

PROPUESTA TECNOLÓGICA DEL ELECTRODO E-6013b PARA LA SOLDADURA DEL RIN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO DEL CUPET DE MATANZAS

MSc. Kobany Reyes Cruz¹, Dr. C. Elpidia Caridad Cruz Cabrera², MSc. Yordany Reyes Cruz³, Ing. Raidel Rodríguez Puig

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. pj.garcia@umcc.cu

2. Universidad de Matanzas – Filial Universitaria Jagüey Grande, Calle 54 #904 e/ 9 y 11 Jagüey Grande, Matanzas.

3. Universidad de Matanzas – Sede “Juan Marinello”, Matanzas, Cuba

Resumen

La presente investigación desarrolla la tecnología de soldadura manual para las pasadas de relleno de la unión del fondo con la envolvente de los tanques de almacenamiento de crudo de cincuenta mil metros cúbicos del la Empresa de Mantenimiento del Petróleo de la provincia de Matanzas empleando el electrodo E-6013. Esta empresa tiene como objetivo principal brindar servicios de construcción, reparación y mantenimientos de instalaciones industriales obras civiles y capacidades de almacenamientos de hidrocarburos y sus derivados. El trabajo se realiza a partir de la necesidad de utilizar dicho electrodo, puesto que se cuenta con un abarrotamiento del mismo; haciendo uso del software SolidWorks se demostró que la unión resiste a las condiciones de trabajo. Para la verificación de los parámetros determinados analíticamente se implementó la aplicación Opifex Spark/SMAW, la cual arrojó resultados similares. Otros aspectos relevantes en el trabajo es el impacto económico que presenta este electrodo en comparación con otros que son utilizados con el mismo objetivo.

Palabras claves: Soldadura; Rin; Fondo; Envolvente; Electrodo.

El objetivo del presente capítulo es explicar la metodología para el desarrollo de tecnología de Soldadura Manual con el electrodo E-6013 para la realización de la unión fondo-envolvente, para de esta forma plantear a la institución la documentación técnica necesaria, además en el mismo se dará a conocer la herramienta para demostrar si el electrodo seleccionado cumple desde el punto de vista de resistencia.

1.1 Evaluación del comportamiento de las tensiones mediante la simulación del tanque en función de la temperatura

Con el auxilio del software SolidWorks se realizarán las simulaciones del tanque en su conjunto(ver anexo 6 y 7 para apreciar los espesores y datos técnicos por los que se realizó la simulación), primero se evaluarán las tenciones generadas sin temperatura y luego con temperatura (fue tomado como valor máximo 60°C), de esta forma se comprobará el carácter de la temperatura en la soldadura y cómo influye en ella, o lo que es igual, se comprobará que las tenciones mostradas por la simulación para ambos casos (ambos valores de temperatura) nunca sobrepase la tención de rotura admisible por el electrodo. Este estudio será basado en un análisis estático del tanque, además estará apoyado en la prueba hidrostática que se realiza para la inspección de soldadura, a partir de dicha prueba por medio de la expresión (2.1) se determinará la presión ejercida por la columna de líquido (agua en este caso):

$$\text{Presión} = \delta * g * h \quad (1.1)$$

Como ya sabemos, la densidad del agua (δ) es 1000 kg/m^3 , la aceleración de la gravedad (g) 9.81 m/s^2 y la altura (h) correspondiente al tanque de almacenamiento de combustible es de 11.9 m.

$$\text{Presión} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 11.9 \text{ m} = 116739 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 116739 \text{ Pa}$$

A partir de este valor de presión para una temperatura de 0°C en el tanque según la simulación él σ_{eq} en la zona soldada (fondo-envolvente) se puede apreciar en la figura 1.1

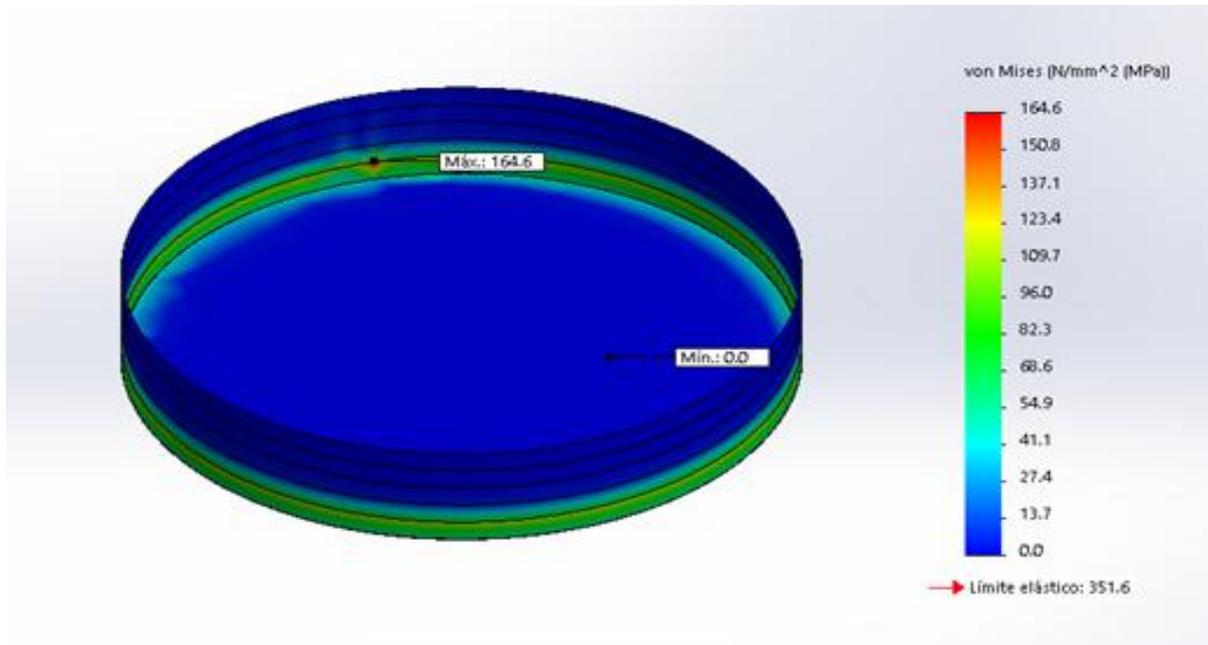


Fig. 1.1. Tensiones en la unión fondo-envolvente del tanque sin temperatura.
 Por la designación del electrodo tenemos que:

E- 6013



$$60\,000 \frac{\text{Lb}}{\text{Pul}^2} * \frac{1\text{Kg}}{2.2\text{Lb}} * \frac{1\text{Pul}}{25\text{mm}} * \frac{1\text{pul}}{25\text{mm}} = 43.636 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 428 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 428 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{electrodo}} = 428 \text{ MPa (resistencia del electrodo por pulgadas cuadradas)}$$

$$\sigma_{\text{electrodo}} \geq \sigma_{\text{eq}} \text{ de la simulación} \quad \Rightarrow \quad \text{Condición de Resistencia}$$

Según la simulación el σ_{eq} en la zona soldada (zona crítica del tanque) es de **164.6 MPa**.

$$428\text{MPa} > 164.6 \text{ Mpa} \quad \Rightarrow \quad \text{Cumple con la condición de resistencia}$$

Para evaluar las tensiones en la unión con un máximo de temperatura en el tanque de 60°C se retomará lo antes expuesto. En la figura 1.2 se pueden apreciar las tenciones resultantes con temperatura.

