total que tiende a causar desviación del arco es una combinación de esas dos fuerzas. A veces esas fuerzas tienden a sumarse y en otras se restan una de otra, y en otros casos se pueden encontrar en ángulo recto. La polaridad o dirección del flujo de la corriente no afecta la dirección de esas fuerzas ni la de la fuerza resultante. Analizando el camino de la corriente de soldar a través del electrodo hacia la conexión de tierra, y analizando el campo magnético dentro del metal base es posible determinar las fuerzas resultantes y predecir la desviación o golpe de arco que resulta.

El uso de la corriente alterna para soldar reduce considerablemente la magnitud de la desviación o golpe de arco. La corriente alterna para soldar no elimina completamente el golpe de arco. La razón de la reducción es que la corriente alterna establece otras corrientes que tienden a neutralizar el campo magnético o a reducir mucho su intensidad. La corriente alterna varía entre el valor máximo de una polaridad y el valor máximo de la polaridad opuesta, y sucede lo mismo con el campo magnético que rodea al conductor de la corriente alterna. El campo magnético alterno es un campo que se mueve e induce una corriente en cualquier conductor a través del cual pasa, de acuerdo con una de las leyes básicas de la electricidad, el principio de inducción. Esto significa que se inducen corrientes en conductores cercanos en una dirección opuesta a la de la corriente que las provoca. Estas corrientes provocadas se conocen como corrientes parasitas o corrientes secundarias. A su vez, producen un campo magnético por si mismas, que tiende a neutralizar el campo magnético de la corriente del arco. Estas corrientes son alternas de la misma frecuencia que la del arco y están en la parte de la pieza de trabajo más cercana al arco. Siempre fluyen en dirección opuesta. Cuando se usa corriente alterna para soldar se inducen corrientes secundarias en la pieza de trabajo que producen campos magnéticos que reducen la intensidad del campo que actúa sobre el arco. Desafortunadamente, la corriente alterna no se puede usar para todas las

aplicaciones de la soldadura, y es por esta razón que no siempre se puede cambiar de corriente directa en alterna para eliminar o reducir el golpe de arco.

Comprendido los factores que afectan el golpe del arco, ahora se pueden explicar los factores prácticos que intervienen en el, y dar soluciones para contrarrestarlos. El golpe de arco es causado por fuerzas magnéticas. Las fuerzas magnéticas inducidas no son simétricas con respecto al campo magnético que rodea a la trayectoria de la corriente de soldar. Un factor es la localización asimétrica del material con respecto al arco. Esto da lugar a una fuerza magnética que actúa hacia el camino magnético de menor dificultad y es independiente de la polaridad del electrodo. La localización del camino mas fácil cambia constantemente cuando progresa la soldadura; por tanto la intensidad y la dirección de la fuerza se modifican.

El segundo factor es el cambio de dirección de la corriente de soldar cuando deja el arco y entra en la pieza de trabo. La corriente de soldar tomara el camino más fácil hacia la conexión de tierra. La fuerza magnética resultante es de dirección opuesta a la corriente del arco hacia la toma de la tierra. Depende de la polaridad de la corriente de soldar.

El tercer factor explica por que el golpe de arco es mucho menor con corriente alterna. Esto se debe al principio de inducción, porque se forma un flujo de corriente dentro del meta base, que a su vez da lugar a campos magnéticos que tienden a neutralizar al campo magnético que afecta al arco.

La mayor fuerza magnética sobre el arco la causa la diferencia de resistencia del camino magnético en el metal base cerca del arco. La localización de la toma de tierra es de importancia secundaria, pero puede no tener efecto apreciable al reducir la fuerza magnética total sobre el arco. Es mejor tener una conexión a tierra en el punto en el que se inicia la soldadura. A veces la conexión a tierra se puede cambiar al lado opuesto de la unión. En algunos casos se pueden conectar zapatas a ambos extremos.

Las condiciones que afectan la fuerza magnética que actúa sobre un arco pueden variar tan ampliamente que es imposible hacer más que afirmaciones generalizadas con respecto a ellas. Las siguientes sugerencias pueden ayudar a reducir el golpe de arco bajo ciertas condiciones.

