

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**APLICACIÓN DE SOLDADURA SMAW PARA REPARACIÓN DE TUBERÍAS
DE ACERO AL CARBONO API 5L X52 CON ESPEORES MENORES DE
0.250" HASTA 0.210"**

POR

ING. GERARDO IRAZABAL SAN MIGUEL

MONOGRAFÍA

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

VILLAHERMOSA, TABASCO. JUNIO DEL 2010.

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**APLICACIÓN DE SOLDADURA SMAW PARA REPARACIÓN DE TUBERÍAS
DE ACERO AL CARBONO API 5L X52 CON ESPEORES MENORES DE
0.250" HASTA 0.210"**

POR

ING. GERARDO IRAZABAL SAN MIGUEL

MONOGRAFÍA

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

VILLAHERMOSA, TABASCO. JUNIO DEL 2010.

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Monografía "APLICACIÓN DE SOLDADURA SMAW PARA REPARACIÓN DE TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO API 5L X 52 CON ESPEORES MENORES DE 0.25" HASTA 0.210", realizada por el alumno GERARDO IRAZABAL SAN MIGUEL con número de matrícula 09ES-086, sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial



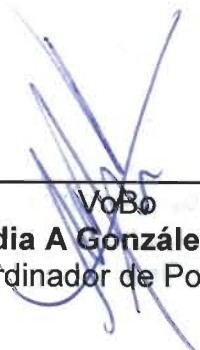
MC. Víctor Hugo López Cortez
Tutor Académico



Ing. Carlos Oropeza Castillo
Tutor en Planta



MC. Gabriel García Cerecero
Asesor



MC. Claudia A González Rodríguez
Coordinador de Posgrado

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Jurado de Examen de Especialización del alumno **GERARDO IRAZABAL SAN MIGUEL**, una vez leída y revisada la Monografía titulada **“APLICACIÓN DE SOLDADURA SMAW PARA REPARACIÓN DE TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO API 5L X52 CON ESPEORES MENORES DE 0.250” HASTA 0.210” ”**, aceptamos que la referida monografía revisada y corregida, sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Especialista en Tecnología de la soldadura Industrial durante la defensa de la monografía correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 25 días del mes de Junio del 2010.



Dr. Fidel Zapata Gómez
Presidente



MC. Gabriel García Cerecero
Secretario



MC. Víctor Hugo López
Cortez
Vocal

AGRADECIMIENTOS

Ante todo doy gracias a Dios por darme salud, fuerzas y conocimiento para poder lograr la terminación de una etapa más de aprendizaje en mi formación profesional.

Esta Monografía va dedicada a mi esposa Verónica y mi hijo Gerardo, quienes con su amor y comprensión estuvieron dándome en cada momento las fuerzas necesarias para la culminación de ésta especialidad.

Así como también a mis hermanos Erick y Yanira por su soporte incondicional durante el desarrollo de la misma.

Al M. en I. Carlos Cano Gurrión y al Ing. Carlos Oropeza Castillo por todo el apoyo y las facilidades que me dieron para poder cumplir con todos los programas durante el proceso de la especialidad, fomentándome la capacitación para mi desarrollo profesional.

A todos mis compañeros de trabajo del área de Ductos quienes de alguna u otra manera también compartieron conmigo este ir y venir.

Y a todos los maestros que me ofrecieron su apoyo y conocimientos, en especial al M. en C. Víctor Hugo López Cortez y al M. en C. Gabriel García Cerecero.

AGRADECIMIENTO DE
EL PROCESO PARA OBTENCIÓN DE LA
DIPLOMACIA Y ANÁLISIS DE LA SINTESIS
DE LAS CONCLUSIONES

ÍNDICE GENERAL

Síntesis	1
Capítulo 1: Introducción	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivos Generales	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Justificación del Trabajo	4
1.4 Aportación	5
1.5 Alcance	5
Capítulo 2: Marco Teórico	6
2.1 Soldadura por arco eléctrico con electrodo recubierto	6
2.1.1 Fundamentos del proceso	6
2.1.2 Principios de operación	6
2.1.3 Equipo	9
2.1.4 Fuentes de potencia	10
2.1.5 Materiales	13
2.1.6 Clasificación de electrodos por el proceso de soldadura de arco eléctrico SMAW	24
2.1.7 Aplicaciones	26
2.1.8 Procedimientos de soldadura	27
2.1.9 Técnica de soldadura	32
2.1.10 Calidad de la soldadura	33
2.1.11 Capacidades y limitaciones del proceso	40
2.2 Reparación de soldaduras circunferenciales	41
2.2.1 Introducción	41
2.2.2 Determinación de espesores mínimos soldables	42
2.3 Cálculos de presión requerida y espesor mínimo soldable	48
2.3.1 Introducción	48
2.3.2 Procedimiento de cálculo	49
2.4 Proceso para colocación de envoltente metálico	55
Capítulo 3: Discusión y Análisis de la Bibliografía	61
Capítulo 4: Conclusiones	63

Bibliografía	65
Listado de Figuras	67
Listado de Tablas	69
Resumen Autobiográfico	70

... conversión bibliográfica, si
... ductos con espesor
... línea viva mediante pro
... electrodo revestido (shielding)

SÍNTESIS

La industria petrolera en México, cuenta con una infraestructura de transporte de hidrocarburos constituida por ductos de diferentes diámetros y servicios en las diferentes regiones ubicados en el sureste, zona marina noreste y zona noroeste del país.

Dichos ductos recolectan y manejan toda la producción de hidrocarburos aportando grandes cantidades de agua congénita y sales minerales, cuyos efectos han causado severos daños internos a los ductos y accesorios de líneas de proceso, así la red de ductos por su ubicaciones estratégicas, ha operado en forma continua y en combinación con los factores típicos de una unidad de proceso petrolero como son: vibraciones cíclicas, cambios de temperatura constante, cambios cíclicos de presión, así como altos contenidos de agua y sales en la producción de la última década, han provocado patrones de flujo de alto riesgo caracterizados en daños por corrosión interna en los ductos provocando la reducción de los espesores de sus paredes (nominal) rebasando los límites permitidos de presión de operación .

En el presente estudio de revisión bibliográfica, se hace un análisis a detalle del mínimo espesor de pared de ductos con espesores bajos (acero al carbono API 5L X52) a reparar en línea viva mediante procesos de soldadura por arco eléctrico de metal y electrodo revestido (shield metal arc welding, SMAW)

- Cuando la presión de operación de soldadura es 100% de la presión de operación, **el espesor mínimo soldable es 4.65 mm (0.183") de acuerdo a lo aprobado por Battelle.**
- Para rangos de presión de gas durante el proceso de soldadura sea entre 80 y 60% de de la presión de operación, **el espesor mínimo es de 4.80 mm (0.188") y 5.30 mm (0.208") respectivamente.**

Se recopilará toda la información necesaria relacionada con los diferentes métodos y procesos de soldaduras para las reparaciones de secciones con bajos espesores de pared (nominal), esto es con el fin de desarrollar el método y proceso adecuado, controlando todas las variables y parámetros que intervienen.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Cuando se realiza la reparación de ductos de transporte de hidrocarburos con pérdida de espesores de pared nominal debido a la corrosión interna, normalmente se utiliza el proceso de SMAW por sus siglas en inglés (shield metal arc welding) el cual aporta una gran cantidad de calor durante la aplicación de las soldaduras circunferenciales en las reparaciones donde se utilizan envolventes metálicas.

Durante la aplicación de este proceso se puede provocar una perforación del metal base debido a la penetración del electrodo ocasionando un accidente grave o una catástrofe, ya que dicha reparación se hace con el ducto en operación con fluido (petróleo).

Por lo anterior, es necesario realizar un estudio para analizar las aplicaciones de los procesos de soldadura en las reparaciones de los ductos con espesores menores de 0.250" a 0.210", recopilando toda la información necesaria relacionada con los diferentes métodos y procesos de soldaduras para dichas reparaciones.

Este estudio, se requiere recopilar información de ductos con espesores bajos sin soldaduras, estudios y análisis de integridad, de diferentes normas y especificaciones.

1.2 Objetivo general

Realizar un estudio y análisis mediante la recopilación de información más reciente de métodos, procesos y normas que se relacionan con las reparaciones de tubería de acero al carbono API 5L X52 con espesores menores de 0.250" hasta 0.210" sin suspender la operación, facilitando el entendimiento y comprensión de todas las variables que intervienen y afectan dichas reparaciones.

1.2.1 Objetivos Específicos

1. Recopilación de información para la elaboración de estudios y análisis de integridad para la reparación de tubería en espesores bajos.
2. Estudiar y analizar los efectos de las variables y parámetros de la soldadura.
3. Analizar las diferentes normas y especificaciones aplicables en la reparación de tuberías con bajos espesores.
4. Estudiar y analizar proceso de soldadura utilizado en las reparaciones de tuberías de acero al carbono API 5L X52 con espesores menores de 0.250" hasta 0.210" sin suspender su operación,

1.3 Justificación

Debido a la importancia estratégica de la continuidad en el transporte de la producción de los hidrocarburos y que se reciben en los sistemas de ductos, es necesario mantener la integridad operativa de los ductos para garantizar así los niveles de producción fijados.

Por lo antes expuesto, se requiere recopilar información referente a la reparación de tuberías con espesores bajos sin suspender la operación para la elaboración de estudios y análisis de integridad, de variables y parámetros de la soldadura, de las diferentes normas y especificaciones aplicables, así como los

procedimientos de soldaduras y condiciones que intervendrán durante el desarrollo de todas las actividades de la reparación.

1.4 Aportación

Entre las distintas razones para la realización de este estudio podemos destacar la aportación de información técnica para la reparación de tubería 5L X52 sin suspender su operación en bajos espesores.

Contar con información técnica así como las variables, parámetros y condiciones principales que sirvan como soporte durante la aplicación del proceso de soldadura SMAW, para la reparación de tubería de 5L X52 con espesores bajos provocados por el proceso de corrosión.

1.5 Alcance

Análisis bibliográfico de reparación de espesores bajos en tubería de transporte de hidrocarburos API 5L X52 mediante el proceso de soldadura SMAW

Elaboración de cálculos para conocer el espesor mínimo soldable de acuerdo a lo indicado a la especificación API. B31.8^a-2000.

Elaboración de cálculos para conocer presión requerida de acuerdo a lo indicado a la especificación API. B31.8^a-2000.

Análisis del efecto de las variables de soldadura del proceso SMAW en la reparación de tubería de transporte de hidrocarburos API 5L X52 con bajos espesores.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO RECUBIERTO (1, 2, 6)

2.1.1 Fundamentos del proceso

La soldadura por arco de metal protegido “SMAW” (por sus siglas en inglés shielded metal arc welding), es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo recubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El corazón del electrodo revestido consiste en una varilla de metal sólido o material vaciado. Este material conduce la corriente eléctrica hacia el arco y provee el llenado de material para la junta.

La primera función del revestimiento es proveer estabilidad de arco y proteger el metal fundido de la atmósfera, con gases, los cuales sirven como compuestos de cobertura resultantes del calor del arco eléctrico.

2.1.2 Principios de operación

Este tipo de soldadura es la más empleada. Aprovecha el calor del arco para derretir el metal base y la punta de un electrodo consumible recubierto. El

electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico que se ilustra en la Figura 2.1.

Este circuito comienza con la fuente de potencia eléctrica e incluye los cables de soldadura, un portaelectrodos, una conexión con la pieza de trabajo, la pieza de trabajo y un electrodo de soldadura por arco. Uno de los dos cables de la fuente de potencia se conecta a la pieza de trabajo, el otro se conecta al portaelectrodos.

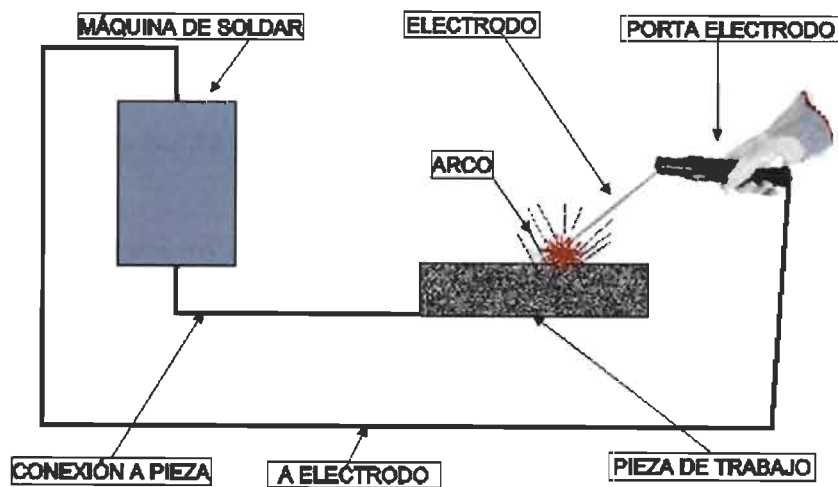


Figura 2.1. Elementos de un circuito de soldadura típico para SMAW (1).

La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. En la punta del electrodo se forman pequeños glóbulos de metal fundido, los cuales se transfieren a través del chorro del arco hasta el charco de soldadura fundida. De esta forma se deposita metal de aporte conforme el electrodo se va consumiendo. Ver Figura 2.2.

Puesto que el arco es uno de los más calientes que producen las fuentes de calor comerciales, la fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco.