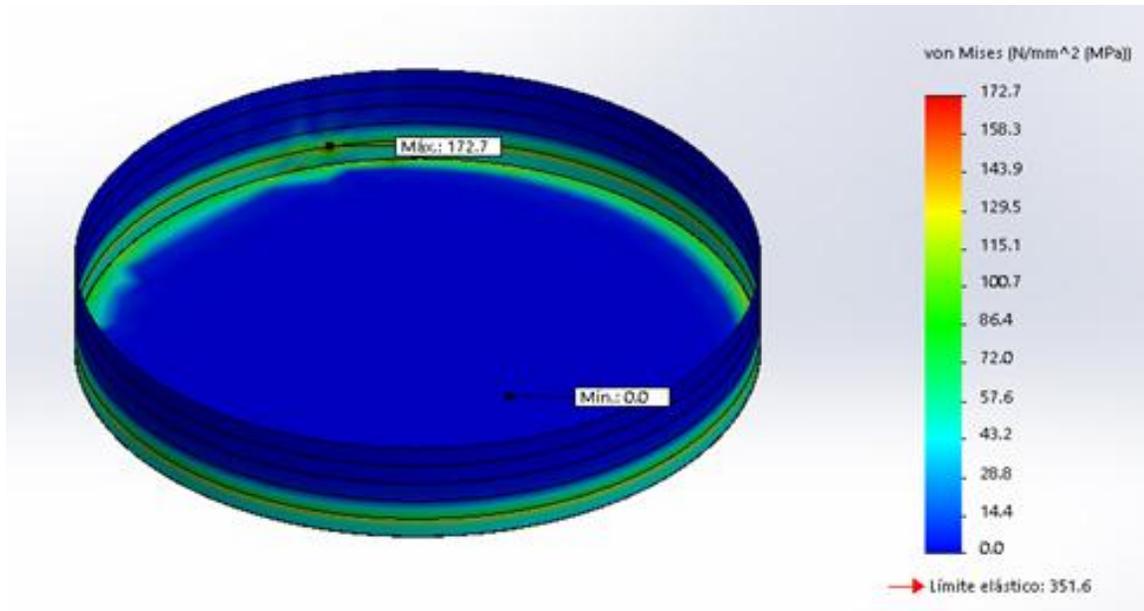


Fig. 1.2. Tensiones en la unión fondo-envolvente del tanque con temperatura.

Según la simulación el σ_{eq} en la zona soldada es de **172.7 MPa**, por tanto:

$$428 \text{ MPa} > 172.7 \text{ Mpa} \quad \Rightarrow \quad \text{Cumple con la condición de resistencia}$$

1.2 Descripción de la tecnología de soldadura

Para el desarrollo de esta tecnología se parte del método desarrollado por el Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) de la Universidad Central de las Villas, por los profesores José Burgos Sola, Ramón Martínez, Manuel Rodríguez Pérez, Arnaldo Valdés, y otros. El mismo consta de los siguientes pasos:

1.2.1 Metal base y espesores de las planchas a unir

Para el mejor diseño o reparación, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado. Para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulgada.) el material adecuado es ASTM A283 Gr C, este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque [1].

Otros materiales para la conformación de tanque pudieran ser ASTM A36 y ASTM A-106 Grado C, este último específicamente para tuberías; otra gama de materiales se utilizan, para una mejor información consultar Welded Tanks for Oil Storage. API STANDARD 650 TWELFTH EDITION, MARCH 2013.

Estas son planchas de acero al carbono estructural, también conocido como aceros dulces o simplemente como hierro dulce o hierro. Los aceros de bajo contenido de carbono son los que contienen entre 0.05 y 0.30% de carbono, atendiendo a esta clasificación podemos decir que el acero tratado es acero al carbono estructural de bajo contenido de carbono.

Estos aceros generalmente no requieren precalentamiento antes de soldar ni tratamiento térmico posterior u otras técnicas auxiliares por su buena soldabilidad [2]. En la tabla 1.1 se pueden apreciar los espesores del primer envolvente y el fondo anular del tanque y en las tablas 1.2.y 1.3 las características químicas y mecánicas del material.

Tabla 1.1. Espesores de las planchas a unir

Material ASTM A283 Grado C	
Primer envolvente	Fondo anular
25.4 mm	14.2 mm

Tabla 1.2.Composición química del metal base

Acero ASTM A283	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn	% Si	%S	%P
GRADO C	0,24	--	--	--	0,90	0,40	0.05	0.04

Tabla 1.3.Propiedades mecánicas

Acero ASTM A238	σ_r (MPa)	σ_f (MPa)	δ (%)	HB
GRADO C	380	205	12	269

1.2.2Selección de la preparación de bordes

En la fabricación de componentes y estructuras metálicas, existe la necesidad de preparar los bordes y terminaciones que van a ser soldadas para obtener unos resultados óptimos de funcionamiento de la unión soldada. La Norma Cubana ISO 9692-1:2011 establece los siguientes valores para espesores de planchas t mayores de 10 mm ($t=25.4 > 10$ mm) [3]. El ángulo $\beta=45^\circ$, la separación $b=3$ mm, el espesor del talón de la raíz $c=2$ mm, la profundidad

de la penetración h puede ser determinada como $t/2$ o $t/3$, en este

caso $h = t/2 = 25.4 \text{ mm}/2 = 12.7 \text{ mm}$.

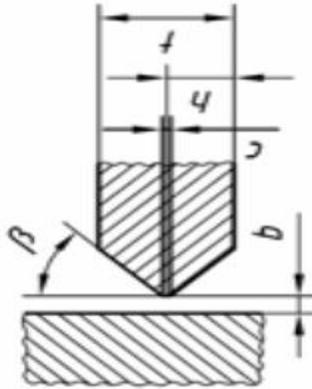


Fig.1.3. Croquis de la preparación

La preparación de los bordes en estructuras metálicas se aconseja realizarla siempre mediante mecanizado, ya que es una técnica que altera menos el material. Otras técnicas como el oxicorte aportan demasiado calor a las piezas pudiendo modificar la composición y estabilidad del material, lo que posiblemente afectará a la futura soldadura originando problemas cuando esta sea ejecutada.

Una vez preparados los bordes hay que proceder a su limpieza y preparación final. Estos deben limpiarse para eliminar la herrumbre y la suciedad que puedan tener. Los bordes a ensamblar pueden ser cepillados con fuerza (cepillo metálico) o limpiados con la esmeriladora de ángulo (por medio de accesorios especialmente previstos para ello), hay que poner especial atención en las manchas de grasa y pintura. Por último, las condiciones del ambiente de trabajo son importantes para los trabajos de soldadura tanto los bordes como las piezas a soldar deberán estar secos durante la ejecución. Los bordes en estructuras metálicas para obra civil se ejecutarán probablemente en el exterior, por lo que tendremos que preservar del viento y de la lluvia todos los trabajos de soldadura.[4].