Las fuerzas magnéticas que actúan sobre el arco se pueden modificar cambiando el camino magnético a través de la unión. Esto se puede lograr mediante insertos de descarga, placas de arranque, soldaduras grandes de apunte y bandas de respaldo, así por medio de la secuencia de la soldadura. Es eficaz un campo magnético externo producido por un imán. Esto puede lograrse enrollando varias vueltas del cable de soldar alrededor de la pieza de trabajo. El golpe de arco generalmente es más pronunciado en el arranque del cordón de la soldadura. En este caso, una derivación magnética o placa de arranque reducirá el golpe. Además, siempre se sugiere usar un arco tan corto como sea posible para que haya menos longitud expuesta a fuerzas magnéticas por controlar.

El banco de soldar puede ser una fuente de golpe de arco; por tanto, es importante un análisis con respecto a las instalaciones. Las prensas sujetadoras y las barras de respaldo deben ajustar bastante bien la pieza de trabajo.

En general, se deben usar cobre o metales no ferrosos. La estructura magnética del banco puede afectar las fuerzas magnéticas que controlan el arco.

Otro problema importante puede resultar debido a campos magnéticos ya existentes en el metal base, especialmente cuando éste a sido manejado por grúas magnéticas. El magnetismo residual en las placas pesadas y gruesas que hayan sido manejadas con grúas de electroimán pueden ser de tal magnitud que sea imposible hacer una soldadura. En este caso, la solución es probar a desmagnetizar las partes, envolviendo con cables de soldar para ayudar a contrarrestar su efecto, o si todo lo demás falla, recocer o relevar de esfuerzos a las partes.

2.5. DEFORMACIÓN POR SOLDADURA

Durante la soldadura el calentamiento local no uniforme hace que en el metal surjan esfuerzos térmicos sin influencia de esfuerzos externos. Tales esfuerzos se denominan internos o propios. De las tensiones térmicas internas tienen valor aquellas que surgieron durante el enfriamiento de la pieza. Si estas tensiones actúan solamente a lo largo del cordón, ellas no influyen en la resistencia de la unión soldada. Más peligrosas son las tensiones que actúan perpendicularmente al eje del cordón (transversales), puesto que ellas pueden provocar grietas en el cordón y en la zona próxima al cordón. Si las deformaciones y tensiones aparecen en la pieza en el proceso de soldadura y desaparecen durante su enfriamiento después de la soldadura se denominan provisionales. Aquellas deformaciones y tensiones que se mantienen en la pieza después de la soldadura, durante el enfriamiento completo, se denominan residuales. Las deformaciones y tensiones residuales poseen el mayor valor práctico, puesto que pueden influir en el trabajo de la estructura.

Las deformaciones aumentan al aumentar el calentamiento desigual, por eso el calentamiento de la pieza durante la soldadura hace disminuir esas deformaciones y tensiones.

2.5.1. CAUSAS POR LAS CUALES SURGEN LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DURANTE LA SOLDADURA

1. CALENTAMIENTO DESIGUAL DEL METAL las tensiones internas surgen cuando algún obstáculo impide la dilatación y contracción libre de la pieza. Tal obstáculo son las partes adyacentes del metal, las cuales a causa del calentamiento desigual quedaron mas frías y por lo tanto se dilataron menos.
2. la presencia de una fuente concentrada de calor (la llama de la antorcha o el arco eléctrico), que se mueve a lo largo de la costura con cierta velocidad y que provoca el calentamiento desigual del metal durante la soldadura, es la causa

principal del surgimiento de las tensiones internas y deformaciones en las estructuras soldadas.

3. **CONCENTRACIÓN DEL METAL DEPOSITADO** concentración se denomina a la reducción del volumen del metal durante la transición de este del estado líquido al estado sólido. El fenómeno de la contracción se explica del siguiente modo, durante la solidificación el metal se hace más compacto y como consecuencia su volumen se reduce. Como resultado de la contracción surgen esfuerzos en ciertas partes de la pieza, los que provocan deformaciones. Las tensiones provocadas por la contracción aumentan hasta el momento de transición de las deformaciones elásticas a las plásticas. Si el metal no es suficientemente plástico en la parte más débil de la pieza pueden surgir grietas. Tal sitio con mucha frecuencia es la zona de influencia térmica próxima al cordón. En el proceso de soldadura, a causa de la contracción y reducción del volumen del metal durante el enfriamiento pueden formarse grietas, denominadas calientes.