Figura 2.2. Operación de soldadura

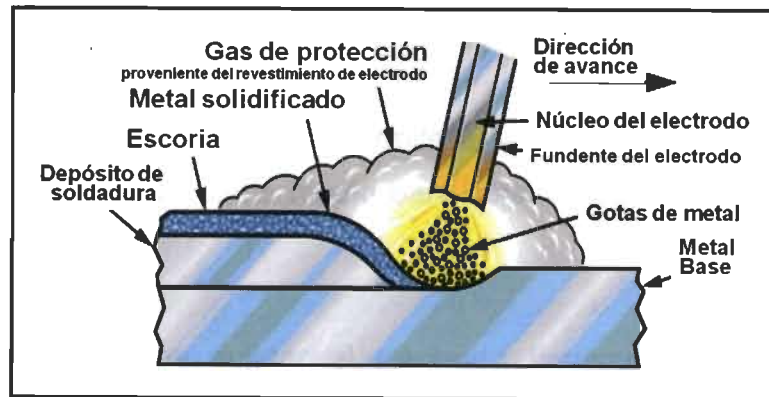


Figura 2.2. Diagrama Esquemático del Proceso de Soldadura SMAW (2).

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad adecuada del metal base. También requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el metal base o el charco de soldadura.

Los tamaños y tipos de electrodos para soldadura por arco de metal protegido definen los requerimientos de voltaje (de 16 a 40 V) y de amperaje (de 20 a 550 A) del arco. La corriente puede ser alterna o continua, dependiendo del electrodo empleado.

En la Figura 2.3 se observa un operario de soldadura realizando el proceso. Puede notarse que se equipó de trabajo especial, el cual describiremos adelante.



Figura 2.3. Operario de soldadura (6).

2.1.3. Equipo

Portaelectrodos

Es un dispositivo de sujeción que permite al soldador sostener y controlar el electrodo. También sirve como medio para conducir la corriente de soldadura del cable al electrodo.

El portaelectrodos debe sujetar el electrodo firmemente y mantenerlo en posición con un buen contacto eléctrico. El portaelectrodos debe ser ligero y fácil de manipular, pero lo bastante robusto como para resistir un uso rudo.

El mejor portaelectrodos para un trabajo dado es el de menor tamaño que puede usarse sin sobrecalentamiento; será el más ligero y el más cómodo de usar para el operador.

Conexión con la pieza de trabajo

Es un dispositivo para conectar el cable de pieza de trabajo a esta. Debe producir una conexión fuerte, pero al mismo tiempo debe poderse sujetar con rapidez y facilidad al trabajo.

Cables para soldadura

Sirven para conectar el portaelectrodos y la abrazadera de tierra a la fuente de potencia; son parte del circuito de soldadura. Este cable consiste en muchos alambres finos de cobre con aluminio trenzado y encerrado en una funda aislante flexible.

El tamaño del cable requerido para una aplicación en particular depende del amperaje máximo que se usara para soldar, de la longitud del circuito de la soldadura y del ciclo de trabajo de la maquina soldadora. Ver Figura 2.4.

Figure 2.3. Equipo de soldadura (3)

Careta

Su propósito es proteger los ojos, el rostro, la frente, el cuello y las orejas del soldador de los rayos directos del arco y de chispas y salpicaduras que salen despedidas.

Las caretas se construyen con un material aislante de fibra de vidrio. La careta debe ser ligera y diseñarse de modo que sea lo más cómoda posible para el usuario.

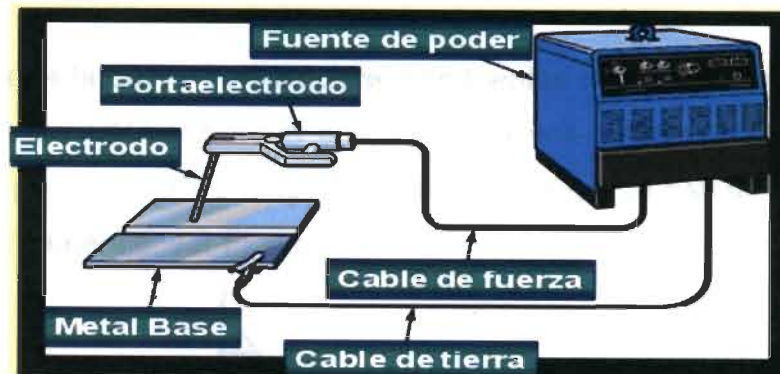


Figura 2.4. Diagrama de Equipo Básico de Soldadura (5).

2.1.4 Fuentes de potencia.

Se puede utilizar corriente alterna o continua para la soldadura por arco de metal protegido, dependiendo de la corriente suministrada por la fuente de potencia y del electrodo escogido. Ambos tipos de corriente tienen ventajas y limitaciones. Ver Figura. 2.5.



Figura 2.5. Equipo de Soldadura (5).

Los factores que deben tenerse en cuenta son los siguientes:

- a) Caída de voltaje
- b) Baja corriente
- c) Inicio del arco
- d) Longitud del arco
- e) Golpe del arco
- f) Posición de soldadura
- g) Espesor del metal

Importancia de la curva volt-ampere. Las fuentes de voltaje constante no son apropiadas para SMAW porque con su curva volt-ampere plana, un cambio aunque sea pequeño, en la longitud del arco produce un cambio relativamente grande en el amperaje, ver Figura. 2.6.

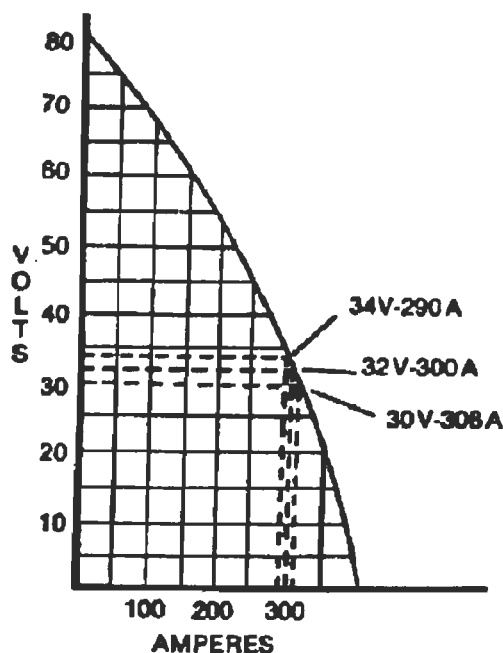


Figura 2.6. Curva Volt/Amp en máquina de corriente constante (6).

Voltaje de circuito abierto. Es el que genera la máquina de soldadora cuando no se está soldando. Los voltajes de circuito abierto están entre 50 y 100 V (Figura. 2.7).

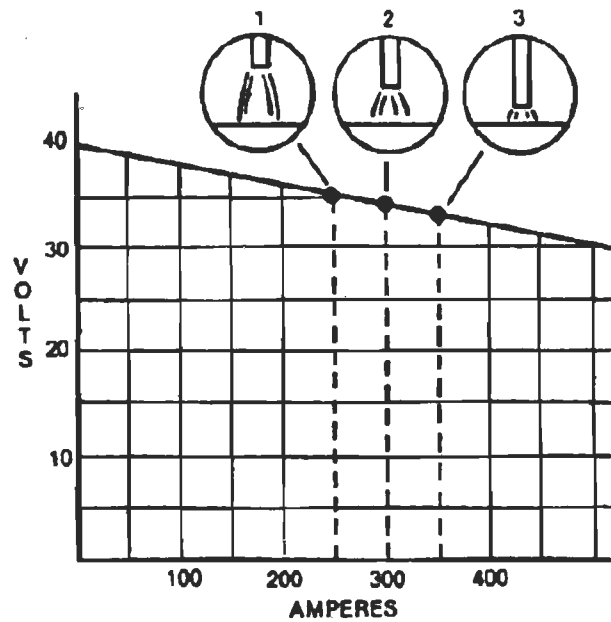


Figura 2.7. Curva Volt/Amp en máquina de voltaje constante (6).

El voltaje de circuito abierto cae hasta el voltaje de arco, cuando se enciende el arco y la máquina se somete a la carga de soldadura. La longitud del arco y el tipo de electrodo empleado determinan el valor de este voltaje: si el arco se alarga, el voltaje de arco aumenta y la corriente de soldadura disminuye.

Selección de la fuente de potencia

- El tipo de corriente de soldadura requerida.- dependerá en gran medida en los tipos de electrodos a utilizar y del tipo de soldadura a realizar.
- El intervalo de amperaje requerido.- dependerá del tamaño y tipo de electrodo seleccionado.
- Las posiciones en que se soldará.- si se planea soldar en posición vertical o por encima de la cabeza, probablemente será conveniente ajustar la pendiente de la curva volt-ampere.
- La potencia primaria disponible en la estación de trabajo.- la fuente de potencia para soldadura debe estar diseñada para potencia monofásica o trifásica, y deberá usarse con la potencia para la cual fue diseñada.

2.1.5 Materiales

Metales Base

El proceso SMAW se usa para aplicaciones de unión y recubrimiento sobre diversos materiales. Hay electrodos para los siguientes metales base:

Aceros al carbono.

Aceros de baja aleación.

Aceros resistentes a la corrosión.

Hierros colados.

Aluminio y aleaciones de aluminio.

Cobre y aleaciones de cobre.

Níquel y aleaciones de níquel.

Electrodos cubiertos

Se clasifican de acuerdo con los requisitos de especificaciones emitidas por la American Welding Society. Los números de especificaciones de la AWS y las clasificaciones de electrodos correspondientes se muestran en la Tabla 2.1.

Los electrodos se clasifican con base en la composición química o en las propiedades mecánicas, o ambas cosas, de su metal de soldadura sin diluir. Los electrodos de acero al carbono, acero de baja aleación y acero inoxidable también se clasifican de acuerdo con el tipo de corriente de soldadura con la que trabajan mejor, y en ocasiones de acuerdo con las posiciones de soldadura en las que pueden emplearse.

Tabla 2.1. Otros tipos de electrodos son clasificados de diferente manera, ver la tabla inferior, enlista las especificaciones de recubrimientos de metal de aporte para SMAW por la AWS.

Designación	Título
A 5.1	Electrodos para SMAW aceros al carbón
A 5.3	Electrodos para SMAW aluminio y aleaciones de aluminio
A 5.4	Electrodos para SMAW aceros inoxidable
A 5.5	Electrodos recubiertos para soldadura de arco aceros baja aleación
A 5.6	Electrodos recubiertos para soldadura de arco cobre y aleaciones de cobre
A 5.11	Electrodos de soldadura para SMAW níquel y aleaciones de níquel
A 5.13	Electrodos y varilla de soldadura sólidos superficiales
A 5.15	Electrodos y varilla de soldadura para hierro gris
A 5.21	Electrodos y varilla de soldadura compuestos superficiales

Especificaciones AWS A 5.1

Es la especificación de electrodos para acero al carbono. Se aplica un sistema muy elemental para clasificación de los electrodos, formado por una H seguida de cuatro dígitos, (a veces 5).

E = XXXX

Cuyo significado es el siguiente:

La E significa que es electrodo para soldadura manual al arco.

Los dos primeros dígitos significan la carga de rotura del metal aportado no diluido, expresado en Ksi (= p.s.i./10).

Por ejemplo si las dos primeras cifras es /60, significa que la carga de rotura del metal aportado no diluida es 60 Ks.i (=60,000 p.s.i.). (a veces son 3 cifras).

La tercera cifra significa la posición de soldeo para la que se recomienda.

Significa que es apropiada para todas las posiciones.

Solamente en posición horizontal y cornisa.

La cuarta cifra significa las características eléctricas de la corriente a utilizar, de acuerdo con la siguiente tabla 2.

Especificaciones AWS A 5.5

Esta clasificación especifica los electrodos para materiales base de acero de baja aleación, utilizando para ello un sistema de designación similar al citado en AWS A 5.1. Además de los cuatro numerales anteriormente citados se añade su sufijo que es indicativo de la composición química del metal aportado, por ejemplo:

E = 7010 – A1

E = 8016 – C2

Etc.

La clasificación de los electrodos incluidos en esta especificación y que son los siguientes: Electrodos de acero al carbono, molibdeno, aceros al cromo-molibdeno, aceros al níquel y aceros al manganeso-molibdeno.

Cabe indicar que las propiedades de algunos electrodos se especifican para su condición "As'Welded", mientras que en otros estas propiedades se especifican después de un determinado tratamiento térmico posterior a la soldadura.

Es muy importante en estos electrodos el control de la humedad en el revestimiento de los que se hablará en otros apartados. Los revestimientos de estos electrodos están fabricados con ingredientes de poco contenido en humedad y celulosa, y, por consiguiente, de bajo contenido en hidrógeno. Esta especificación limita el contenido de humedad, pero recomienda un margen entre el 0.2 y el 0.6%. El hidrógeno es responsable del agrietamiento bajo cordón y de la baja ductibilidad de las soldaduras, por lo que se utilizan electrodos de bajo contenido de hidrógeno en aceros temporales.

Especificación AWS A 5.4

Clasifica los electrodos revestidos, para la soldadura de aceros resistentes a la corrosión, y tal clasificación se basa en la composición del metal aportado no diluido, las posiciones de soldadura, y el tipo de corriente para los que el electrodo es adecuado.

Por ejemplo, del electrodo tipo:

E = 310 – 15

E: Significa electrodo para soldar el arco

310: Significa el tipo de aleación según la correspondiente especificación ASTM.

1: Significa que el electrodo es adecuado para todas las posiciones de soldeo.

5: Significa que el electrodo es adecuado para corriente continua con electrodo positivo (polaridad inversa).

En ocasiones, después de los tres primeros dígitos se añade el símbolo de algún elemento de aleación incluido; por ejemplo el tipo:

E = 310 Mo – 15

Contiene molibdeno

Las especificaciones no describen la composición del revestimiento, aunque los revestimientos de los electrodos en (- 15) contienen caliza (CO₃ CA) en el mismo, que genera en el arco el CO Y CO₂ necesarios para la protección.

El agente ligante es el silicato de sodio. Con estos electrodos se obtienen mayor penetración y una superficie de cordón más convexa. La escoria solidifica más rápidamente, y por eso se utilizan en trabajos de muchas posiciones (por ejemplo en soldadura de tubería).