1.2.3 Cálculo de la temperatura de precalentamiento

Se comprobará si existe la necesidad de precalentar la unión, para ello se determinará el carbono equivalente; siendo este valor inferior a 0.30 no existirá la necesidad de precalentar la unión, de ser superior se determinará la temperatura de precalentamiento según el Método de Daniel Seferian.[5].

Carbono equivalente químico:

$$[C] = [C_q] + [C_s] \quad (1.2)$$

Donde:

[C]: Carbono equivalente; que no es más que la suma de las influencias cuantitativas de los diferentes elementos de aleación sobre la soldabilidad metalúrgica del metal base.

$[C_q]$: Carbono equivalente químico.

$$[C_q] = C + \frac{Mn+C_r}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7*M_o}{90} \quad (1.3)$$

$$[C_q] = 0.24 + \frac{0.90 \% + 0}{9} + \frac{0}{18} + \frac{7 * 0}{90} = 0.34$$

$[C_s]$: Carbono equivalente corregido por el espesor.

$$[C_s] = 0,005 * S * [C_q] \quad (1.4)$$

$$[C_s] = 0,005 * 25.4 * 0.34 = 0.043$$

$$[C] = 0.34 + 0.043 = 0.38$$

Siendo el carbono equivalente químico $0.38 > 0.25$, la temperatura de precalentamiento quedará definida como:

$$T_p = 350 * \sqrt{[C] - 0.25} \quad (1.5)$$

$$T_p = 350 * \sqrt{[C] - 0.25} = 350 * \sqrt{[0.38] - 0.25} = 126^{\circ}\text{C}$$

La temperatura de precalentamiento se aplicará a través de llamas de propano, con antorchas diseñadas al efecto, y se controlará la llama a través de creyones térmicos de fusión y cambio de coloración. De ser posible, utilizar resistencias controladas por dispositivos electrónicos, estos permiten suministrar al metal que se suelda la temperatura de precalentamiento adecuada con un control de temperatura exacto, para el tratamiento térmico posterior se utilizará el mismo instrumento que se utilizó para el precalentamiento.

1.2.3 Tratamiento térmico posterior

Esta operación no es más que un conjunto de calentamientos y enfriamientos controlados a la que va a ser sometida esta unión con el fin de modificar su estructura micrográfica (y en consecuencia sus propiedades), sin que cambie la composición química de la misma; para obtener una estructura formada por ferrita o cementita proeutectoides, la velocidad de enfriamiento ha de ser lo suficientemente lenta para permitir que todas las transformaciones de la austenita se desarrollen en la zona superior de la reacción perlítica. [6].

En la tabla 1.4 se pueden apreciar las recomendaciones para el tratamiento térmico posterior en aceros al carbono [7].

Material	Condición	Temperatura [°C]	Tiempo de permanencia
Acero al carbono	Excepto para: $t \leq 19$ mm	593...649	2,4 min/mm (min: 1 h)

Tabla 1.4. Recomendaciones para el tratamiento térmico posterior

Teniendo en cuenta que estamos frecuentando un acero al carbono, excepto para espesores de planchas $t \leq 19$ milímetros se le aplicará una temperatura de 630°C con un tiempo de permanencia mínimo de 60 minutos.

1.2.5 Justificación del electrodo propuesto

Escoger el electrodo adecuado es materia de analizar las condiciones del trabajo en particular, y luego determinar el tipo y diámetro del electrodo que más se adapte a estas condiciones.

Este análisis es relativamente simple si el operador se habitúa a considerar primero los siguientes factores:

- A. Composición química del electrodo y la del metal base
- B. Propiedades mecánicas del electrodo (resistencia a la tracción, límite de fluencia, alargamiento, energía absorbida)
- C. Posición de la soldadura
- D. Tipo de unión
- E. Diámetro recomendado para el espesor
- F. Criterio económico.
- G. Tipo de corriente utilizada
- H. Especificación de algunas normas que se debe cumplir la soldadura: el organismo que dicta las especificaciones o requerimientos que debe cumplir las uniones soldadas, por lo general se usan las normas de A.W.S. (American Welding Society), Sociedad Americana de Soldadura.

Después de considerar cuidadosamente los factores antes indicados, no se debe tener dificultad en elegir el electrodo adecuado que le proporcione un arco estable, depósitos parejos, escoria fácil de secar y un mínimo de salpicaduras, condiciones esenciales para obtener un trabajo óptimo.[8]

Las características químicas y mecánicas del electrodo propuesto para la tecnología de soldadura son las que se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 1.5. Composición química típica del metal depositado

Electrodo	%C	%Mn	% Si	Cr%	Ni	Mo
-----------	----	-----	------	-----	----	----

E - 6013	0,08	0,39	0,29	--	--	--
----------	------	------	------	----	----	----

Tabla 1.6. Propiedades Mecánicas

Electrodo	σ_r (MPa)	σ_f (MPa)	δ (%)	α_k (Joule) a 20°C
E - 6013	510	457	24	90

Según recomendaciones de fabricantes [9] , para las costuras en esquina, el diámetro del electrodo se muestran en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Diámetro recomendado para el espesor

Espesor del metal base(mm)	5,0.....6,3	6,3.....12	8,0.....12	10 y más
Diámetro del electrodo (mm)	3,2	4,0	5,0	4,0

El espesor del fondo anular del tanque (metal base) es de 14.2 mm mayor que 10 mm, por lo que el diámetro del electrodo propuesto será de 4 mm.

1.2.6 Selección del número de pasadas

Espesor del metal base (mm)	Hasta - 1,5	Hasta 5	Más de 5
Diámetro del electrodo	3	4 - 5	4 - 5
Número de Pasadas	1	2 - 3	3 y más

La determinación del número de pasadas es una de las tareas más complejas en el diseño de tecnologías de SMAW, ya que depende de muchos factores, diámetro del electrodo, espesor del metal base entre otros, incluyendo además la habilidad del operador que ejecute la costura.

En este caso se seleccionarán según recomendación del material complementario Tecnología de Soldadura Manual por Arco Eléctrico, en la tabla 1.8 se puede apreciar los datos por los cuales quedará determinado el número de pasadas.

Tabla 1.8. Selección del número de pasadas

Atendiendo a estas recomendaciones la unión quedará definida por 4 pasadas de relleno, estas después de penetrar con el electrodo E-6010 de 3.2 mm de diámetro.

1.2.7 Determinación del régimen de soldadura

La intensidad de corriente a utilizar depende fundamentalmente del diámetro del electrodo destinado para el trabajo y para conocer su magnitud se utiliza la fórmula siguiente [10]:

$$I = (20 + 6 \cdot d) \cdot d \quad (1.6)$$

Para un electrodo de 4 mm de diámetro tenemos que:

$$I = (20 + 6 \cdot 4 \text{ mm}) \cdot 4 \text{ mm} = 176 \text{ A}$$

Tener presente en este cálculo el espesor del metal a soldar es muy importante, por lo que de ser igual o menor que 1,5 veces el diámetro del electrodo ($1,5 \cdot d$), la corriente se disminuirá en un 10-15%, y si el espesor es mayor que 3 veces el diámetro del electrodo ($3 \cdot d$), la corriente se aumenta en un 10-15% con respecto a la calculada a través de la fórmula (1.6). [10]

Como el espesor de plancha t (menor espesor de las planchas a unir) es mayor que 3 veces el diámetro del electrodo ($14.2 \text{ mm} > 12 \text{ mm}$) se aumentará la corriente en un 10% obteniendo de esta forma un valor de intensidad de corriente $I = 193 \text{ A}$.