2.5.2 CAMBIOS ESTRUCTURALES DEL METAL DEPOSITADO

Al cambiarse la estructura del metal tiene lugar el cambio de medidas y de dislocación mutua de sus granos (cristales). Este proceso va acompañado con el cambio de volumen del metal, lo que provoca el surgimiento de las tensiones internas. Las tensiones que surgen como resultado del cambio estructural del metal, pueden tener importancia práctica en la soldadura de aceros de alto carbono y aleados, cuya propensión al temple es grande. Con la soldadura de acero de bajo carbono, el cual no se temple, las tensiones que surgen como resultado de ese cambio no son de consideración y en los cálculos se desprecian

2.5.3. EL RECOCIDO PARA ATENUAR LAS TENSIONES (RECOCIDO SUAVE)

Mediante el recocido suave se eliminan las tensiones internas, puesto que para lograr esto es suficiente calentar la pieza hasta una temperatura de 600 a 650 grados centígrados y después de una detención de 2 – 2.5 minutos por milímetro de espesor

de metal, se enfría lentamente en el horno hasta a temperatura normal. Puesto que el metal se calienta hasta una temperatura por debajo de la crítica no ocurrirá ningún cambio de estructural.

Durante el revenido la pieza se puede calentar hasta una temperatura mas baja, pero entonces las tensiones internas quedaran parcialmente en la pieza y su atenuación se reducirá considerablemente. Así por ejemplo, al calentar una pieza hasta 450 grados de temperatura las tensiones residuales se atenuaran un 50% y al calentar a 200 – 300 grados hasta un 10-20%

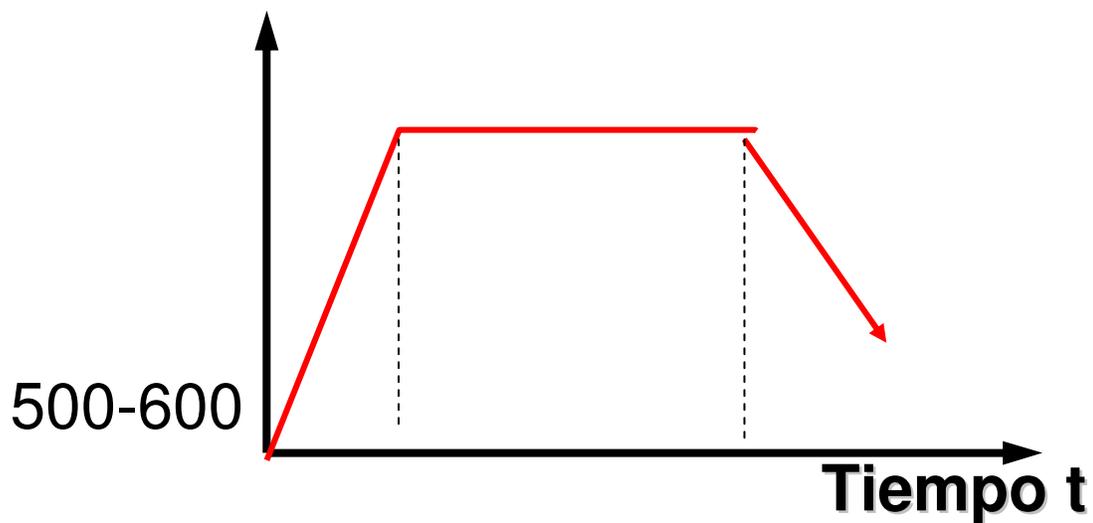


Fig. 5. Esquema característico de un tratamiento térmico post soldadura

2.6. ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (EPS)

Un EPS es un documento que describe cómo la soldadura debe ser realizada en la producción. Se recomiendan para todas las operaciones de la soldadura y muchos códigos y estándares del uso las hacen obligatorias

¿Qué información deben incluir?

Suficientes detalles para permitir a cualquier persona competente aplicar la información y producir una soldadura de la calidad aceptable. La cantidad de detalle y de nivel de los controles especificados en un EPS dependen del uso y la criticidad del empalme que se unirá con soldadura.