Los electrodos cuya denominación finaliza en (-16) contienen en el revestimiento titanio, además del carbonato de sodio, sirviendo de agente el silicato potásico. El cordón, con estos electrodos, es más uniforme y aplazado,

con menos proyecciones, siendo su escoria más fluida, y por ello más difíciles de utilizar en posiciones distintas de la horizontal.

Normalmente, la composición del metal aportado no diluido es similar a la del metal base para el que están recomendados.

En algunos tipos se pospone la letra (L) indicativa de que son de bajo contenido de carbono (Low Carbón), con lo que disminuye la posibilidad de formación y precipitación de carburos.

La composición de muchos de los electrodos inoxidables austeníticos se ajusta para obtener un mínimo de contenido ferrita del 3 al 5%, pudiendo llegar a cifras tan altas como del 20% en algunos aceros para los que no se aplicará tratamiento térmico posterior. El contenido de ferrita en el metal aportado se puede deducir.

Mediante el diagrama de SCHAEFFLER, de que se habla en otros capítulos. Mediante métodos magnéticos (por ejemplo, según las Especificaciones AWSA 4.2, "Standard Procedures for Calibrating Magnetic Instruments to Measure Delta Ferrite Content of Austenitic Stainless Steel Weld Metal.

No obstante, algunos electrodos austeníticos (tipo 310, 320 y 330 por ejemplo) no forman ferrita por que el contenido de níquel es demasiado alto. En estos aceros, y para evitar la fisuración, se limita el contenido máximo en azufre, fósforo y silicio, o se aumenta el contenido de carbono.

Esta especificación AWS A 5.4 contiene dos clasificaciones de electrodos para soldaduras de aceros aleados con alto contenido en cromo (Serie 4 XX); una contiene un 11-13.5% Cr, y el otro 15-18% Cr, con un 0.1% C. Máximo. Ambos tipos aportan un material templeable y requieren de estudio cuidadoso de los precalentamientos y tratamientos térmicos posteriores.

Está especificación también contiene tres tipos de electrodos para aceros del 4 al 10% Cr, templeables y para, los que también se estudiarán los precalentamientos y tratamientos térmicos adecuados.

Especificación AWS A 5.11

Clasifica a los electrodos revestidos para soldar níquel y sus aleaciones. Normalmente estos electrodos tienen composición similar a los del material base, pero añadiendo determinados elementos de aleación (titanio, magnesio, niobio, etc.) para desoxidar el baño y evitar el agrietamiento.

Su denominación es del tipo:

E Ni XX - X

E : Significa electrodo

Ni: Significa que el material es de base níquel

El tercer y cuarto símbolo: Los elementos de aleación (por ejemplo, Cr, Fe).

El quinto símbolo es un número que indica el orden correlativo del material dentro de los de su grupo. (del 1 en adelante).

La resistividad del alma de estos elementos es alta, por lo que una excesiva intensidad puede sobrecalentar y detectar y deteriorar el revestimiento, y producir excesivas proyecciones.

Especificaciones AWS A-5.3.

Contiene dos clasificaciones de electrodos revestidos para soldar aleaciones de aluminio comercialmente puro (aleación 1100), y en el otro caso es aluminio con un 5% de silicio (aleación 4043).

Ambos tipos se sueldan con corriente continua y electrodo positivo.

Los materiales de base Hierro.

El revestimiento de estos electrodos tienen tres funciones: produce un gas que protege al arco; un flux para disolver el óxido de aluminio y una escoria protectora del cordón de soldadura.

Esta escoria es sumamente corrosiva, y es preciso eliminar al finalizar la soldadura.

Al igual que en el resto de las especificaciones, es preciso un cuidadoso secado de los electrodos para evitar porosidades.

En uniones, al interrumpirse el arco solidifica la escoria en el extremo del electrodo, y es preciso eliminarla antes de establecer el arco.

Estos materiales aportados con estos electrodos no responden a tratamientos térmicos por precipitación.

Especificaciones AWS A-5.6

Clasifica los electrodos de cobre y sus aleaciones, sobre la base de la composición química del metal no diluido. La clasificación se efectúa en forma similar a la ya indicada para el níquel, con la diferencia de que la clasificación dentro de cada grupo se distingue por una letra final que puede ir a su vez de un número correlativo.

Por ejemplo, E Cu al -A2.

E: Significa electrodo

Cu: Significa que es en base cobre

Al: Significa que esta aleado con Al

A2: Número de orden dentro del grupo

Los grupos a que se establecen son los siguientes:

Cobre (E Cu) = Se utiliza para cobre no aleado, y para reparaciones de recargues de cobre sobre acero o hierro fundido.

Bronce-silicio (E Cu Ci) = Se utilizan para soldar aleaciones de cobre-zinc, cobre y algunos materiales de base hierro, y para recargues existentes a la corrosión.

su anéxos los símbolos

de granulos de carburo tung:

Bronce-Fósforo (E Cu Sn) = Se utilizan para soldar bronce, fosforo y latón, también para soldar aleaciones de cobre con acero y hierro, fundido son muy viscosos cuando funden, mejorando su fluidez precalentando a unos 200° C.

Cupro-níquel (E Cu Ni) = Se utilizan para soldar aleaciones de cupro-níquel, y para recargues sobre acero. En general, no necesitan precalentamientos.

Bronce-aluminio= Sirven para soldar diversas aleaciones de bronce y también para metales férreos. Suelen soldar bien en posición horizontal, y precisan cierto precalentamiento.

Especificación AWS A-5.15

Clasifica los electrodos revestidos para soldar fundiciones (hierro fundido).

La fundición gris se suelda con electrodos especiales, precalentando el metal base a temperatura entre 150° y 750°.

Algunos electrodos son de base níquel, utilizándose para reparar fundiciones, y también para soldarlas entre sí y con otros metales.

Otros electrodos son de bronce fosforoso ó de bronce aluminio, siendo su punto de fusión al del hierro fundido, debiendo precalentar a unos 200° C y soldando con electrodo positivo, y con baja intensidad.

Especificaciones AWS A 5.13 Y A 5.21

Clasifican electrodos revestidos para reobtener resistencias contra el impacto, corrosión, etc.

El alma de los electrodos de A 5.13 son alambres macizos, y los de la A. 5.21 son tubulares y rellenos de flux (Flux composited cored electrodes).

La designación de estos electrodos es similar a la de los electrodos en clase cobre, con la excepción de los electrodos de carbono tungsteno, en los que de su designación se antepone los símbolos AWC, y suelen ser electrodos tubulares rellenos de gránulos de carburo tungsteno.

Electrodos

Los tamaños y tipos de electrodos para soldadura de electrodo revestido definen los requerimientos de voltaje del arco (dentro de un rango global de 16 a 40 V) y los requerimientos de amperaje (dentro de un rango global de 20 a 550 A). Ver Figura 2.8. La corriente puede ser de dos tipos, alterna y directa.



Figura 2.8. Barras de diferentes tipos de electrodos (10).

Revestimiento del electrodo

Un electrodo revestido está construido por una alma metálica, generalmente de forma cilíndrica, y de un revestimiento de composición química variable, según las características especificadas y su principal aportación es lo siguiente:

- a) Provee una atmosfera protectora y evita oxidación
- b) Revestimiento
- c) Provee desoxidantes y agentes fundentes
- d) Estabiliza las características eléctricas
- e) Provee capa de escoria para mejorar propiedades
- f) Provee valor en la adición de elementos para ayudar
- g) A las propiedades mecánicas

Las composiciones de los recubrimientos de los electrodos pueden ser orgánicas o inorgánicas, y estas sustancias se pueden subdividir en las que forman escoria y las que son fundentes.

Algunos de los principales compuestos son:

- a) Para la formación de escoria se utilizan SiO_2 , MnO_2 y FeO
- b) Para mejorar el arco se utilizan Na_2O , CaO , MgO y TiO_2
- c) Desoxidantes: grafito, aluminio, polvo de hierro
- d) Para mejorar el enlace: silicato de sodio, silicato de potasio y asbestos
- e) Para mejorar la aleación y la resistencia de la soldadura: vanadio, cesio, cobalto, molibdeno, aluminio, zirconio, cromo, níquel, manganeso y tungsteno.

El diámetro del electrodo se mide en el núcleo y determina la intensidad de corriente promedio que debe utilizarse. Por ejemplo, para un diámetro de 4 mm

Puede emplearse una corriente de unos 150 a 200 A. En cuanto a la longitud de los electrodos la medida más usual es la de 356 mm (14") existiendo además electrodos de 229 mm (9") y de 457mm (10 ").

Funciones del revestimiento.

El revestimiento realiza un gran número de funciones cuyo estudio constituye la técnica del electrodo.

a) Función eléctrica del revestimiento.

Sabemos que la existencia de un arco depende del estado de la ionización de los gases existentes entre el ánodo y el cátodo. Se sabe que los arcos eléctricos son inestables a causa de sus características, negativas debido al hecho de que la resistencia disminuye cuando la intensidad del arco aumenta.

El revestimiento contribuirá a la estabilidad del arco. Así mismo, los factores que actúan sobre la estabilidad del arco son numerosos.

Tiene mucha importancia para los electrodos que lo hagan con corriente continua. En corriente continua, la alta temperatura del cátodo conserva la ionización del medio en el cual salta el arco y éste permanece estable.

Por el contrario, para la corriente alterna el arco se apaga en cada semiperiodo y, en ese instante, resulta necesaria facilitar su reencendido empleando sales susceptibles de desprender vapores ionizantes

b) Función Física del revestimiento.

El revestimiento debe facilitar la soldadura en distintas posiciones; vertical, horizontal y en techo; realizar, según su naturaleza, un cordón convexo o cóncavo. En esta función intervienen dos elementos:

La naturaleza del revestimiento, que determine la viscosidad de la escoria y el espesor del revestimiento.

Por otro lado, la velocidad de las reacciones y los cambios entre la escoria y el metal se facilitan con una escoria fluida. Por todas estas razones es necesario buscar, como en los revestimientos básicos, escorias pocas viscosas, que facilitan la fijación del magnesio o de los elementos especiales en el baño fundido y también para lograr la desulfuración y la desfosforación de la soldadura.

c) Función metalúrgica del revestimiento.

Los revestimientos no solo contienen elementos estabilizadores y elementos formadores de escoria, sino que también tienen elementos reductores y elementos útiles que se fijan en el metal fundido con el fin de aumentar las cualidades mecánicas del material depositado.

Figura 2.8. Clasificación de E.A.

La naturaleza de las escorias obtenidas después de la soldadura, depende esencialmente de los productos que entra en el revestimiento. Es necesario, por tanto, empezar por definir la naturaleza de los revestimientos.

2.1.6 Clasificación de electrodos para el proceso de soldadura de arco eléctrico SMAW (1, 2, 4).

El diámetro del electrodo se mide en el núcleo y determina la intensidad de corriente promedio que debe utilizarse. Por ejemplo, para un diámetro de 4 mm puede emplearse una corriente de unos 150 a 200 A. En cuanto a la longitud de los electrodos la medida más usual es la de 356mm (14") existiendo además electrodos de 229 mm (9") y de 457mm (10 ")

Los electrodos para este tipo de soldadura están sujetos a norma de calidad, resultados y tipos de uso. La nomenclatura es la siguiente. Ver Figura 2.9.

E-XX-X-X

a) La **E** indica que se trata de un electrodo con recubrimiento.

E 70 18 H4 R	
E	Electrodo
70	Resistencia a la tensión (ksi)
1	Posiciones
8	Tipo de recubrimiento y corriente
H4	Nivel de hidrógeno
R	Cumple los requerimientos del ensayo de absorción de humedad

Figura. 2.9. Clasificación de Electrodos (2).

b) El primero o 2 de tres dígitos indican el esfuerzo mínimo a la tensión en 1,000 psi del metal depositado, ver Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas de resistencias a la tensión (1, 2, 4).

Clasificación AWS	Valores Mínimos ((lb/pulg ²))	
	Resistencia a la tensión	Límite de cedencia
E60XX	62,000	50,000
E70XX	70,000	57,000
E80XX	80,000	67,000
E90XX	90,000	77,000
E100XX	100,000	87,000
E110XX ^a	110,000	95,000
E120XX ^a	120,000	107,000

En este tipo de electrodos se utiliza recubrimiento tipo bajo hidrógeno únicamente

c) El tercero o cuarto dígito indican la posición del electrodo a ser usado en la soldadura, donde se usan diferentes dígitos. Ver la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Posiciones de soldadura (2).

Clasificación	Posiciones
EXX1X	Plano, horizontal, vertical, sobrecabeza
EXX2X	Plano, horizontal (filete)
EXX4X	Plano, horizontal, vertical descendente, sobrecabeza

C) El cuarto o quinto dígito indica la corriente, características o tipo de recubrimiento del electrodo. Ver la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Tipos de recubrimiento, de corriente y características (2).

Clasificación	Recubrimiento	Tipo de Corriente	Penetración
EXXX0	Celulósico, sodio	DCEP	Profunda
EXX20	Oxido de hierro, sodio	DCEN, DCPE, AC	Media
EXXX1	Celulósico, potasio	AC, DCEP	Profunda
EXXX2	Rutilico, Sodio	AC, DCEN	Media
EXXX3	Rutilico, Potasio	AC, DCEP, DCEN	Ligera
EXXX4	Rutilico, Polvo de hierro	AC, DCEP, DCEN	Ligera
EXXX5	Bajo hidrógeno, Sodio	DCEP	Media
EXXX6	Bajo hidrógeno, Potasio	AC, DCEP	Media
EXXX7	Óxido de Hierro, Polvo de hierro	AC, DCEP, DCEN	Media
EXXX8	Bajo hidrógeno, Polvo de hierro	AC, DCPE	Media
EXXX9	Óxido de hierro, Rutilico, Potasio	AC, DCEP, DCEN	Media

Ejemplo: E-7018-Mo

E = Electrodo cubierto

70 = 70 X 1000 PSI = 70.000 PSI de fuerza tensión

1 = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza)

8 = AC o DCEP Corriente Alterna o Directa con electrodo positivo

Mo = Molibdeno en el material después de depositado

2.1.7 Aplicaciones

Materiales

El proceso SMAW puede servir para unir la mayor parte de los metales y aleaciones comunes. La lista incluye los aceros al carbono, los de baja aleación, los aceros inoxidable y el hierro colado, así como cobre, níquel y aluminio y sus aleaciones.