1.2.8 Selección de la máquina de soldadura

Se seleccionó la máquina por catálogos industriales como se recomienda, teniendo en cuenta el tipo de corriente admisible por el electrodo y su intensidad, se determinó un rectificador, el cual trabajará con corriente continua con polaridad directa o normal (CC+), en la tabla 1.9 se pueden apreciar las características del equipo seleccionado. [11]

Tabla 1.9. Características del Rectificador

Rectificador	Rango de corriente (A)	Cargas autorizadas (100%)	Cargas autorizadas (60%)	Cargas autorizadas (35%)	Tensión en vacío (V)	Tensión de almacenamiento (V) (Hz)	Clase térmica	Peso (Kg)
CADDY™ARC 251i	4-250	150	190	250	35-65	380-50	H	10

1.3 Cálculo de los consumos y costos de los procesos (SMAW)

En este epígrafe se determinarán los costos estimados para el proceso de soldadura, el gasto de electrodo, consumo de corriente eléctrica y los tiempos aproximados para el proceso. Estos valores solo serán válidos para un metro de costura, para obtener un total se multiplicaran estos valores por la cantidad de metros de costura que se vayan a realizar.

1.3.1 Determinación del consumo de electrodo

Para determinar el consumo de electrodo, primeramente se determinará el peso del metal depositado (G), para lo cual se hace necesario determinar el área total ocupada por el metal de aportación para sustraerle el área ocupada por el electrodo de raíz, obteniendo así el área ocupada por el electrodo de relleno. Para el cálculo del área de la sección, se divide la misma en figuras geométricas elementales (ver figura 1.4) que por su simetría se puede

apreciar que $p = p'$, $A_2 = A_3$, $A_4 = A_5$; se calculará de esta forma cada área formada por individual para posteriormente sumarlas y obtener el área total que será ocupada por el metal depositado.

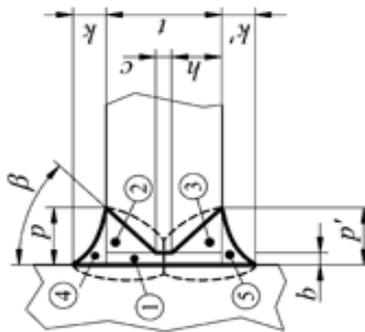


Fig.1.4. Croquis de la sección analizada

Para las uniones en esquina, la longitud máxima del refuerzo, k, se determina según la expresión:

$$K = \begin{cases} 2 \text{ mm: } p \leq 8 \text{ mm} \\ 3 \text{ mm: } 8 \text{ mm} < p \leq 25 \text{ mm} \\ 5 \text{ mm: } p > 25 \text{ mm} \end{cases} \quad (1.7)$$

La longitud del cateto de soldadura dependerá del ángulo del bisel, la separación de las planchas a unir, espesor del talón de la raíz, profundidad de la penetración (Quiza, 2018) y se determinará mediante la siguiente relación:

$$p = b + (t - c - h) * \tan\beta \quad (1.8)$$

$$p = 3 \text{ mm} + (25.4 \text{ mm} - 2 \text{ mm} - 11.7 \text{ mm}) * \tan 45^\circ = 14.7 \text{ mm}$$

La longitud del cateto de soldadura es mayor que 8 mm y menor que 25 mm, por lo que la longitud de refuerzo K será de 3 mm.

La profundidad de la penetración se determinará según el espesor de plancha y espesor del talón de la raíz respectivamente (Quiza, 2018) como se muestra a continuación:

$$h = (t - C) / 2 \quad (1.9)$$

$$h = (25.4 \text{ mm} - 2 \text{ mm}) / 2 = 11.7 \text{ mm}$$

El área de la sección número uno vendrá dada por el espesor de plancha más grueso y la separación de las mismas [12]:

$$A_1 = b * t \quad (1.10)$$

$$A_1 = 3 \text{ mm} * 25.4 \text{ mm} = 76.2 \text{ mm}^2$$

El área de la sección número dos dependerá de variables antes mencionadas y vendrá dada por la siguiente relación [12]:

$$A_2 = \frac{1}{2} (t - c - h)^2 * \tan \beta \quad (1.11)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (25.4 \text{ mm} - 2 \text{ mm} - 11.7 \text{ mm})^2 * \tan 45^\circ = 68 \text{ mm}^2$$

El área de la sección número cuatro se determinarán mediante la expresión siguiente:

$$A_4 = \frac{1}{3} (p * k) \quad (1.12)$$

$$A_4 = \frac{1}{3} (14.7 \text{ mm} * 3 \text{ mm}) = 14.7 \text{ mm}^2$$

Posteriormente para determinar el área total se hará uso de la expresión que se muestra (Quiza, 2018):

$$A_T = A_1 + (A_2 * 2) + (A_4 * 2) \quad (2.13)$$

$$A_T = 76.2 \text{ mm}^2 + (68 \text{ mm}^2 * 2) + (14.7 \text{ mm}^2 * 2) = 241.6 \text{ mm}^2$$

El área ocupada por el electrodo de raíz, siendo d_R , el diámetro del electrodo seleccionado para el trabajo, se determina según el número de pasadas del mismo. (Quiza, 2018)

$$A_{Ra} = \# \text{ de pasadas} * (7 * d_R) \quad (1.14)$$

$$A_{Ra} = 2 * (7 * 3.2 \text{ mm}) = 44.8 \text{ mm}^2$$

Finalmente la resta del área total con el área ocupada por el electrodo de raíz nos dará el área que ocupará el electrodo de relleno.

$$A_{Re} = A_T - A_{Ra} \quad (1.15)$$

$$A_{Re} = 241.6 \text{ mm}^2 - 44.8 \text{ mm}^2 = 197 \text{ mm}^2$$

Además de lo analizado, conociendo la tensión de rotura del electrodo de relleno y con un factor de seguridad de 1.9, se podrá aplicar la condición de resistencia [13]; conociendo la fuerza (P) ejercida por la columna de líquido en el fondo del tanque (para tener una referencia del área necesaria para garantizar la resistencia en la unión), es decir la fuerza que cizalla la unión, que será determinada mediante la simulación del tanque en su conjunto, esta fuerza es conocida como fuerza normal de corte superficie.

$$A \geq \frac{P * F.S}{\sigma_y} \quad (1.16)$$

$$A \geq \frac{11110 \text{ N} * 1.9}{510 \text{ N/mm}^2} = 41.39 \text{ mm}^2$$

Para una fuerza de 11110 N en la zona que será soldada el área mínima para que resista será de 41.39 mm².

Finalmente se podrá plantear la expresión para determinar el peso del metal depositado [14].

$$G = F * l * \gamma \quad (1.17)$$

Donde:

F: Área de la costura de relleno.

l: Longitud de la costura.