Artículos típicos que se deben registrar en el EPS

- Número del procedimiento
- Tipo de proceso
- Tamaño y tipo de electrodo, codificación completa.
- Requerimientos de almacenaje del electrodo, si fuera aplicable
- Tipo de material, Grado del material.
- Espesor del material base.
- Rango de medidas de la placa o tubos
- Posición de la soldadura
- bisel, preparación, limpieza, dimensiones etc.
- Pre calentamiento (rango de temperatura y Método)
- Temperatura entre pases (máxima temperatura admisible)
- Tratamiento térmico de la soldadura. Si es requerido (Tiempo y temperatura)
- Técnica de soldadura (forma del depósito, anchura, velocidad de avance.)
- Los límites de la energía del arco deben indicarse si se requieren las pruebas de impacto o si el material que es unido con soldadura sensible a temperaturas altas.

Bosquejos, es necesario incluir un bosquejo de la forma en que se deberán de prepararse las partes a unir, este deberá de incluir las dimensiones básicas de la preparación para la soldadura, además de la secuencia en que se deberá de aplicar la misma para asegurar las características mecánicas.

3. INVESTIGACIÓN PROPUESTA

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

El proceso de soldadura se realizo para los downconers de una caldera tipo HPB instalada en el Ingenio Chumbagua Honduras la cual tiene los siguientes parámetros de operación:

- caudal de vapor generado: 220460 lb./h
- presión de trabajo: 915 psig
- temperatura de operación: 915grados Fahrenheit
- combustible bagazo de caña

3.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Planos de montaje proporcionados por el fabricante
Listado de especificaciones de soldadura para campo
Especificaciones de procedimientos de soldadura

Se centrara la atención en el detalle D16 del plano 10-0-1033, tubos de alimentación, con referencia a este plano se paso a los procedimientos de soldadura especificados por el fabricante con referencia al E.P.S. 101/1.

En este documento se encuentra toda la información necesaria para la ejecución de la soldadura, dichos documentos se presentan a continuación.



**ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)
(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION - WPS)**

Pág. 1/2
(Page)

EPS nº : 101/1 Data 07/23/1998 RQPS suporte nº: 101
(WPS nº) (Date) (Supporting PQR nº)

Revisão nº : 1 Data 10/18/2004 (QW-406 : 80°C p/ 93°C)
(Revision nº) (Date)

Processos de soldagem: GTAW / SMAW Tipos Manual
(Welding processes) (Types)

Automático, manual , máquina ou semi-automático
(Automatic, manual , machine or semi-automatic)

JUNTAS (QW-402): <small>(JOINTS)</small>	Detalhes <small>(Details)</small>	Especif. da Ordem de Produção
Tipo de chanfro: <u>Conforme Desenho</u> <small>(Joint design) (Drawing to According)</small> Cobre junta <input checked="" type="checkbox"/> (sim) SMAW <input checked="" type="checkbox"/> (não) GTAW <small>(Backing) (yes) (no)</small> Material do cobre junta <small>(Backing material - type)</small> Metal <input type="checkbox"/> Metal não fusível <input type="checkbox"/> <small>(Metal) (Nonfusing metal)</small> Não metálico <input type="checkbox"/> Outro <input checked="" type="checkbox"/> (Metal de Solda) <small>(Nonmetallic) (Other)</small> Retentor <input type="checkbox"/> (sim) <input checked="" type="checkbox"/> (não) <small>(Retainer) (yes) (no)</small>	Conforme desenho <small>(Drawing to According)</small>	Cliente: _____ OP: _____ Equipamento: _____ Desenho: _____ Material Base: _____ Espessura: _____ Diâmetro: _____ Sold. Qualif: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Testes R X <input type="checkbox"/> % Ultra Som <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Partícula Magnética <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Líquido Penetrante <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

***METAL BASE (QW 403)**
(BASE METAL)

Nº P: 1 Grupo nº 2 com nºP 1 Grupo nº 2 OU
(P-Nº) (Group nº) (to P nº) (Group nº)

Especificação tipo e grau ASTM A-516 Gr.70 com ASTM A-516 Gr. 70 OU
(Specification type and grade) (to) (OR)