El proceso no se usa para materiales en los que resulta insatisfactoria la protección del arco provista por los productos gaseosos de una cobertura de electrodo.

Espesores

El proceso SMAW se puede adaptar a materiales de cualquier espesor dentro de ciertos límites prácticos y económicos. La mayor parte de las aplicaciones de este proceso implican espesores de entre 3 y 38 mm (1/8 y 1.5 plg), excepto cuando la configuración de las piezas de trabajo es irregular.

Posición de la soldadura

Con el proceso SMAW puede soldarse en cualquier posición con la mayor parte de los materiales para los que el proceso es apropiado

Ubicación de la soldadura

Puede soldarse en interiores y exteriores, en una línea de producción, un barco, un puente, un almacén de edificio, una refinería de petróleo, una tubería a campo traviesa o cualquier otro trabajo de esta clase.

2.1.8 Procedimientos de soldadura

Diámetro del electrodo

El diámetro de electrodo es aquel que, usado con el amperaje y velocidad de desplazamiento correcto, produce una soldadura del tamaño requerido en el tiempo más corto posible.

En general se escogerán electrodos más grandes para aplicaciones que impliquen materiales más gruesos y para soldar en la posición plana, a fin de aprovechar sus mayores tasas de deposición.

Al soldar en las posiciones horizontal, vertical y cenital, el metal de soldadura fundido tiende a fluir hacia fuera de la unión debido a la fuerza de gravedad.

Esta tendencia puede controlarse empleando electrodos pequeños a fin de reducir el tamaño del charco de soldadura.

Al seleccionar el tamaño del electrodo también debe considerarse el diseño del surco de la unión. En los surcos en "V", es frecuente usar electrodos de diámetro pequeño para la pasada inicial, a fin de evitar la perforación y controlar la forma de la franja.

Por último, la experiencia del soldador a menudo influye en la elección del tamaño del electrodo, sobre todo cuando se va a soldar fuera de posición, ya que la habilidad del soldador determina el tamaño del charco de soldadura que puede controlar.

Corriente de soldadura

La soldadura por arco de metal protegido puede efectuarse con corriente tanto alterna como continua, siempre que se use el electrodo adecuado. El tipo de corriente de soldadura, la polaridad y los constituyentes de la cobertura del electrodo afectan la rapidez de fusión de todos los electrodos cubiertos. Para un electrodo determinado, la rapidez de fusión se relaciona directamente con la energía eléctrica suministrada al arco. Parte de esta energía se destina a fundir una porción de metal base, y otra parte sirve para fundir el electrodo.

Longitud del arco

Es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del charco de soldadura. La longitud de arco correcta varía con la clasificación del electrodo, su diámetro y la composición de su cobertura; asimismo varía con el amperaje y la posición de la soldadura. La longitud del arco aumenta al incrementarse el diámetro del electrodo y el amperaje. Por lo general, la longitud del arco no debe exceder el diámetro del alambre del núcleo del electrodo, aunque suele ser aun más corta en el caso de electrodos con cobertura gruesa, como los de hierro en polvo o de arrastre. Si el arco es

demasiado corto, puede ser irregular y entrar en cortocircuito durante la transferencia de metal. Por otro lado, si el arco es demasiado largo, carecerá de dirección e intensidad, y tenderá a dispersar el metal fundido que viaja desde el electrodo hasta la soldadura.

El control de la longitud del arco es en gran medida cuestión de habilidad del soldador, e implica conocimientos, experiencia, percepción visual y destreza manual. Aunque la longitud del arco varía dentro de ciertos límites al cambiar las condiciones, hay algunos principios fundamentales que pueden servir como guía para determinar la longitud del arco correcta para un conjunto de condiciones determinado.

Si se suelda con la mano hacia abajo, la punta del electrodo puede arrastrarse suavemente a lo largo de la unión. En este caso, la longitud del arco estará determinada automáticamente por el espesor del recubrimiento y la rapidez de fusión del electrodo; además, será uniforme. En la soldadura vertical o cenital, el soldador debe estimar la longitud del arco. En estos casos, la longitud correcta será aquella que permita al operador controlar el tamaño y el movimiento del charco de soldadura.

En las soldaduras de filete, el arco debe introducirse en la unión a fin de obtener una penetración y tasa de deposición óptimas. Lo mismo se aplica a las pasadas de raíz en las soldaduras de surco en tuberías.

Velocidad de recorrido

Es la rapidez con que el electrodo se desplaza a lo largo de la unión. La velocidad de recorrido correcta es aquella que produce una franja de soldadura con el perfil y el aspecto correctos. Son varios los factores que determinan cual debe ser la velocidad correcta:

- a) Tipo de corriente de soldadura, amperaje y polaridad.
- b) Posición de soldadura.

- c) Rapidez de fusión del electrodo.
- d) Espesor del material.
- e) Condición de la superficie del metal base.
- f) Tipo de unión.
- g) Embonamiento de la unión.
- h) Manipulación del electrodo.

Al soldar, la velocidad de recorrido debe ajustarse de modo que el arco vaya un poco adelante del charco de soldadura. La velocidad de recorrido también influye en el aporte de calor, y por tanto afecta las estructuras metalúrgicas del metal de soldadura y de la zona térmicamente afectada. Si la velocidad de recorrido es baja, se incrementa el aporte de calor y en consecuencia la anchura de la zona térmicamente afectada, y se reduce la rapidez de enfriamiento de la soldadura. (Figura 2.10).

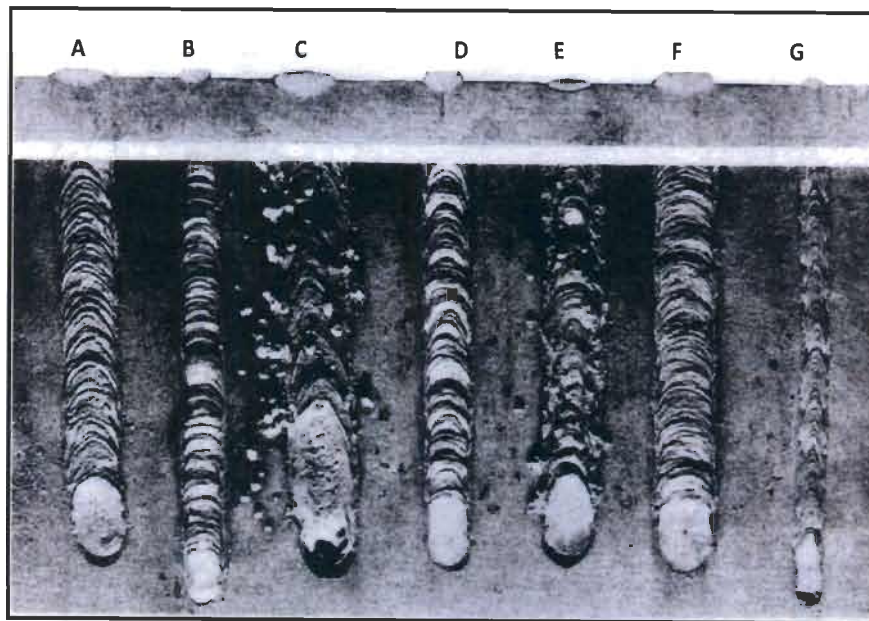


Figura 2.10. Efectos de amperaje, la longitud del arco y la velocidad de recorrida al soldar; (A) amperaje, longitud de arco y velocidad de recorrido correctos; (B) amperaje demasiado bajo; (C) amperaje demasiado alto; (D) arco demasiado corto; (E) arco demasiado largo; (F) velocidad de recorrido demasiado lenta; (G) velocidad de recorrido excesiva (5).

Orientación del electrodo

La orientación del electrodo con respecto al trabajo y al surco de soldadura es importante para la calidad de la soldadura. Una orientación incorrecta puede causar atrapamiento de escoria, porosidad y socavamiento. La orientación adecuada depende del tipo y tamaño del electrodo, la posición de soldadura y la geometría de la unión. Un soldador experimentado toma en cuenta todos estos factores automáticamente al determinar la orientación que usara para una unión específica. Se emplea el ángulo de desplazamiento y el ángulo de trabajo para definir la orientación del electrodo como se muestra en la Figura 2.11.

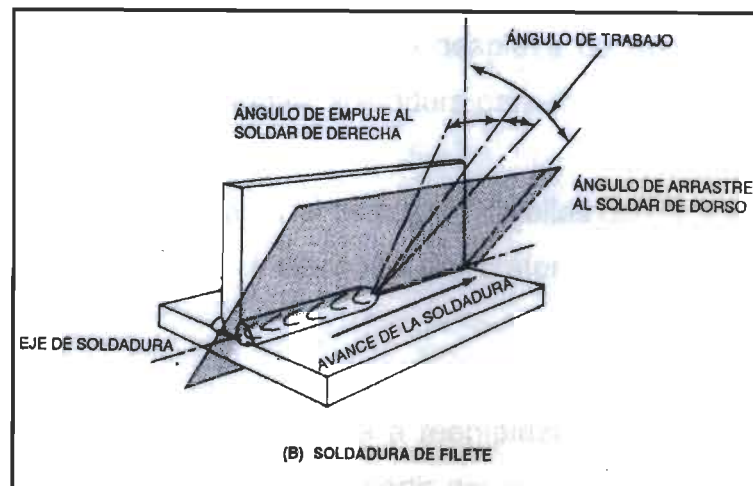
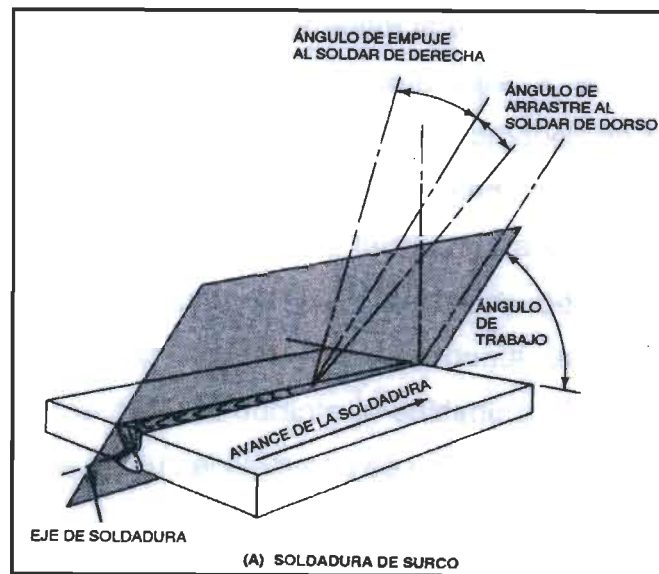


Figura 2.11. Ángulos de desplazamiento de trabajo para definir la orientación del electrodo (6).

2.1.9 Técnica de soldadura

El primer paso para soldar por arco de metal protegido es reunir el equipo, materiales y herramientas apropiados para el trabajo. A continuación hay que determinar el tipo de corriente de soldadura y su polaridad, y ajustar la fuente de potencia de manera acorde. También es preciso ajustar la fuente de potencia de modo que produzca la característica volt-ampere apropiada para el tamaño y tipo de electrodo que se usara. Después de esto, el trabajo se coloca en posición para soldar y, de ser necesario, se sujeta.

El arco se enciende golpeando suavemente la pieza de trabajo con la punta del electrodo cerca del lugar donde se comenzara a soldar, y retirando de inmediato el electrodo una distancia corta para producir un arco de la longitud correcta. Cuando el electrodo toca el trabajo, tiende a pegarse; el propósito del movimiento de golpe es evitar esto. La técnica para volver a encender el arco una vez que se ha interrumpido varia un poco dependiendo del tipo de electrodo. En general, la cobertura de la punta del electrodo se vuelve conductora cuando se calienta durante la soldadura. Esto ayuda a reiniciar el arco si se hace antes de que el electrodo se enfríe.

Durante la soldadura, el operador mantiene una longitud de arco normal moviendo el electrodo uniformemente hacia el trabajo conforme el electrodo se funde. Al mismo tiempo, el electrodo se desplaza de manera constante a lo largo de la unión en la dirección de soldadura para formar la franja.

Hay varias técnicas para romper el arco. Una de ellas consiste en cortar el arco rápidamente y luego sacar el electrodo del cráter con un movimiento lateral brusco.

Esta técnica se emplea cuando se va a reemplazar un electrodo agotado, en cuyo caso la soldadura continuara a partir del cráter. Otra técnica consiste en detener el movimiento hacia delante del electrodo y dejar que el cráter se llene,

retirando después el electrodo gradualmente para romper el arco. Cuando se continua una soldadura a partir de un cráter, el arco deberá encenderse en el borde delantero del cráter, moverse de inmediato al lado opuesto del cráter y adelantarse lentamente para continuar con la soldadura. Así, el cráter se llenara sin causar porosidad ni atrapar escoria. Esta técnica tiene importancia especial cuando se usan electrodos de bajo hidrogeno.

2.1.10 Calidad de la soldadura

Normalmente la calidad de la soldadura en reparaciones de ductos es realizada mediante ensayos no destructivos tales como; inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido y radiografía; y mediante estas técnicas se detectan los diferentes tipos de discontinuidades en las uniones soldadas que pueden ser defectos rechazables según la especificación aplicada.