γ : Peso específico del metal, para el acero 7,83 g/cm³ [15]

$$G = 197 \text{ mm}^2 * 1000 \text{ mm} * 7.83 * 10^{-3} \text{ g/mm}^3 = 1546.45 \text{ g}$$

Una vez determinado el peso del metal depositado, se procederá a determinar el consumo de electrodo, que vendrá dado por la siguiente expresión:

$$G_{\text{Electrodo}} = K_1 * G \quad (1.18)$$

Donde:

K_1 : Coeficiente de pérdidas (1.60 para electrodos de revestimiento grueso), [15] este coeficiente toma en cuenta las pérdidas por desperdicios, salpicaduras, tramos sobrantes y peso de recubrimiento de electrodo.

$$G_{\text{Electrodo}} = 1.60 * 1542.51 \text{ g} = 2468 \text{ g}$$

1.3.2 Determinación de las normas de tiempo

La normación técnica se realiza con el objetivo de determinar el tiempo necesario para la realización de un trabajo en ciertas condiciones técnicas y de organización, con el uso complejo y efectivo de los medios de producción y tomando en consideración las experiencias de los obreros. (Burgos, 1987)

El valor inverso a las normas de tiempo se llama normas de producción (Cantidad de piezas soldadas por unidad de tiempo). La norma de tiempo argumentada técnicamente consta de:

tiempo preparativo y final (T_p), tiempo principal o tecnológico (T_T), tiempo auxiliar (T_a),

tiempo de servicio al puesto de trabajo (T_{Ser}) y tiempo de descanso del obrero (T_{Des}). El

tiempo principal (tecnológico o tiempo de ignición del arco de soldadura) para la soldadura eléctrica por arco manual para pasadas múltiples, puede ser determinado de la siguiente forma (Burgos, 1987) y se expresará en h/metro lineal de costura:

$$T_T = \frac{G_{Electrodo R_e}}{I_{Electrodo R_e} * \alpha_{dElectrodo R_e}} \quad (1.19)$$

Donde:

$G_{Electrodo R_e}$: Gasto del electrodo de relleno

$I_{Electrodo R_e}$: Intensidad de corriente utilizada para el electrodo de relleno

$\alpha_{dElectrodo R_e}$: Coeficiente de depósito del electrodo de relleno (Para electrodo de rutilo 8-9 g/A · h). (Torres, 2003)

$$T_T = \frac{2468 \text{ g}}{193 \text{ A} * 9 \text{ g/A} * \text{h}} = 1.4 \text{ h} = 84 \text{ minutos}$$

El tiempo auxiliar incluye aquellos tiempos no fundamentales que son necesarios para la realización de las costuras (tiempo de inspección y limpieza de los bordes de las piezas a soldar, cambio de electrodos, limpieza de la escoria y salpicaduras del metal fundido, medición de costuras, etc.), y el tiempo que se refiere a la pieza que se está soldando (tiempo de montaje, de vueltas, de fijación, y de desmontaje, de movimiento del soldador con el instrumento y otros).

El tiempo auxiliar de inspección y limpieza de los bordes de los elementos a soldar, se incluye en las normas de soldadura solamente en aquellos casos en que el soldador sea quien realice el trabajo.

El tiempo auxiliar puede obtenerse por estimación aproximada como un 30% o más del tiempo tecnológico, puede ser expresado como:

$$T_a = 30\% \text{ del } T_T. \quad (1.20)$$

$$T_a = 30\% \text{ de } 1.4 \text{ h} = 0.42 \text{ h} = 25 \text{ minutos}$$

La suma del tiempo principal (tecnológico) y del tiempo auxiliar se llama tiempo operativo (T_{Ope}) y se representa por la ecuación:

$$T_{Ope} = T_T + T_a \quad (1.21)$$

$$T_{Ope} = 1.42 \text{ h} + 0.42 \text{ h} = 1.84 \text{ h} = 110 \text{ minutos}$$

En el proceso SMAW el tiempo de servicio del puesto de trabajo es 3-5% del tiempo operativo, se expresara como:

$$T_{Ser} = 5\% \text{ del } T_{Ope}. \quad (1.22)$$

$$T_{Ser} = 5\% \text{ de } 1.84 \text{ h} = 0.09 \text{ h} = 5 \text{ minutos}$$

El tiempo que se ha estimado para el descanso del obrero en este mismo proceso, pudiera tomarse entre un 5-15% del tiempo operativo y lo expresamos como:

$$T_{Des} = 10\% \text{ del } T_{Ope}. \quad (1.23)$$

$$T_{Des} = 10\% \text{ de } 1.84 \text{ h} = 0.18 \text{ h} = 10 \text{ minutos}$$

La norma de tiempo necesaria (T_{Total}) para la realización de los trabajos de soldadura eléctrica manual para un metro se obtiene de la siguiente ecuación:

$$T_{Total} = T_{Ope} + T_{Ser} + T_{Des} \quad (1.24)$$

$$T_{Total} = 1.84 \text{ h} + 0.09 \text{ h} + 0.18 \text{ h} = 2 \text{ h} = 120 \text{ minutos}$$

1.3.2 Determinación del consumo de corriente eléctrica

Para determinar el consumo de energía eléctrica se necesita conocer el coeficiente A_e (consumo específico de energía eléctrica), este es un coeficiente que viene en función de la corriente que se utilice para realizar la soldadura.

Teniendo en cuenta que la máquina seleccionada para el proceso está diseñada para la alimentación de un solo puesto (de un arco de soldadura) y trabajará con corriente continua,

el consumo específico de energía eléctrica tomado será de $6 \text{ KW} * \frac{\text{h}}{\text{Kg}}$

$$A = A_e * G_{\text{Electrodo}} \quad (1.25)$$

Donde:

$G_{\text{Electrodo}}$: Gasto de electrodo (Kg).

$$A = 6 \text{ KW} * \frac{\text{h}}{\text{Kg}} * 2.4 \text{ Kg} = 14 \text{ KW} * \text{h}$$

1.3.3 Estimación de los costos del proceso de soldadura

Para establecer estos costos es necesario conocer algunos datos como: el precio del electrodo empleado para la soldadura ($P_{\text{Electrodo}}$), salario horario del soldador (s), precio de la energía eléctrica ($P_{\text{Energía}}$).

Según la información obtenida por la empresa el precio del electrodo E-6013 de 4 mm de diámetro es de 1.23 \$/Kg (MN), el precio de la energía eléctrica es de 0.38 \$/KW * h y el salario horario del soldador es de 1.45 \$/h.

Costo del electrodo empleado en el proceso de soldadura

$$C_{\text{Electrodo}} = P_{\text{Electrodo}} * G_{\text{Electrodo}} \quad (1.26)$$

Donde:

$P_{\text{Electrodo}}$: Precio del kilogramo de electrodos (\$ x kg)

$G_{\text{Electrodo}}$: Gasto de electrodo en Kg

$$C_{\text{Electrodo}} = 1.23 \text{ \$/Kg} * 2.4 \text{ Kg} = 2.95 \text{ \$}$$

Costo de mano de obra

$$C_{\text{Salario}} = S * T_{\text{Total}} \quad (1.27)$$

Donde:

S: Salario horario del soldador (\$/h)

T_{Total} : Tiempo total de operación (h)

$$C_{\text{Salario}} = 1.45 \text{ \$/h} * 2 \text{ h} = 2.9 \text{ \$}$$

Costo de la energía eléctrica consumida

$$C_{\text{Energía}} = A * P_{\text{Energía}} \quad (1.28)$$

Donde:

$P_{\text{Energía}}$: Precio de la energía eléctrica \$/KW * h).