Análise quím. e prop. mec. N/A com N/A
(Chem. Analysis and Mech. Prop.) (to)

Faixa de espessura:
 Metal base: { Chanfro - sem impacto 4,75 a 203 mm com impacto N/A
(Base metal) (Groove) (without impact) (with impact)
 { Filete - sem impacto Ilimitado com impacto N/A
(Fillet) (without impact) (Limitless) (with impact)

Passe de soldagem > 1/2" (sim) (não)
(Welding pass > 1/2") (yes) (no)

Outro N/A
(Other) (N/A)

* METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) <small>(FILLER METALS)</small>	Metal de solda <small>(Weld metal)</small>
Especif. nº: (SFA) <u>GTAW 5.18 / SMAW 5.1</u> <small>(Spec. nº:)</small> Classif. AWS nº: <u>GTAW ER70S-3 / SMAW E7018</u> <small>(AWS nº. class.)</small> Nº: F <u>GTAW 6 / SMAW 4</u> <small>(F-nº:)</small> Nº: A <u>GTAW 1 / SMAW 1</u> <small>(A-nº:)</small> Diâm. do metal de adição <u>GTAW 2,5mm / SMAW 3,25mm</u> <small>(Size of filler metals)</small>	Metal de solda <u>Até GTAW18mm/SMAW 58mm</u> <small>(Weld metal) (even)</small> Faixa de espessura { Chanfro <u>Até GTAW18mm/SMAW 58mm</u> <small>(Thickness range) (Groove) (even)</small> { Filete <u>Ilimitado</u> <small>(Fillet) (Limitless)</small> Metal de adição suplementar <u>N/A</u> <small>(Supplemental filler metal)</small> Tipo de fluxo <u>N/A</u> <small>(Flux type)</small> Escória remoída <u>N/A</u> <small>(Recrushed slag)</small> Eletrodo-fluxo (classif.) <u>N/A</u> <small>(Electrode-fluxo classification)</small> Nome comercial do fluxo <u>N/A</u> <small>(Flux trade name)</small> Inserto consumível <u>Não</u> <small>(Consumable insert) (no)</small> Outro <u>N/A</u> <small>(Other)</small>

*** Cada combinação metal base - metal de adição deve ser registrada individualmente.**
(Each base metal-filler metal combination should be recorded individually)

EPS nº : 101/1
(WPS nº)

Revis. 1
(Rev)

Pag 2/2
(Page)

POSIÇÕES DE SOLDAGEM (QW-405)
(POSITIONS)

Posições do chanfro: Todas (All)
(Positions of groove)

Sentido de soldagem: Asc. Desc.
(Welding progression) (up) (down)

Posições do filete: Todas (All)
(Positions of fillet)

TRAT. TERM. APÓS SOLDAGEM (QW-407)
(POSTWELD HEAT TREATMENT)

Faixa de temperatura 600 °C
(Temperature range)

Faixa de tempo 2 horas
(Time range)

PRÉ-AQUECIMENTO (QW-406)
(PREHEAT)

Temp. pré-aquec. min. 93 (°C)
(Preheat temp. min.)

Temp. interpassa máx. 300 (°C)
(Interpass temp. max.)

Manutenção preaquec. N/A
(Preheat maintenance)

GÁS (QW-408)
(GAS)

Gás(es) %Mistura Vazão
(Gas(es)) (%Mixture) (Flow rate)

Proteção Argônio 99.90% 8 a 10
(Shielding)

Prot. tras. N/A N/A N/A
(Trailing)

Prot. raiz N/A N/A N/A
(Backing)

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409)
(ELECTRICAL CHARACTERISTICS)

Corrente (CA ou CC) Continua Polaridade GTAW NEGATIVA / SMAW POSITIVA
(Current AC or DC) (Negative) (Polarity) (Negative GTAW) (Positive SMAW)

Amp (faixa) GTAW 110 a 140 / SMAW 110 a 155 Volts (faixa) GTAW 10 a 18 / SMAW 20 a 26
(Amp - range) (Volts - range)

Aquecimento máximo N/A
(Max. heat input)

Diâmetro e tipo de eletrodo de tungstênio 3/32 - AWS- EWTH-2
(Tungsten electrode size and type)