De tal manera podemos definir que la calidad de una soldadura es igual al grado en que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos y/o es aquella que cumple con los requisitos correspondientes al equipo o estructura a la que pertenece con el mínimo costo. Estos requisitos están vinculados en general a un código o norma técnica. (Ejemplo: ASME, AWS).

Hay varias razones para realizar la inspección de una unión soldada. Quizás la razón más importante es determinar si dicha unión es de la calidad adecuada para su aplicación. Para determinar la calidad de una unión soldada, primero debemos tener alguna forma de evaluar y comparar sus características. Es poco práctico tratar de evaluar una soldadura, sin algún criterio de aceptación específico.

Los criterios de aceptación de la calidad de soldadura pueden provenir de diversas fuentes. Los dibujos de fabricación suelen mostrar el tamaño de los

cordones, su longitud y ubicación. Estos requisitos dimensionales generalmente han sido establecidos a través de cálculos tomados de diseños que cumplen los requerimientos de la unión soldada.

De los códigos y normas de soldadura se obtienen los criterios de aceptación de las dimensiones y de las discontinuidades. Los códigos y las normas han sido desarrollados basándose en la fabricación de juntas soldadas. Es importante elegir un estándar de soldadura que considere la industria o la aplicación específica en la que se está involucrado.

Como logramos una soldadura de calidad:

- 1.- Un buen proyecto
- 2.- Calificación del Procedimiento de soldadura
- 3.- Calificación de los soldadores
- 4.- Control de calidad de los materiales y equipos utilizados
- 5.- Control de calidad continuo durante la aplicación de la soldadura por el soldador.
- 6.- Control de calidad por el inspector.
- 7.- Control de calidad por el personal especializado.

Calificación de los procedimientos de soldadura y soldadores:

- 1.- El procedimiento es la especificación por escrito de los parámetros de la soldadura.
- 2.- Calificar es básicamente soldar una probeta y realizar ensayos mecánicos no destructivos
- 3.- Es la base de un esquema de calidad en la soldadura y evita el "ensayo y error".

El proceso de inspección de una unión soldada, requiere una variedad de conocimientos por parte del inspector:

Comprensión de dibujos de soldadura.

Símbolos de soldadura,

Diseño de juntas soldadas,

Elaboración de procedimientos de soldadura,

Conocer e interpretar los requerimientos de códigos y normas

Conocer las pruebas destructivas y no destructivas, aplicadas a soldadura.

Por esta razón muchos códigos y normas de soldadura, requieren que el inspector este formalmente calificado y que tenga los conocimientos y experiencia para llevar a cabo los servicios de inspección.

Métodos para evaluar la calidad de la soldadura

Inspección Visual (VT)

Es sin duda una de las Pruebas No Destructivas (PND) más ampliamente utilizada, gracias a ella, es posible obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que estén siendo inspeccionados.

Líquidos Penetrantes (PT)

El método o prueba de líquidos penetrantes (PT), basado en el principio físico conocido como "Capilaridad", consiste en la aplicación de un líquido con buenas características de penetración, a continuación se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado, revelando las aberturas superficiales.

Partículas Magnéticas (MT)

Este método de Prueba No Destructiva, se basa en el principio físico conocido como Magnetismo, el cual exhiben principalmente los materiales ferrosos como el acero y consiste en la capacidad de atracción entre metales.

De acuerdo con lo anterior, si un material presenta alguna discontinuidad en su superficie, ésta actuará formando polos magnéticos, atrayendo cualquier

material magnético o ferromagnético que esté cercano a la misma. Son utilizados pequeños trozos o diminutas Partículas Magnéticas, las cuales revelarán la presencia de discontinuidades superficiales y/o sub-superficiales en el metal.

Prueba de Ultrasonido (UT)

El método de Ultrasonido se basa en la generación o propagación de ondas sonoras a través del material. Un sensor, que contiene un elemento piezo-eléctrico, convierte los pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, con una frecuencia imperceptible al oído humano. Estas vibraciones se propagan a través del material, y cuando su camino es interrumpido por una interfase, sufren reflexión, refracción ó distorsión. Dicha interrupción se traduce en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación, cambio que es detectado y registrado a través de una pantalla o monitor especialmente diseñado para tal finalidad.

Prueba Radiográfica (RT)

La radiografía como método de prueba no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza a los Rayos X y a los Rayos Gama. Con este tipo de emisiones es posible irradiar un material y, si internamente este material presenta cambios internos considerables como para dejar pasar o retener dicha radiación, entonces es posible determinar la presencia de estas irregularidades, simplemente midiendo o caracterizando la radiación incidente contra la radiación retenida o liberada por el material. Comúnmente, una forma de determinar la radiación que pasa a través de un material, consiste en colocar una película radiográfica, cuya función es cambiar de tonalidad en el área que recibe radiación. El resultado queda plasmado en la película radiográfica situada en la parte inferior del material metálico.

La unión soldada debe tener las cualidades necesarias para desempeñar su función esperada en servicio. La unión he de poseer las propiedades físicas y

mecánicas requeridas, y para esto pueden ser necesarias ciertas microestructuras y composiciones químicas.

También son importantes el tamaño y la forma de la soldadura, así como la integridad de la unión. Tal vez se necesite resistencia a la corrosión, en todos estos aspectos influyen los materiales base, los materiales de soldadura y la manera de soldar.

Es un proceso manual, y la calidad de la unión depende de la habilidad del soldador que la produce; por lo tanto es preciso seleccionar con cuidado los materiales que se usaran, el soldador debe ser apto, y el procedimiento que use debe ser el correcto.

En las soldaduras hechas con el proceso SMAW a veces se encuentran las siguientes discontinuidades:

Porosidad

Son bolsas de gas o huecos en el metal de la soldadura, los cuales son el resultado de la formación de gases por ciertas reacciones químicas que ocurren durante la soldadura. La porosidad puede prevenirse empleando el amperaje apropiado y manteniendo un arco con la longitud correcta.

Inclusiones de escoria

Son los óxidos y sólidos no metálicos que a veces quedan atrapados en el metal de soldadura entre franjas adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base. Durante la deposición y subsecuente solidificación del metal de soldadura, tienen lugar muchas reacciones químicas. Algunos de los productos de estas reacciones son compuestos no metálicos sólidos insolubles en el metal fundido.

tendencia al resquebrajamiento. Or

electrodo a una velocidad de

La mayor parte de las inclusiones de escoria pueden prevenirse con una buena práctica de soldadura y preparando debidamente el surco antes de depositar la siguiente franja de metal de soldadura. En estos casos debe tenerse cuidado de corregir los perfiles que sean difíciles de penetrar como es debido con el arco.

Fusión incompleta

Se refiere a la incapacidad para fusionar franjas adyacentes de metal de soldadura, o el metal de soldadura con el metal base.

La fusión incompleta puede deberse a que el metal base no se elevó al punto de fusión.

La causa puede ser que, por carencia de fundente, no se disolvieron los óxidos o demás materiales extraños que podrían estar presentes en la superficie que debe fusionarse con el metal de la soldadura.

La fusión incompleta puede evitarse asegurándose de que las superficies por soldar están debidamente preparadas y embonadas, y que estén lisas y limpias.

Socavamiento

Este término se usa para describir una de dos situaciones. La primera es cuando se derrite la pared lateral de un surco de soldadura en el borde de la franja, con la formación de un nicho agudo en la pared lateral en el área donde se va a depositar la siguiente franja. La otra es cuando se reduce el espesor del metal base en la línea donde las franjas de la capa final de metal de soldadura se ligan a la superficie del metal base.

Ambos tipos de socavamiento suelen deberse a la técnica de soldadura específica empleada por el operador. Si el amperaje es elevado y el arco largo, aumenta la tendencia al socavamiento. Otras causas son una posición inadecuada del electrodo o una velocidad de recorrido incorrecta, así como

tardarse demasiado en los cambios de dirección de una soldadura zigzagueante.

El grado de socavamiento que se permite en una soldadura terminada por lo regular está determinado por el código de fabricación empleado, y es necesario seguir los requisitos especificados porque un socavamiento excesivo puede reducir apreciablemente la resistencia mecánica de la unión.

Este tipo de socavamiento puede detectarse mediante un examen visual de la soldadura terminada, y puede corregirse mediante abrasión de fusión o depositando una franja adicional.

Grietas

El agrietamiento puede clasificarse en caliente o en frío. Pueden producirse grietas en el metal de soldadura, en el metal base, o en ambos. El agrietamiento en caliente es una función de la composición química, y su causa principal es la presencia en el metal de soldadura de constituyentes con punto de fusión relativamente bajo, los cuales se acumulan en las fronteras de los granos durante la solidificación.

El agrietamiento en frío se debe a falta de ductilidad o a la presencia de hidrógeno en aceros endurecibles. La causa de esta condición es una tenacidad deficiente en presencia de muesca mecánica o metalúrgica y esfuerzos de cierta magnitud.

Para evitar el agrietamiento en frío de aceros endurecibles es preciso emplear electrodos de bajo hidrogeno secos y un precalentamiento adecuado. También se requiere precalentamiento con materiales que son quebradizos o de baja tenacidad.

2.1.11 Capacidades y limitaciones del proceso

Ventajas

- El equipo es relativamente sencillo económico y portátil.
- El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger dicho metal y el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura
- No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular común.
- El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura por arco protegidos con gas.
- Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.
- El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

Desventajas

- Los metales de bajo punto de fusión, como el plomo, el estaño y el cinc, y sus aleaciones, no se sueldan con SMAW porque el intenso calor del arco es demasiado para ellos.
- El proceso no es apropiado para metales reactivos como el titanio, zirconio, Tántalo y colombio porque la protección es insuficiente para evitar que la soldadura se contamine con oxígeno.
- Al encenderse el arco, la corriente fluye a lo largo de todo el electrodo; por lo tanto, la cantidad de corriente que puede aprovecharse está limitada por la resistencia eléctrica del alambre del núcleo.
- Un amperaje excesivo sobrecalienta el electrodo y descompone su cobertura.

2.2 REPARACIÓN DE SOLDADURAS CIRCUNFERENCIALES (1,2, 6)

2.2.1 Introducción

En la reparación de soldadura de filete circunferencial es importante la evaluación numérica del control de las condiciones del espesor mínimo remanente necesarios en la tubería, a fin de evitar quemaduras durante la soldadura a través de la circunferencia del refuerzo a la tubería, para definir las condiciones de aceptabilidad de las pérdidas de espesor de corrosión en las áreas de la tubería a soldar, y para garantizar la integridad de la armadura en condiciones de máxima presión. El objetivo general de esta evaluación numérica, junto con anteriores mediciones experimentales de las tensiones generadas durante la reparación, es optimizar las condiciones de montaje y soldadura de los refuerzos.

P. Cisilino y otros realizaron estudios referentes a la Reparación de Soldaduras de filete circunferencial con espesores mínimos en envolvente para tubería de gas con corrosión, en este estudio utilizaron las condiciones de flujo y presión de 102.77 m / s y 5.88 MPa, el tubo que se evaluó es un API 5L X52 con diámetro 24", y 7.1 mm de espesor nominal y una temperatura del gas es de 50° C.

Los parámetros de soldadura (corriente, voltaje y velocidad) utilizada en este trabajo son: 120 A, 22 V y 10 cm / min, dando un aporte térmico de 1,6 kJ / mm. Los resultados del trabajo previo llevado a cabo por Battelle y otros investigadores muestran que la perforación de la tubería no sucedería si la temperatura en la superficie interna no exceda de 982°C. Otros estudios por el Instituto de Soldadura Edison, demuestran que para los electrodos de 3,2 mm de diámetro a 110 amp con un aporte térmico de 0.9 kJ / mm, el espesor soldable mínimo es de 4 mm el espesor mínimo por debajo del cual la temperatura en la superficie interna de la tubería debe estar por debajo de 982° C La definición del límite de Battelle 982° C de temperatura se basa en la

observación experimental de que la perforación se lleva a cabo cuando la temperatura en la superficie interior del tubo llega a 1260°C . La diferencia de 278°C se introdujo como un margen de seguridad

Aunque la reducción de la presión es obligatoria como medida de seguridad, a fin de evitar un golpe de tuberías durante la reparación, la presión del gas tiene poco efecto sobre la aparición de quemar. Debido a que la superficie caliente es pequeña, las tensiones en la pared de la tubería se redistribuyen en torno a la zona caliente, de la misma manera como ocurre en torno a un pequeño hoyo de la corrosión. Trabajos anteriores indican que la reducción de la presión podría llevar a temperaturas más altas en la superficie interna de la tubería, y en consecuencia a un mayor riesgo

2.2.2 Determinación de Espesores Mínimos Soldables

Para calibrar el modelo, la profundidad del charco fundido (Metal de aporte y metal base) fue determinado experimentalmente durante la soldadura actual del ducto.

Para diferentes presiones de gas interno, pero sin flujo de gas, las profundidades del charco fundido fueron alrededor de 2 mm (0.078"), con una máxima profundidad de 2.3 mm (0.90").

Una calibración conservadora del modelo se hizo mediante una profundidad de fundido de 2.5 mm (0.098"), para un ducto con espesor de 7 mm (0.275"), ya que el proceso de soldadura fue modelado por una técnica incremental, es necesario definir el incremento necesario para lograr la estabilización del proceso térmico.

espesores de 7 mm (0.275") 20 pasos

El número de pasos depende del espesor del tubo, por lo que la analogía de los estudios fueron realizados para diferentes espesores.

El tiempo de soldadura continua es definido por la longitud y la velocidad de combustión (Burn Rate) del electrodo, y fue experimentalmente fijado en un

promedio de 30s. Ya que la analogía es asíntota, el número de pasos del modelo fue definido, de modo que el cambio de valor del fundido se vuelve más pequeño de 0.01 mm/s.