A: Consumo de electricidad (KW * h).

$$C_{\text{Energía}} = 14 \text{ KW} * \text{h} * 0.38 \text{ \$/KW} * \text{h} = 5 \text{ \$}$$

Costo total

$$C_{\text{Tot}} = C_{\text{Electrodo}} + C_{\text{Salario}} + C_{\text{Energía}} \quad (1.29)$$

$$C_{\text{Tot}} = 2.95 \text{ \$} + 2.9 \text{ \$} + 5 \text{ \$} = 10.8 \text{ \$}$$

1.4 Selección del equipamiento auxiliar

El equipamiento auxiliar incluye el porta electrodo, los cables y el filtro visual para realizar la soldadura.

El tipo de porta electrodo vendrá dado por la tarea de soldadura que se designe y la intensidad de corriente que suministrará la máquina de soldadura. En el anexo número 8se podrán apreciar los distintos porta electrodos en función de la corriente a utilizar(Quiza, 2018).La intensidad de corriente en este caso es de 193 A, por lo que quedará definido para el proceso un porta electrodo pequeño, ya que el uso de este es admisible hasta una corriente de 200 A.

La conexión eléctrica entre la fuente de poder, el porta electrodo y la pieza, para construir el circuito eléctrico correspondiente, se efectúa mediante cables flexibles, específicamente fabricados para este proceso, ya que estos no deben limitar el movimiento del soldador, permitir un gran aislamiento, entre otros factores de trabajo severos. Un factor fundamental en la selección de cables es su longitud, cuando se emplean cables de longitudes extensas

existe una caída de tensión notable; por esta razón se limita sus longitudes a 30 m. Para este trabajo el cable a utilizar requiere una longitud mínima de 40 m, por lo que se exige aumentar el área de la sección conductora respecto a la normada a 70 mm^2 .

Para prevenir el calentamiento excesivo de los cable que unen al porta electrodo con la fuente de poder, debe seleccionarse el calibre adecuado para los mismos. Este depende de la intensidad de corriente que circula por él, como la longitud de los mismos, tal como se muestra en el anexo 9(Quiza, 2018).En América es muy común utilizar los calibres AWG para designar los diámetros de los cables eléctricos, en el anexo 10 se pueden apreciar las áreas de las secciones transversales de los calibres correspondientes al rango de corriente a utilizar.

Todos los elementos de protección que utiliza el soldador deben ser de cuero o material resistente al roce y al desgaste(Indura, 2007). La careta ligera para permitir el movimiento ligero del soldador, y protegerlo de las quemaduras por las radiaciones del arco, así como de las salpicaduras. Estas caretas debes estar provistas de cristales especiales para la protección de la vista, cristales que para su selección hay que tener en cuenta la intensidad de corriente a utilizar(Ver anexo 11), en este caso seleccionamos para una intensidad de corriente de 193 A el valor mínimo para el filtro visual que es 10, ya que valores mayores pueden dificultar la visión del soldador.

Análisis de los resultados

Este capítulo tiene como objetivo el análisis de la simulación y la tecnología planteada anteriormente, se analizarán los ensayos de inspección de soldadura y se plantearán las recomendaciones para evitar las fayas más probables en este tipo de unión.

2.1 Análisis de la simulación

Como se puede apreciar, el factor temperatura actúa considerablemente sobre el tanque, a una mayor temperatura aumentan las tensiones en la unión soldada, igualmente, en las tablas donde se muestran los datos unión fondo-envolvente (Ver anexo 12 y 13) se puede apreciar la diferencia de un valor a otro en función de la temperatura utilizada para realizar la simulación, pero es importante destacar que esta temperatura (nos referimos a la mayor temperatura) no es perjudicial para la realización de la soldadura empleando el electrodo E-6013, puesto que quedo demostrado que la resistenciadel electrodo sigue siendo mayor que la tensión mostrada por la simulación a esa temperatura que es la máxima que podrían existir sobre los tanques de almacenamiento de crudo. Este análisis demuestra que el electrodo propuesto pudiera ser usado para la unión fondo-envolvente garantizando la condición de resistencia con valor de factor de seguridad de 1.9, como se muestra en el.

2.2 Análisis de los parámetros de la tecnología

Haciendo referencia al área total determinada por la fórmula (2.13) y el área necesaria para lograr la resistencia en la unión a partir de la fuerza ejercida por la columna de líquido en el tanque determinada por la fórmula (2.16) se podrá decir que se garantizamos la resistencia

en la unión con esta superficie abarcada por el metal de aportación, puesto que el área determinada es mayor que el área mínima requerida (241 mm^2 mayor que 43.39 mm^2).

Podemos apreciar en la tabla 2.2 el porcentaje de carbono del metal base (0.24 %C) y en la tabla 2.5 el porcentaje de carbono del metal depositado por el electrodo (0.08 %C). Observando estos valores podemos decir que el electrodo recomendado cumple con la recomendación de que debe tener menor porcentaje de carbono que el metal base para evitar la formación de martensita en la zona fundida y en la zona de influencia térmica. También

la resistencia a la rotura del metal depositado por el electrodo ($\sigma_r = 510 \text{ MPa}$) es mayor

que la del metal base ($\sigma_r = 380 \text{ MPa}$), garantizando de esta forma la resistencia mecánica

en todo el espesor de la junta. El electrodo E-6013 como se puede observar en la figura 3.1, se emplea para todas las posiciones de soldadura (Esab, 2014a), (Boiler, 2013).

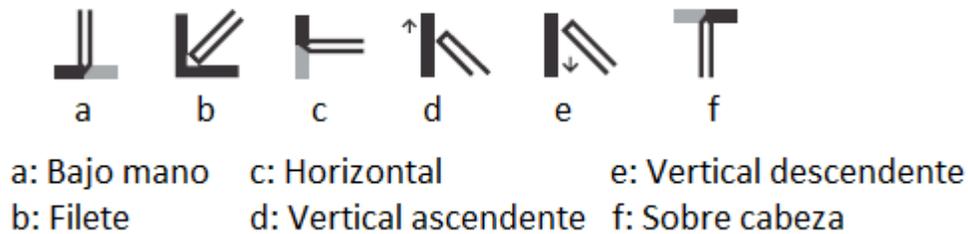


Fig.3.1 Posiciones de soldadura admisible para el electrodo

Una vez analizados los planteamientos anteriores podemos decir que el electrodo E-6013 es compatible para el acero que se trata y cumple con los requisitos para implementarse para el trabajo.

La temperatura de precalentamiento se establece según fórmulas empíricas que son el resultado de trabajos teórico experimental, a pesar ello corresponde con lo establecido en la norma API 650 de Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento. Dicha norma establece que para aplicar la soldadura de filete entre el primer anillo y la placa anular o la placa del fondo, se debe precalentar una longitud de 304.8mm. (12 pulgadas) hacia arriba del primer anillo a una temperatura de 100° C a 150° C . La temperatura determinada es de 126° C está en el rango recomendado por la API, esta temperatura pudiera ser mayor, solo que de ser posible se trabajará con la determinada porque el acero tratado no es de alta templabilidad.