Modo de transferência do metal para GMAW N/A
(Mode of metal transfer for GMAW)

Faixa de velocidade de avanço do arame N/A
(Electrode wire feed speed range)

TÉCNICA (QW-410)
(TECHNIQUE)

Cordão reto ou trançado Reto
(String or weave bead) (Straight)

Limpeza inicial e de interpassa Escovamento
(Initial and interpass cleaning) (brushing)

Distância do bico à peça N/A
(Contact tube to work distance)

Passe múltiplo ou simples (por lado) Múltiplo
(Multiple or single pass - per side) (Multiple)

Velocidade de avanço (faixa) N/A
(Travel speed - range)

Martelamento N/A
(Peening)

Diâmetro do orifício ou bocal 6 a 12 (Difusor de gas)
(Orifice or gas cup size) (Gas Lens)

Método de goivagem Esmerilhamento e escovamento
(Method of back gouging) (Grinding and brushing)

Fechado ou fora de câmara N/A
(Closed or out chamber)

Eletrodos múltiplos ou únicos Único
(Multiple or single electrodes) (single)

Oscilação N/A
(Oscillation)

Outro N/A
(Other)

Camada de solda (Weld layers)	Processo de solda (Process of weld)	Material de adição (Filler metal)		Corrente (Current)		Faixa volt. (Volt range)	Faixa de velo de avanço (Travel speed range)	Outro (Other)	
		Classe (Class)	Diâmetro (Diameter)	Tipo / Polar. (Type / Polar.)	Faixa amp. (Amp. range)				
1 e Demais	GTAW (Tig)	ER70S-3	2,5 mm	CC-	110 a 140	10 a 18	N/A	N/A	
1 e Demais	SMAW	E7018	3,25mm	CC+	110 a 155	20 a 26	(A/n)	(A/n)	

Data 10/18/2004
(Date)

Data 10/18/2004
(Date)

Elaborado por
(Prepared by)

Aprovado por
(Approved by)

Los procedimientos especificados por los EPS referidos en este trabajo son procedimientos normados por los códigos de construcción vigentes, para este caso en particular normados por ASME (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos).

La finalidad del EPS es llevar un record de todos los diferentes elementos, variables y factores que están involucrados en la realización de una soldadura asegurando la calidad del trabajo efectuado mediante el seguimiento de procedimientos establecidos por los códigos.

Los EPS son necesarios para producir una soldadura de alta calidad requerida para el servicio que se necesite, al menor costo posible.

Para el caso estudiado se tiene los siguientes costos de fabricación:

Procedimiento	Costo por pulgada diametral de tubo en quetzales
Soldadura	94.97
Ensayos no destructivos	276.29
Tratamiento post soldadura	256.67
Costo total	627.93

Siguiendo los procedimientos especificados por los EPS estamos asegurando la calidad del trabajo de soldadura lo cual garantiza que se tendrá un nivel de disponibilidad adecuado del equipo.

Los costos que implicaría que la soldadura fallara durante la operación al no seguir los procedimientos adecuados mandados por los códigos serian los siguientes

Pérdidas de producción:

Esta se daría al salir la caldera de funcionamiento afectando el proceso de producción

Pérdidas de mercado:

Aquí se darían pérdidas al no poder cumplir con los compromisos adquiridos con los clientes, además de provocar en ellos desconfianza en la empresa.

Pérdidas de capacidad productiva:

Podría tenerse algún equipo auxiliar pero el mismo no tendría la capacidad suficiente para mantener la totalidad de la producción.

Aumento de la inversión:

En este caso por ser necesario realizar una nueva inversión en la reparación del equipo, la cual puede ser bastante alta.

Además de los costos anteriormente mencionados dependiendo de la gravedad de la falla pudieran darse muertes de algunos trabajadores lo que representaría un serio problema para la empresa.

Todo lo anteriormente mencionado es difícil de cuantificar ya que esto depende del tiempo necesario para efectuar las reparaciones y de lo que pueda dañarse por repercusiones de la falla en la soldadura.

3.3. RESULTADOS

Al seguir todos los procedimientos especificados en el WPS se obtuvo una soldadura de excelente calidad lo cual fue comprobado por medio de una radiografía

la cual revelo el estado optimo de la misma, expresándolo así el informe emitido por el personal que realizo dicho ensayo.