Entonces el cambio de valor en el último paso es extrapolado hasta el tiempo de cálculo de 30s. La Figura 2.12 muestra la distribución de temperatura a través de un espesor para cada paso, para un ejemplo de 5 mm (0.196").

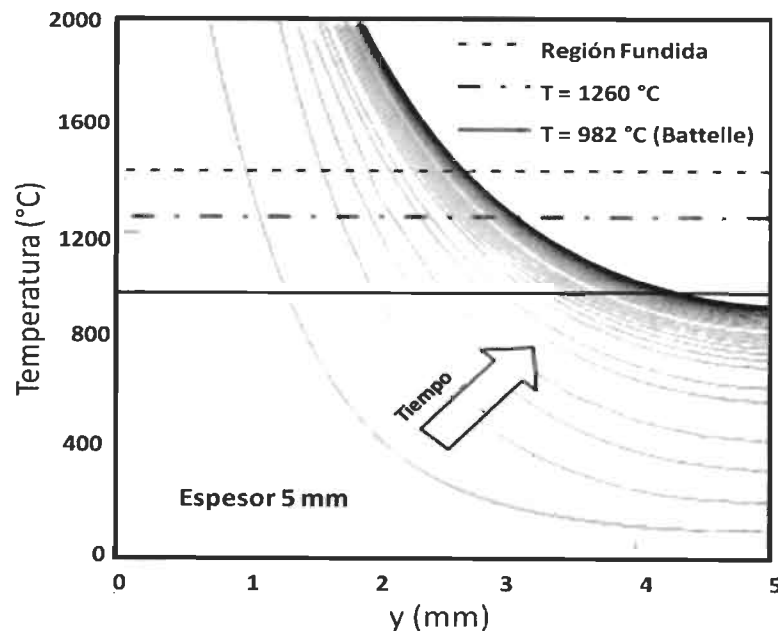


Figura 2.12. Grafica de distribución de temperatura para espesor de pared de 5 mm. (15).

La profundidad es cero en la superficie exterior, donde la fuente de calor es localizada. Se observa que la asíntota analógica del modelo tiende hacia una condición estable.

Para espesores de 7 mm (0.275") 20 pasos (8 seg) fue necesario adaptar un cambio en el incremento del tiempo, mientras que para espesores de 5, 4 y 3 mm, fueron necesarios 40 pasos (16 seg).

La Figura 2.13 muestra el valor de cambio de profundidad del charco fundido como una función de tiempo para espesores de 7 mm. Este valor final fue usado para extrapolar y calibrar el modelo. Este proceso fue usado en todos los modelos, al evaluar la profundidad del charco fundido y la profundidad a la que la temperatura de Battelle es obtenida.

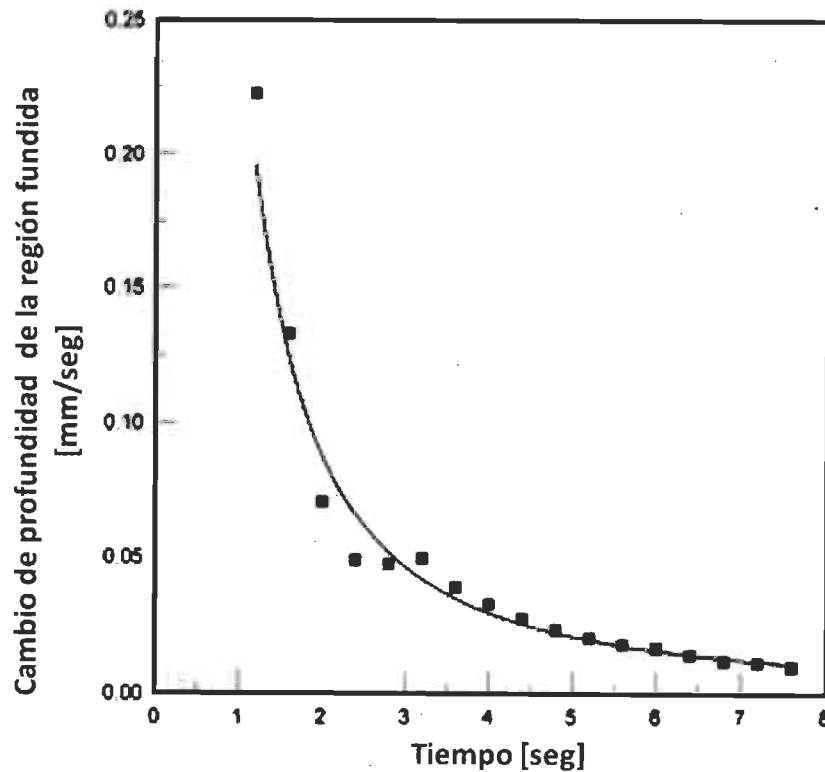


Figura 2.13. Rango de cambio de profundidad del charco como una función de tiempo. (15).

Los isoterms de 1430C (límite del charco fundido), 1200C (temperatura crítica experimental) 982C (límite definido por Battelle), 700, 400 y 70C (temperatura inicial en el ducto), para espesores de 5 mm, con un flujo máximo de gas ($p=100\%$ OP).

Para cualquier condición de flujo de gas, el espesor mínimo considerado, por debajo del cual la temperatura en la parte interior del ducto, es inferior que 982C.

La Figura No. 2.13 a muestra las profundidades a cual las características de temperatura son alcanzadas, como una función de espesor del ducto, para cualquiera de las condiciones de flujo de gas: (a) sin flujo de gas, y con flujo de gas correspondiendo a presiones (b) 60% OP (c) 80% OP y (d) 100% OP.

Las temperaturas expuestas son las del límite del charco fundido (1430C), el límite experimental para quemada (1260C), y la temperatura de Battelle (982C). Las líneas punteadas corresponden a la superficie interna del ducto.

Para un ducto de 7 mm de espesor la profundidad de isoterma de Battelle está cerca de la mitad del espesor en todos los casos, y la temperatura en la superficie interior es entre 300 y 320C. Como el espesor disminuye, la profundidad de isoterma de Battelle incrementa, y este incremento es grande para la presión inferior de gas. Se observa la misma tendencia con la temperatura de la superficie interior. Si el espesor de 5 mm es soldado, las máximas temperaturas en la superficie interior son 935, 965, 1042 y 1056C, correspondientes a presiones de 100, 80, 60 y 0% OP, respectivamente.

Para un espesor de 5 mm, la profundidad del charco fundido es entre 2.7 mm (100% OP) y 3.1 mm (sin flujo de gas). Cuando el arreglo de presión es de 60% OP la profundidad del charco fundido es 2.85 mm (0.112"). Comparando ambos los casos de 60 y 100% OP, la diferencia en la profundidad del charco fundido son pequeñas, pero la temperatura en la superficie interior del ducto varía por 119C. Ver Figura 2.14 a), b), c) y d).

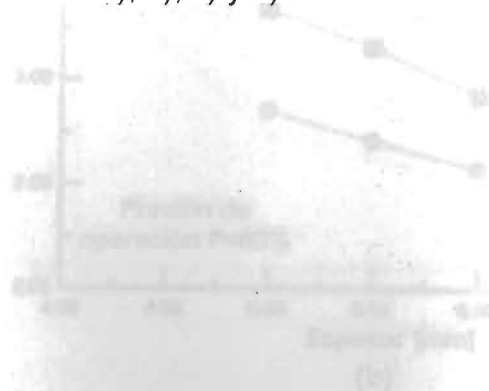


Figura 2.14 b). Rango de cambio de profundidad

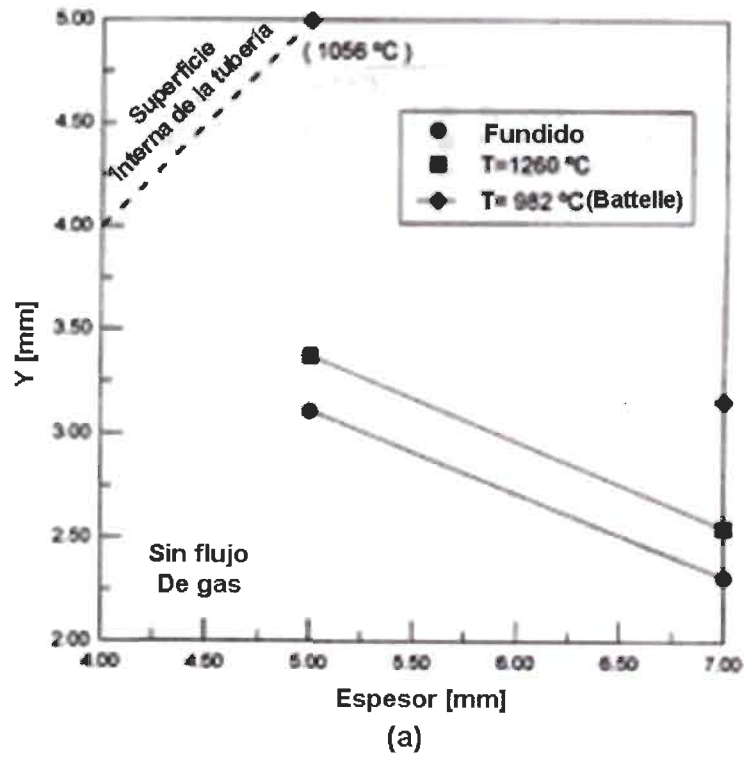


Figura 2.14 a). Rango de cambio de profundidad del charco (15).

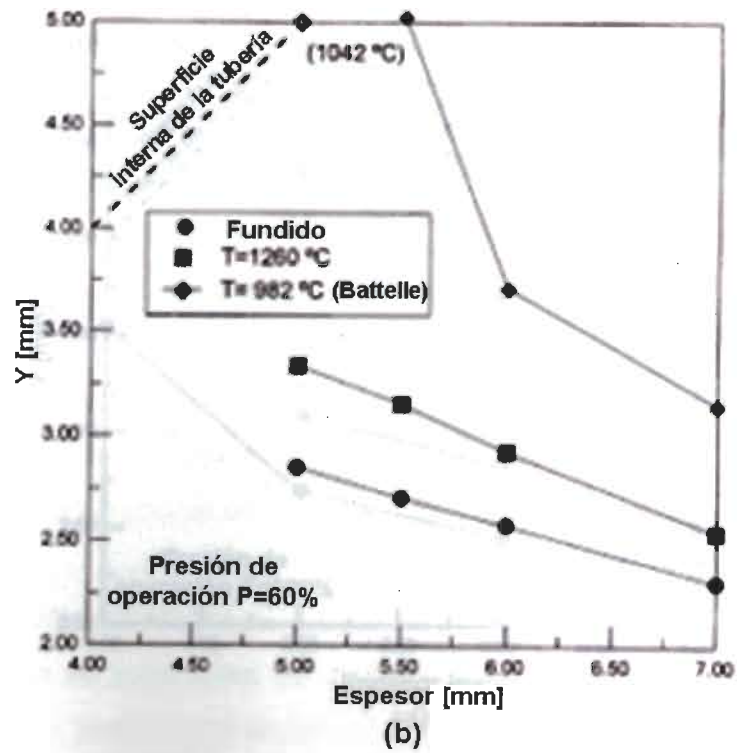


Figura 2.14 b). Rango de cambio de profundidad del charco (15).

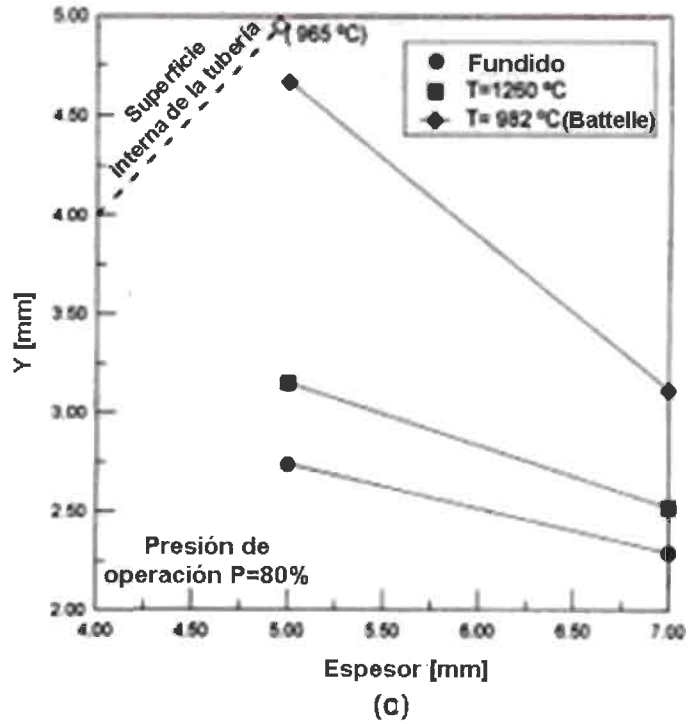


Figura 2.14 c). Rango de cambio de profundidad del charco (15).