Aplicando esta temperatura disminuiríamos la formación de transformaciones estructurales peligrosas y por lo tanto, las tensiones que estas originan, dando lugar a estructuras menos peligrosas y de menos volumen específico; facilita la difusión del hidrógeno de la unión soldada y por tanto, disminuye la tendencia al agrietamiento de la unión soldada por este efecto y por último facilita el desprendimiento de otros gases con lo cual se elimina la formación de poros.

La preparación de bordes viene dada por los espesores de plancha a soldar, para planchas con espesores menores de 6 mm, no se recomienda preparación. Para espesores mayores de

8 mm como es el caso de la soldadura presente se hace necesario preparar los bordes de soldadura, esto se realiza con el objetivo de lograr mayor penetración en la raíz de la costura y una sección transversal de la misma que garantice la resistencia mecánica en todo el espesor de la junta.(Torres, 2003). Los valores de separación de las planchas, penetración de la soldadura y el ángulo del bisel, garantizan la resistencia, así lo demostramos mediante la simulación.

Una de las características indispensables de las máquinas de soldaduras es suministrar la corriente necesaria. Este equipo garantizará el trabajo ya que la intensidad de corriente calculada para el electrodo es de 193 A y el rango suministrado por la máquina es de 4-250A. Atendiendo a la designación del electrodo (el electrodo propuesto admite ser utilizado con corriente continua con polaridad directa o normal) este equipo proporcionará corriente continua, además con este tipo de corriente las escalas con arco son más estables, por lo que suele preferirse para trabajos en posiciones difíciles y chapas relativamente finas.

2.2.1 Observaciones generales

Contar en el área de trabajo con herramientas adicionales tales como: pica escoria, cepillo mecánico, martillo, cincel, esmeril de mano entre otros instrumentos que pudieran ser útiles según consideraciones del soldador.

2.3 Análisis de los parámetros de la tecnología planteada de forma analítica y los determinados por Opifex Spark/SMAW

Se realizará una comparación en forma de tabla de los parámetros obtenidos de forma manual y los determinados por la aplicación.

La aplicación muestra los parámetros de ambos electrodos utilizados para el proceso de soldadura (pasadas de raíz y pasadas de relleno), pero solo se tuvieron en cuenta los parámetros del electrodo para el relleno E-6013.

Tabla 2.1. Regimen de soldadura

Resultados obtenidos de forma analítica	Resultados obtenidos por Opifex Spark/SMAW
Cantidad de pasadas (x) X=4	Cantidad de pasadas (x) X=4
Intensidad de corriente () =193 A	Intensidad de corriente () =195 A
Polaridad CC+(CCEN)	Polaridad CC+(CCEN)
Consumo de electrodo()	Consumo de electrodo()

=2.4 Kg	=2.4 Kg
Consumo de electricidad(A) A=14 KW/h	Consumo de electricidad(A) A=14.38KW/h
Tiempo tecnológico(T_t) T_t = 84 minutos	Tiempo tecnológico(T_t) T_t =83 minutos
Tiempo auxiliar (T_a) T_a =25 minutos	Tiempo auxiliar (T_a) T_a =25 minutos
Tiempo de servicio (T_{ser}) T_{ser} = 5 minutos	Tiempo de servicio (T_{ser}) T_{ser} =5.1minutos
Tiempo de descanso (T_{des}) T_{des} = 10 minutos	Tiempo de descanso (T_{des}) T_{des} =10 minutos
Tiempo total (T_{total}) T_{total} = 120 minutos	Tiempo total (T_{total}) T_{total} =123 minutos

Atendiendo a los resultados obtenidos del régimen de soldadura por medio del análisis analítico y los realizados con la aplicación Opifex Spark/SMAW podemos decir que los resultados determinados analíticamente se encuentran a un 99% con respecto a los determinados por la aplicación.

Tabla 2.2. Pre calentamiento y tratamiento térmico posterior

Resultados obtenidos de forma analítica	Resultados obtenidos por Opifex Spark/SMAW
Temperatura de Pre calentamiento (T_p) T_p = 126 °C	Temperatura de Pre calentamiento (T_p) T_p = 130 °C
Tratamiento térmico posterior Temperatura: 630 °C Tiempo de Permanencia: 60 minutos	Tratamiento térmico posterior Temperatura: 630 °C Tiempo de Permanencia: 61 minutos

La selección del tratamiento térmico posterior y la determinación de la temperatura de pre calentamiento se encuentran a un 98% con respecto a los determinados por la aplicación.

Tabla 2.3. Costos aproximados en el proceso

Resultados obtenidos de forma analítica	Resultados obtenidos por Opifex Spark/SMAW
Costo de Electrodo ($C_{Electrodo}$) $C_{Electrodo}$ = 2.95 CUP	Costo de Electrodo ($C_{Electrodo}$) $C_{Electrodo}$ = 2.95 CUP
Costo de Salario ($C_{Salario}$) $C_{Salario}$ = 2.9 CUP	Costo de Salario ($C_{Salario}$) $C_{Salario}$ = 2.9 CUP
Costo de Energía ($C_{Energía}$) $C_{Energía}$ = 5.3 CUP	Costo de Energía ($C_{Energía}$) $C_{Energía}$ = 5.46 CUP
Costo Total (C_{Total}) C_{Total} = 11 CUP	Costo Total (C_{Total}) C_{Total} = 11.31 CUP

Y por último haciendo un análisis de los costos estimados para el proceso mediante ambos métodos podemos decir que los determinados analíticamente están a un 98% con respecto a los determinados por Opifex Spark/SMAW.

2.4 Factibilidad económica del electrodo

Haciendo referencia a los costos de los procesos para un metro de soldadura determinados en el capítulo anterior podemos notar que no son tan elevados. Entre otros factores el precio del electrodo es determinante para el costo total del trabajo que se realice. Si se realizara un análisis de los costos empleando el electrodo E-7018 que es el que se emplea para realizar el trabajo en estos momentos con un precio de 2.50 \$/ Kg (dato obtenido por la empresa) los costos aumentarían considerablemente.

El electrodo E-6013 se debe almacenar a una temperatura de 15°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 50°C, o humedad relativa ambiente menor a 50% en cajas cerradas. A diferencia del electrodo E-7018 que en cajas cerradas se debe almacenar a una temperatura de 20°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 60°C, o humedad relativa ambiente menor de 50%.

Las condiciones de mantención de estos electrodos una vez sacados de sus cajas son las siguientes:

Para el electrodo E-6013 mantener a una temperatura de 10°C a 20°C sobre la temperatura ambiente y para el electrodo E-7018 mantener a una temperatura de 30°C a 140°C sobre la temperatura ambiente.

Como se puede apreciar el electrodo E-7018 requiere para conservarse en buen estado temperaturas de almacenamientos y mantención mayores que el electrodo E-6013. Esto provoca que los consumos de energía sean mayores para el cuidado del electrodo E-7018.

Otra ventaja económica que presenta el electrodo E-6013 es que no requiere de resecado para ser usado si se a mantenido en buenas condiciones de almacenamiento y mantención, lo contrario sucede con el electrodo E-7018, que debido a que se requieren niveles bajísimos de humedad (0,4% para la serie 70) por su bajo hidrogeno en el revestimiento debe de mantenerse en una estufa con una temperatura determinada mientras se realiza la operación de soldadura.