3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como puede apreciarse en el documento de especificación de soldadura en particular se tiene toda la información necesaria para poder ejecutar la unión por soldadura, es de notarse también que toda esta información y procedimientos están respaldados por los códigos respectivos asegurando así una soldadura de calidad.

El seguir los procedimientos de soldadura asegura que se van a tener bajo control los parámetros que garanticen la correcta realización de las mismas, entre estas podemos mencionar:

- una correcta preparación de las partes a soldar, la importancia de esto radica en tener una limpieza de primer nivel, un bisel que permita la correcta colocación del metal de aporte en la soldadura.
- La especificación del metal base, aquí nos indica la denominación del metal base en cualquiera de las denominaciones existentes
- Especificación del metal de aporte, este punto nos indica la clase y el diámetro de electrodo a aplicarse referido a AWS
- La posición de aplicación de la soldadura, aquí nos especifica la posición en la que se deberá de aplicar la soldadura entre estas podemos tener posición plana, de filete, horizontal, vertical descendente o ascendente etc.
- Temperatura de precalentamiento, aquí se nos indica la temperatura a la que se deberá precalentar el material base para efectuar la soldadura, se especifica un rango en que se debe mantener durante el proceso.
- Tipo de soldadura a utilizar, en este punto se indica el proceso, o procesos de soldaduras que se van a utilizar, el voltaje y amperaje, el tipo de corriente ya sea CD o CA, la polaridad de la maquina esta

podría ser directa o invertida, si se va a utilizar el tipo de gas o mezcla y su composición en porcentaje de gases, el flujo necesario.

- El tipo de ensayo no destructivo a realizar
- El tratamiento térmico necesario post soldadura especificando la temperatura a la que se debe llevar la unión y el tiempo mínimo a la que se debe mantener la temperatura.

CONCLUSIONES:

1. La preparación de las piezas a unir es fundamental para producir una penetración completa con la soldadura en las piezas que se están uniendo.
2. Para lograr una soldadura libre de defectos se requiere de:
 - La capacidad del soldador.
 - La selección y manipulación del material de aporte.
 - La selección del procedimiento a emplear.
 - La preparación del material base.
 - Un correcto precalentamiento del metal base
3. El almacenamiento y manipulación del material de aporte para el proceso SMAW es uno de los factores que inciden directamente en la calidad de la soldadura ya que los electrodos de bajo hidrogeno son mas propensos a absorber humedad del ambiente y en esta condición producir figuraciones en la soldadura, por lo que se deben seguir los procedimientos de secado adecuados antes de la utilización de los mismos.
4. Al trabajar con Especificaciones de Procedimientos de Soldadura se tiene la ventaja de tener bajo control todas las variables que intervienen en el proceso de soldadura con lo cual se logra:
 - Una explicación escrita que describe las condiciones implicadas
 - Un dibujo de la unión soldada y una tabla que da los parámetros de la soldadura
 - Un registro de cómo se realizo la soldadura.

RECOMENDACIONES

1. Las operaciones previas a la realización de la soldadura tales como preparación de bisel, cara de raíz, abertura de raíz y alineamiento son esenciales para obtener una soldadura de calidad por lo que es necesario realizarlas con el mayor cuidado posible.
2. Si los tubos se preparan y no se efectúa la soldadura en el momento estos deberán de protegerse aplicando barniz tipo dieléctrico en el área preparada, o colocando cinta adhesiva para evitar la contaminación con oxido.
3. Cuando se utilice el proceso GTAW deberá de aislarse el área de soldadura de corrientes de viento, ya que estas provocan que se pierda la cortina de gas que protege la soldadura
4. Se deberá realizar una limpieza meticulosa entre pases de soldadura por el método SMAW para evitar inclusiones de escoria y carbón en la soldadura terminada.

BIBLIOGRAFIA

1. Avallone, E.A., Baumeister, T. (2002) Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Editorial McGraw Hill, México
2. monografías.com <http://en.wikipedia.org/>, consultado el 10 de noviembre del2006.
3. Cary, H. B. (1992) Manual de Soldadura Moderna, Editorial Prentice Hall, México.