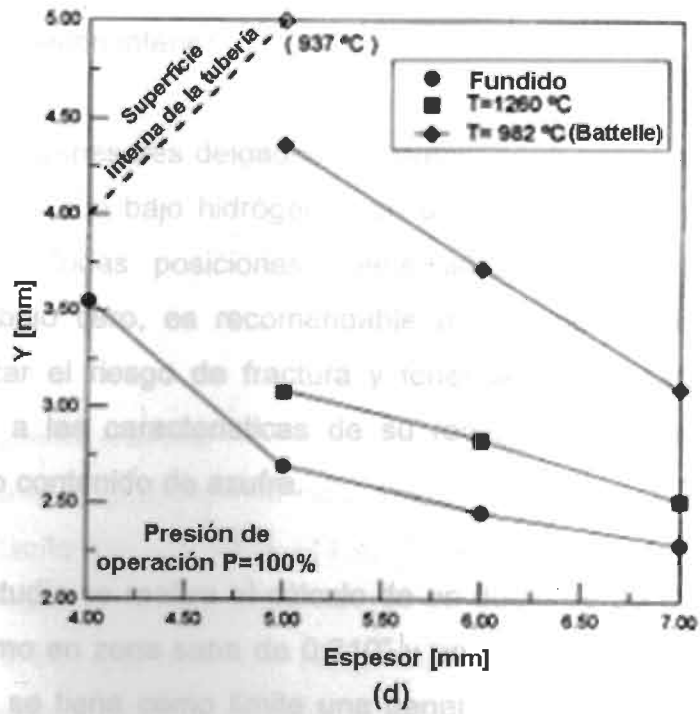


Figura 2.14 d). Rango de cambio de profundidad del charco (15).

El trabajo de P. Cisilino concluye que el espesor mínimo soldable es de 5 mm, para un espesor nominal de la tubería de 7,1 mm. Por lo tanto, es importante asegurar que la inspección de PND de la zona a soldar en la que se detecten pérdidas de espesor no menores de 2 mm, con precisión, especialmente en presencia de pozos de la corrosión y otros defectos de difícil acceso con normalidad transductores ultrasónicos.

2.3 CÁLCULOS DE PRESIÓN REQUERIDA Y ESPESOR MÍNIMO SOLDABLE (1, 2, 6)

2.3.1 Introducción

Una vez conociendo los espesores en zona sana, tenemos en cuenta de igual manera el remanente que genera la penetración del electrodo en el metal base. El riesgo de ruptura del espesor de pared remanente debido a la penetración completa del arco sobre la tubería presurizada, se puede presentar cuando la resistencia del material debajo del fundido de soldadura, no tiene la capacidad de contener la presión interior.

Para ductos con espesores delgados y prevenir algún riesgo, es recomendable utilizar electrodos con bajo hidrógeno con polvo de hierro en el revestimiento para soldar en todas posiciones. Tiene altas propiedades mecánicas a temperaturas bajo cero, es recomendable para depósitos en los cuales se desee minimizar el riesgo de fractura y tener la menor cantidad posible de poros, debido a las características de su recubrimiento; para soldadura de aceros con alto contenido de azufre.

Como caso estudio se realiza el cálculo de un ducto de 36"Ø, con un espesor de pared mínimo en zona sana de 0.210" y un máximo de 0.250" mencionado anteriormente, se tiene como límite una penetración del electrodo de hasta 2 mm (0.078"), se requiere conocer el espesor mínimo requerido a una

determinada presión de operación para no rebasar esa limitante, evitando así la ruptura en el espesor de pared remanente.

Es recomendable utilizar Electrodo E7018 con bajo hidrógeno con polvo de hierro para espesores delgados.

2.3.2 Procedimiento de cálculo

El cálculo de la presión requerida de operación debe basarse en la consideración del espesor de pared remanente efectivo del tubo. La reducción de la presión de operación se debe determinar mediante el empleo de las siguientes ecuaciones de acuerdo a normatividad API B31.8a-2000 en párrafo 841.11 (fórmula de diseño de tubería de acero)

Para calcular presión requerida conociendo el espesor medido en zona sana con la norma API B31.8a-2000 841.11 (Steel Pipe Design Formula)

$$P = \frac{2St}{D} FET \quad (1)$$

Para calcular espesor mínimo conociendo la presión de operación tenemos:

$$t = \frac{PD}{2SFET} \quad (2)$$

Donde:

D = diámetro exterior nominal

E = factor de junta longitudinal (ver tabla 841.115 A)

F = factor de diseño (ver tabla 841.114 A)

P = presión de diseño (ver tabla 841.111)

S = esfuerzo mínimo a la cedencia (ver tabla 841.112)

T = factor de temperatura (ver tabla 841.116 A)

t = espesor de pared

Teniendo el ducto con corrosión localizada, en donde el material remanente del tubo no reúne los límites de profundidad y longitud de acuerdo a lo indicado, debe reducir su presión de operación a valores confiables teniendo que él.

Cálculo de Presión Requerida utilizando un factor de diseño de 0.72 (Clase 1, Div. 2) donde el factor básico de diseño es tomado de la tabla API 841.114 A. Ver Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Factor básico de diseño

FACTOR BÁSICO DE DISEÑO	
CLASE LOCACIÓN	FACTOR DE DISEÑO
CLASE LOCACIÓN 1, DIVISIÓN 1	0.80
CLASE LOCACIÓN 1, DIVISIÓN 2	0.72
CLASE LOCACIÓN 2	0.60
CLASE LOCACIÓN 3	0.50
CLASE LOCACIÓN 4	0.40

Donde:

$$P = \frac{2St}{D} FET \quad (1)$$

Para un espesor de pared mínimo

$$t_{\min} = 0.210$$

Donde:

$$P = \frac{2(52000)(0.210)}{36} \times (0.72) (1) (1)$$

$$P = 436.8 \text{ psi}$$

Para

$$t_{\text{máx.}} = 0.250''$$

$$P = 520 \text{ psi}$$

Para

$$t_{\text{prom}} = 0.230''$$

$$P = 475.4 \text{ psi}$$

Donde el Cálculo de Presión Requerida debajo de la fundición de soldadura utilizando un factor de diseño de 0.72 (Clase 1, Div. 2)

Para

$$t_{\min} = 0.210'' - 0.078'' = 0.132''$$

$$P = 274.56 \text{ PSI}$$

Y

Para

$$t_{\max.} = 0.250'' - 0.078'' = 0.172''$$

$$P = 357.76 \text{ PSI}$$

Teniendo que para el cálculo para la profundidad máxima y la longitud extendida en el área corrida se utilizan las Ecuaciones y criterios utilizados para áreas corroídas B31.G Parte 2 y 4, B31.4 451.6(a)(7) y 451.7B31.8 Apéndice L

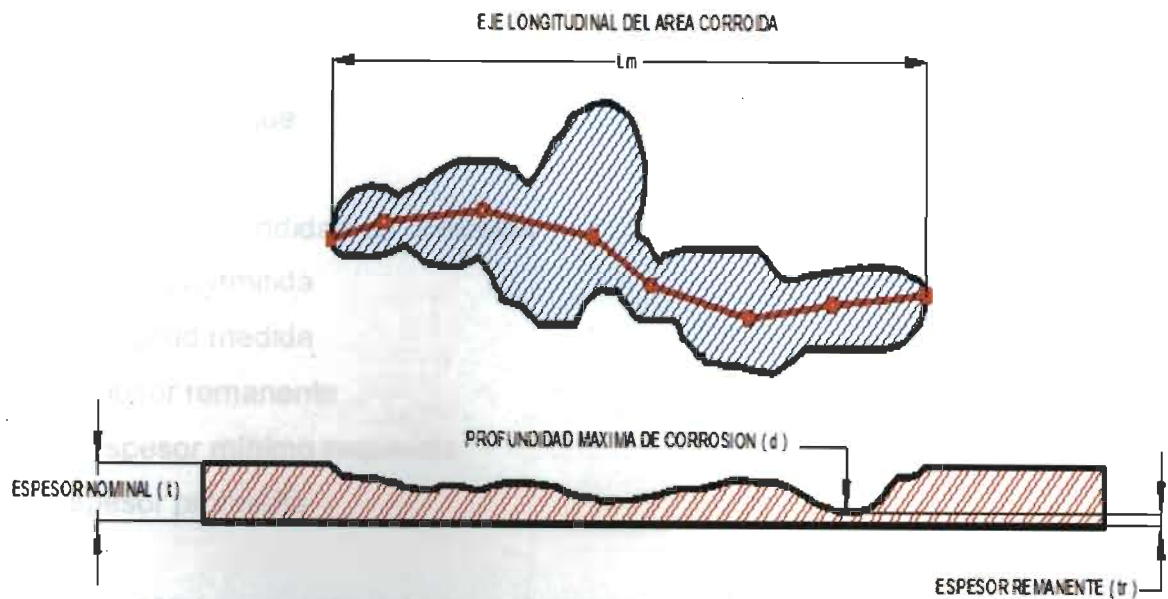


Figura 2.15 Criterios utilizados para áreas corroídas (5)

Ecuaciones y criterios utilizados para áreas corroídas B31.G Parte 2 y 4, B31.4 451.6(a)(7) y 451.7B31.8 Apéndice L

$$A = 0.893 \frac{L_m}{\sqrt{D \cdot t}}$$

SI LA PROF. MAXIMA MEDIDA DEL AREA CORROIDA ES MAYOR A 10% PERO MENOR AL 80% DEL ESPESOR NOMINAL DE PARED. Y LA MEDICION DE LA LONGITUD EXTENDIDA DE AREA CORROIDA ES MAYOR QUE EL VALOR DETERMINADO POR "L" CALCULAR "A"

$$B = \sqrt{\left(\frac{d/t}{1.1 d/t - 0.15} \right)}$$

B NO PUEDE EXCEDER DEL VALOR DE 4, SI LA PROF. MEDIDA DE CORROSION ES ENTRE 10% Y 17.5% USAR B = 4

$$L = 1.12 B \sqrt{D \cdot t}$$

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot t \cdot F \cdot T}{D}$$

$$T_m = \frac{PD}{2 \cdot S \cdot F \cdot T}$$

PARA $A \leq 4$

$$MAOP = 1.1 P \left[\frac{1 - \frac{2}{3} \left(\frac{d}{t} \right)}{1 - \frac{2}{3} \left(\frac{d}{t \sqrt{A^2 + 1}} \right)} \right]$$

PARA $A > 4$

$$MAOP = 1.1 P \left[1 - \frac{d}{t} \right]$$

Donde tenemos que:

d = Máxima profundidad de corrosión

L = longitud permitida

Lm = longitud medida

tr = espesor remanente

tm = espesor mínimo requerido

t = espesor promedio

MAOP = Máxima presión de operación permisible

MOP = Máxima presión de operación

d/t = porcentaje de pérdida de metal

Por lo cual los Criterios a seguir son:

Si $d/t < 10\%$ se mantiene el elemento y se protege

Si $d/t > 80\%$ se sustituye el elemento

Si $80\% > d/t > 10\%$ se calcula L

Si $L_m < L$ se mantiene el elemento y se protege

Si $L_m > L$ se calcula MAOP

Si $MAOP \geq MOP$ se mantiene el elemento y se protege

Si $MAOP < MOP$ se sustituye el elemento o se repara

Si $t_r < t_m$ se sustituye el elemento o se repara

Obtenemos el cálculo para conocer la MAOP de un ducto de 36"Ø con un espesor promedio de 0.230"API 5L-X52

Datos para efectos de cálculos		
Diámetro del elemento (Plg.):	36	
Espesor mínimo (Plg.):	0.210	
Espesor máximo (Plg.):	0.250	
Presión de operación (Kg/cm²):	27	384.03 Lbs/Plg ²
Esfuerzo de cedencia:	52,000	API 5L-X52
Factor de localización:	0.72	
Factor de temperatura:	1	
Factor de la junta:	1	

Teniendo como caso los datos de las indicaciones detectadas e Indicaciones interna caso del ducto de 36"Ø, con un espesor de pared mínimo en zona sana de 0.210" y un máximo de 0.250" mencionado anteriormente, se tiene como límite una penetración del electrodo de hasta 2 mm (0.078"), se requiere conocer el espesor mínimo requerido a una determinada presión de operación para no rebasar esa limitante, evitando así la ruptura en el espesor de pared remanentes

Anomalía		Horario (h:min)	Distancia	Long.	Long.	Esp.	d/t %
No.	Tipo		Relativa (m)	Axial (cm)	Circunf. (cm)	Remanente (plg)	
1	CORROSION INTERNA	05:45	5.60	2.54	1	0.125	45. 65

Con los datos anteriores tenemos como resultados:

Resultados Obtenidos	
Presión Máxima de Operación Permitida (MAOP):	516.10
Presión de diseño (PSI):	478.40
Longitud Permitida de la indicación (Plg.):	2.658"
Espesor Mínimo Requerido (Pgl.):	0.184"

2.4 Proceso para colocación de envolvente metálica

Una de las reparaciones de tubería de transporte por pérdidas de metal por corrosión interna donde la corrosión es mayor al 50% de pérdida, es la aplicación de envolventes metálicas como contenedoras de presión para la corrosión. Así mismo se muestran los pasos a seguir para realizar dicha reparación de la tubería con envolvente metálica:

- 1.- Antes de proceder a realizar cualquier actividad inherente a la instalación de los encamisados deberá monitorear con equipo apropiado toda la zona donde se realizarán los trabajos de instalación de la envolvente con el fin de detectar la presencia de mezclas explosivas y así evitar riesgos.
- 2.- Se procede a transportar e instalar el equipo, materiales y personal al sitio donde se realizarán los trabajos. (Figura 2.16 y 2.17)



Figura 2.16 y 2.17 Maniobra de recibo de los envolventes metálicos y vista general de secciones de camisa, respectivamente.

- 3.- Una vez instalado el equipo se procede a afinar el nivel de piso con la finalidad de instalar polines de madera y encima de estas tarimas de triplay con el objeto de trabajar con limpieza.

Antes de proceder a efectuar cualquier otra operación se inspecciona, en una franja de 10", con ultrasonido con haz recto, y un técnico en inspección ultrasónica Nivel II (de acuerdo a la norma y procedimiento establecido) , la zona donde se aplicará la soldadura de sello de ambos extremos de la camisa, esto es con el fin de comprobar que la tubería tenga el suficiente espesor de pared mínimo necesario para contener la presión . (Figura 2.18 y 2.19),



Figura 2.18 y 2.19 Limpieza de biseles e inspección de soldaduras, respectivamente.