2.5 Análisis de la inspección de soldadura

La inspección de conjuntos fabricados mediante soldadura por arco incluye una gran cantidad de factores que no pueden tratarse en cualquier código o especificación. Estos factores incluyen no sólo los principios fundamentales de la operación real de soldadura y el conocimiento de defectos comunes de soldadura, sino también aspectos relacionados con el proceso, tales como propiedades básicas de las soldaduras y el metal base, métodos de ensayo e interpretación de planos y especificaciones.

Asegurar la calidad de los productos y servicios nunca ha sido el único propósito del inspector. La calidad no se puede inspeccionar dentro de nada, la misma debe incorporarse en el producto o servicio. Todos los trabajadores forman parte del proceso de calidad. El

papel del inspector es evitar que ocurran los errores y aumentar la certidumbre del sistema o el desempeño del servicio de los componentes mediante una verificación mejorada.

2.6 Defectos más comunes en la unión causas probable y recomendaciones para evitarlos

A continuación se expondrán una serie de defectos muy comunes en esta unión y las recomendaciones para corregirlos en caso de ocurrencia. Comenzaremos con las posibles causas de una soldadura porosa y sus recomendaciones para evitarse.

Tabla 2.4. Causas probables y recomendaciones para evitar una soldadura porosa

Causas probables	Recomendaciones
Arco corto Corriente inadecuada Electrodo defectuoso y humedecido	Averiguar si hay impureza en el metal base Usar corriente adecuada Utilizar el vaivén para evitar las sopladuras Usar un electrodo adecuado al trabajo Mantener el arco mas largo Utilizar electrodo de bajo contenido de hidrógeno

Posibles causas de una soldadura agrietada y sus recomendaciones para evitarlas.

Tabla 2.5. Causas probables y recomendaciones para evitar una soldadura agrietada

Causas probables	Recomendaciones
Electrodo inadecuado Falta de relación entre el tamaño de la soldadura y las piezas que une Soldadura defectuosa Mala preparación Unión muy rígida	Eliminar la rigidez de la unión con un buen proyecto de la estructura y un procedimiento de soldadura adecuado Precalentar las piezas Evitar las soldaduras de un solo cordón Soldar desde el centro hacia los extremos o bordes Ejecutar soldaduras sólidas con buena fisión en la raíz Adaptar el tamaño de la soldadura al de las piezas

	Dejar en las uniones una separación adecuada y uniforme
--	---

Posibles causas de la desviación del arco de soldadura y sus recomendaciones para evitarlo.

Tabla 2.6. Causas probables y recomendaciones para evitar el desvío del arco

Causas probables	Recomendaciones
El campo magnético generado por la CC. produce la desviación del arco (soplo magnético)	Usar C.A. Contrarrestar la desviación del arco con la posición del electrodo, manteniéndolo a un ángulo apropiado. Cambiar de lugar la tenaza de tierra Usar un banco de trabajo no magnético Usar barras

Posibles causas de una penetración incompleta y sus recomendaciones para evitarlas.

Tabla 2.7. Causas probables y recomendaciones para evitar una penetración incompleta

Causas probables	Recomendaciones
Velocidad excesiva Electrodo de \varnothing excesivo Corriente muy baja Preparación deficiente Electrodo de \varnothing pequeño	Usar la corriente adecuada, soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración Calcular correctamente la penetración del electrodo Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño del bisel Dejar suficiente separación en el fondo del bisel

Posibles causas de una fusión deficiente y sus recomendaciones para evitarlas.

Tabla 2.8. Causas probables y recomendaciones para evitar una fusión deficiente

Causas probables	Recomendaciones
Velocidad indebida Corriente mal graduada Preparación deficiente Tamaño del electrodo inadecuado	Adaptar el \varnothing del electrodo el ancho del bisel La oscilación debe ser lo suficiente amplia como fundir los costados de la unión Graduar la corriente para lograr aporte y penetración adecuados Evitar que el metal de aporte se encrespe, separándose de las planchas

Posibles causas del socavado y sus recomendaciones para evitarlo.

Tabla 2.9. Causas probables y recomendaciones para evitar el socavado

Causas probables	Recomendaciones
Manejo defectuoso del electrodo Selección inadecuada del tipo de electrodo Corriente muy elevada	Usar vaivén uniforme en las soldaduras de tope Evitar el uso de un electrodo exageradamente grande Evitar un vaivén exagerado Usar corriente moderada y soldar lentamente Sostener el electrodo a una distancia prudente del plano vertical al soldar filetes horizontales

Y por último veremos las causas probables y las recomendaciones para evitar una soldadura con mal aspecto.

Tabla 2.10. Causas probables y recomendaciones para evitar una soldadura con mal aspecto

Causas probables	Recomendaciones
Conexiones defectuosas Recalentamiento Electrodo inadecuado Longitud de arco y amperaje inadecuado	Usar la longitud de arco, el ángulo (posición) del electrodo y la velocidad de avance adecuados. Evitar el recalentamiento. Usar un vaivén uniforme. Evitar usar corriente demasiado elevada.

Será de gran importancia tener en cuenta las causas probables y las recomendaciones sugeridas para controlar cada problema planteado, ya que estos podrían influir negativamente en el trabajo, trayendo consigo accidentes y daños muy graves.

Conclusiones

Se estableció los valores máximos de tensiones en la zona peligrosa del tanque, demostrando que no presentan problema alguno. Demostrando que el electrodo E-6013 puede ser usado para la unión fondo-envolvente garantizando la resistencia óptima. Se estableció los parámetros fundamentales con los que la empresa puede realizar una probeta; ofreciendo la posibilidad del uso del electrodo E-6013 para la soldadura. Se especificaron los métodos del control de la calidad destructivo y no destructivo para la inspección de la soldadura.

Bibliografía

1. A.S.T.M., E. *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS*.650, A., 2003.
2. EXSA. *Manual y Catalogo de Soldadura. Soldabilidad de los aceros al carbono y baja aleación* 2003.
3. NC-ISO. *RECOMENDACIONES PARA LA PREPARACIÓN DE LA UNIÓN ISO 9692-1: 2011*, 2011.
4. BRICOLAJE, A. *Soldadura por Arco. Preparación*, 2002. [Disponible en: www.grupmav.es]
5. TORRES, E. *DETERMINACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.*, 2003. p.
6. PACO. *Tratamientos Térmicos de los Aceros* 2014.
7. ASME. *The American Society of Mechanical Engineering*.B31.3, 2014.
8. OXGASA. *Manual del Soldador*, 2010.
9. BOC. *Fundamentals of manual metal arc (MMA) welding*, 2007.
10. BURGOS, J. *Tecnología de Soldadura*. 1987. p.
11. ESAB. *Electrodos, características y aplicaciones*, 2014a.
12. QUIZA, R. *Diseño de Tecnologías de Soldadura con Electrodo s Metálicos Revestidos*. 2018. p.
13. BEER, F. P. *Mechanics of Materials*. 2013. p.
14. INDURA. *Manual de Sistemas y Materiale s de Soldadura*, 2007.
15. TORRES, E. *DETERMINACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.*, 2003. p.