4.- Realizar la limpieza del ducto con chorro de arena sílica (libre de contaminación de sales y seca), según el patrón de anclaje requerido, de acuerdo al procedimiento operacional vigente, el área a limpiar con chorro de arena será 0.5 m. más grande que la longitud de la camisa a instalar (repartidos 0.25 m. a cada extremo de la longitud que quedará cubierta con la camisa).

5.- Después de la limpieza con chorro de arena, se procede a limpiar la superficie del ducto mediante chorro de aire y se protege el área de traslape con cinta silver tape de 2" de ancho, justo en el sitio donde se aplicará la soldadura de sello de la camisa con el ducto.

6.- Se procede aplicar recubrimiento primario epóxico catalizado del tipo RP-6, depositando, en forma manual o con aspersion (pistola convencional), una capa mínima de 0.003".

7.- De manera paralela de las actividades 4, 5 y 6, se procede a realizar la limpieza mecánica de los biseles (longitudinales y perimetrales) de cada una de las secciones de la camisa, utilizando para ello un pulidor eléctrico de disco duro de 1/8" de espesor y 1800 r.p.m. el objeto es remover todo indicio de oxido formado por el medio ambiente desde la fecha de fabricación. (Figura 2.20).



Figura 2.20 Inspección de biseles.

8.- Con la ayuda de una grúa de brazo largo se procede a presentar cada una de las secciones de la camisa sobre el ducto, realizando el conformado y los ajustes que sean necesarios y ensamblando una sección con otra, aplicando para ellos el procedimiento operacional vigente, se debe tener extremo cuidado para evitar golpear el ducto al realizar la maniobras de ensamble. (Figura 2.21, 2.22 y 2.23).



Figura 2.21 Instalación de secciones de camisa.



Figura 2.22 y 2.23 Vista general y conformado del envolvente metálico, respectivamente.

9.- Se procede aplicar las soldaduras perimetrales de cada una de las secciones instaladas aplicando para ello el procedimiento operacional vigente.

10.- Con la ayuda del equipo de arc-air se procede a realizar el retiro de los anillos de posicionamiento de cada una de las secciones de la camisa.

11.- Se inicia la aplicación de soldaduras longitudinales aplicando para ello el procedimiento operacional vigente. (Figura 2.24)



Figura 2.24 Vista General de la Soldadura.

12.- Utilizando el formato (hoja de datos de las condiciones de operación del ducto al aplicar soldadura de filete con encamisados), se calcula la presión máxima de operación que debe tener el ducto para la aplicación de la soldadura de filete, recabando las firmas de todas la partes involucradas. (Figura 2.25)



Figura 2.25 Vista de Soldadura de Filete.

13.- Se aplica de manera simultánea o en forma individual la soldadura de filete (soldadura de sello en la unión camisa – ducto) aplicando para ellos el procedimiento operacional vigente (procedimiento de soldadura), al terminar de aplicar el segundo cordón de soldadura (paso caliente) se realiza inspección con partículas magnéticas ó líquidos penetrantes, en caso de presentarse alguna indicación se efectúa la reparación de la misma siguiendo el procedimiento operacional vigente (Reparación de soldaduras en campo). (Figura 2.26)

14.- Se continúa la aplicación de soldadura de filete en ambos extremos del encamisado y después de que se termina de aplicar se deja enfriar a menos de 66°C (150°F). Posteriormente se procede a realizar la inspección con partículas

magnéticas ó líquidos penetrantes (como opción adicional, y si las condiciones geométricas lo permiten se procede a realizar la inspección de soldadura de filete con ultrasonido de haz angular). En caso de presentarse alguna indicación se efectúa la reparación de la misma siguiendo el procedimiento operacional vigente (Reparación de soldaduras en campo). (Figura 2.27)



Figura 2.26 y 2.27. Inspección con ultrasonido a soldadura perimetral, e inspección con partículas magnéticas a soldaduras de sello.

Capítulo 3

Discusión y Análisis de la Bibliografía

De acuerdo al estudio realizado por P. Cisillino y otros se determina que el espesor mínimo soldable es de 5 mm, para un espesor nominal de la tubería de 7,1 mm. Por lo tanto, es importante asegurar que la inspección de pruebas no destructivas de la zona a soldar que se detectan pérdidas de espesor de menos de 2 mm debe realizarse con precisión, especialmente en presencia de pozos de corrosión y otros defectos de difícil acceso con equipo ultrasónicos.

Una vez que el espesor mínimo es verificado, los cambios bruscos de espesor deben ser eliminados por desgaste para la limpieza de los metales. En el caso de las reparaciones donde son de difícil acceso y sectores con alto riesgo de corrosión o grietas de fatiga, el ensayo por líquidos penetrantes deben utilizarse para garantizar una superficie libre de impurezas a soldar.

El espesor mínimo soldable depende en gran medida de la penetración de la soldadura. Por lo tanto, las desviaciones del proceso de soldadura calificado debe ser minimizado. Para el proceso de soldadura con 3 mm de diámetro de electrodos básicos evaluados en este trabajo, mantener la corriente de soldadura en el intervalo de 120 A y una velocidad de soldadura de al menos 100 mm / min, es obligatoria.

Un máximo de 1,5 mm de profundidad, el defecto de la superficie de la soldadura circunferencial, sería más o menos semi-elíptica, con una longitud de superficie de al menos 3 mm. Los ensayos no destructivos en soldaduras de deben ser capaces de detectar grietas de este tamaño en la región de la punta de la soldadura.

Anteriores trabajos que muestran los autores se destaca en el aumento de material de la envolvente cuando la reparación se realiza a baja presión. Las menores tasas de flujo de gas también generan menor disipación de calor de soldadura y tanto la profundidad del charco fundido y la temperatura en el interior aumentarían ligeramente la superficie de la pared.

Por lo tanto, los procesos de reparación que permiten a los espesores menores de soldadura hacer reparados puede ser desarrollados, para hacer esto, los altos flujos de gas a presión máxima debe ser compatible con las normas de seguridad y los electrodos de pequeño diámetro con corrientes de hasta 80 A se debe utilizar.

De esta manera, las soldaduras de espesor de la pared de 4 mm pueden realizarse en forma seguras, aunque estos procesos de reparación alternativamente puede presentar numerosas deficiencias de funcionamiento si no se realizan de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

Capítulo 4

Conclusiones

De acuerdo con la información de la bibliografía analizada referente a la aplicación de soldadura mediante el proceso SMAW en la reparación de tubería de acero al carbono API 5L X52 con espesores bajos se puede concluir lo siguiente.

- 1.- Cuando la presión de operación de soldadura es 100% de la presión de operación, el espesor mínimo soldable es 4.65 mm (0.183") de acuerdo a lo aprobado por Battelle. Para rangos de presión de gas durante el proceso de soldadura sea entre 80 y 60% de de la presión de operación, el espesor mínimo es de 4.80 mm (0.188") y 5.30 mm (0.208") respectivamente.
- 2.- La presión de gas es normalmente reducida durante las reparaciones de líneas en servicio, por razones relacionadas a la seguridad, por lo tanto el espesor mínimo soldable se incrementa cuando los valores de flujo del transporte de gas en la sección a ser reparada disminuye.
- 3.- Las reparaciones en épocas de invierno son recomendables, cuando el flujo de gas es transportado a temperaturas del medio ambiente de 22°C.
- 4.- La reparación es posible adoptando las medidas necesarias de seguridad como el bloqueo y válvulas de venteo a los extremos del sector a ser reparado, que permitan garantizar el mínimo espesor soldable.

5.- Referente al caso de cálculo de un ducto de 36"Ø, con un espesor de pared mínimo en zona sana de 0.210" y un máximo de 0.250" mencionado anteriormente, teniendo como limite una penetración del electrodo de hasta 2 mm (0.078"), se obtuvo como resultado que a una presión máxima de operación permitida (MAOP) de 516.10 psi, una presión de diseño de 478.4 psi, una longitud permitida de 2.658", el espesor mínimo requerido para poder aplicar la soldadura por SMAW en la tubería es de 0.184" de acuerdo a los requerimientos establecidos en la norma API B31.8A-2000 (841.115 A, 841.114 A, 841.111, 841.112, 841.116^a)

BIBLIOGRAFÍA

1. - American Welding Association. (8th ed.), *AWS welding handbook* vol. 4, AWA, Miami, USA (1998) part 2.
2. - API 1104. *Welding of pipelines and related facilities Appendix B: in-service welding*, American Petroleum Institute, USA (1999).
3. - American Petroleum Institute. *API order No. D12750. Investigation and prediction of cooling rates during pipeline maintenance welding, and user's manual for Battelle's hot tap thermal-analysis models*, API, USA (1998).
4. - *Welding Inspection*, second Edition, 1980, American Welding Society
5. - *The Procedure Handbook of Arc Welding*, Twelfth Edition, Lincoln Electric Company.
6. - *Standard for AWS Certification of Welding Inspectors ANSI/AWS QCI-96*
7. - *Standard Welding Terms and Definitions ANSI/AWS A3.0-94*
8. - *Standard Symbols for welding Brazing, and Nondestructive Examinations ANSI/AWS A2.4-98*
9. - *Guide for the Visual Inspection of Welds ANSI/AWS B1.11-88*

10. - Specification for Welding Procedure and Performance Qualification
ANSI/AWS B2.1:1998
11. - Guide for the Nondestructive Inspection of Welds ANSI/AWS B1.10-86R
- 12.- Nondestructive Testing Handbook, second edition, Volume Eight, Visual
and Optical Testing American Society for Nondestructive Testing.
13. - API Specification 5L Forty- First Edition, Specification for Line Pipe
14. - Marcelino P. Nascimento*, Herman J. C. Voorwald. 2000. Considerations
on Corrosion and Weld Repair Effects on the Fatigue Strength of a Steel
Structure Critical to the Flight-Safety, International Journal of Fatigue.
International Journal of Pressure Vessels and Piping. (2009) 01-33.
15. - A. P. Cisilino, M. D. Chapetti and J. L. Otegui. 2001. Minimum thickness for
circumferential sleeve repair fillet welds in corroded gas pipelines. International
Journal of Pressure Vessels and Piping. 79 (2002) 67-76
- 16.- <http://www.aws.org/>
- 17.- <http://www.springerlink.com/>
- 18.- M. D. Chapetti, J. L. Otegui, C. Manfredi. C.F. Martins.2000. Full scale
experimental analysis of stress states in sleeve repairs of gas pipelines.
International Journal of Pressure Vessels and Piping. 78 (2001) 379-387.
- 19.- F. Valenta, M. Sochor, M. Spaniel, J. Michalec, M. Ruzicka and V.
Halamka. 1996. Theoretical and experimental evaluation of the limit state of
Transit gas pipelines having corrosion defects. 66 (1996) 187-198.

LISTADO DE FIGURAS

		Página
2.1	Elementos de un circuito de soldadura típico para SMAW	7
2.2	Diagrama Esquemático del Proceso de Soldadura SMAW	8
2.3	Operario de Soldadura	8
2.4	Diagrama de Equipo Básico de Soldadura	10
2.5	Equipo de Soldadura	10
2.6	Curva Volt / Amp en Máquina de Corriente Constante	11
2.7	Curva Volt/ Amp en Máquina de Voltaje Constante	12
2.8	Barras de diferentes tipos de electrodos	21
2.9	Clasificación de Electrodos	24
	Efectos de amperaje, la longitud del arco y la velocidad de recorrida al soldar; (A) amperaje, longitud de arco y velocidad de recorrido correctos; (B) amperaje demasiado bajo; (C)	
2.10	Amperaje demasiado alto; (D) arco demasiado corto; (E) arco demasiado largo; (F) velocidad de recorrido demasiado lenta; (G) velocidad de recorrido excesiva	30
2.11	Orientación del electrodo	31
2.12	Grafica de distribución de temperatura para espesor de pared de 5 mm	43
2.13	Rango de cambio de profundidad del charco como una fundición de tiempo	44
2.14	Rango de cambio de profundidad del charco	46
2.15	Criterios utilizados para áreas corroídas	51
2.16	Maniobra de recibo de los Envolventes Metálicos	55
2.17	Vista General de Secciones de Camisa	55

2.18	Limpieza de biseles	56
2.19	Inspección de soldaduras	56
2.20	Inspección de Biseles	57
2.21	Instalación de secciones de camisa	57
2.22	Vista General del Envolverte Metálico	58
2.23	Conformado del Envolverte Metálico	58
2.24	Vista General de la Soldadura	58
2.25	Vista de Soldadura de Filete	59
2.26	Inspección con Ultrasonido a Soldadura Perimetral	60
2.27	Inspección con Partículas Magnéticas a Soldaduras de Sello	60

LISTADO DE TABLAS

	Página
Otros tipos de electrodos son clasificados de diferente	
2.1 manera, ver la tabla inferior, enlista las especificaciones de recubrimientos de metal de aporte para SMAW por la AWS.	14
2.2 Propiedades Mecánicas de Resistencias a la tensión	25
2.3 Posiciones de soldadura	25
2.4 Tipos de recubrimiento de corriente y características.	26
2.5 Factor básico de diseño	50

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Nombre: Gerardo Irazabal San Miguel

Grado a obtener: Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

Título de Monografía: Aplicación de Soldadura SMAW para reparación de Tuberías de acero al carbono API 5L X52 con espesores menores de 0.250" hasta 0.210"

Títulos obtenidos: Ingeniero Mecánico Eléctrico.

Universidad: Universidad Nuevo Mundo

Campo profesional: Ingeniería

Experiencia profesional: Producción GMC, Producción Bujías Champions Co. y Mantenimiento de Ductos PEMEX

Lugar y fecha de nacimiento: México D.F. 19 de Agosto 1958

Nombre de padres: Andres Irazabal Becerril, María Teresa San Miguel Partida