

Estudio comparativo de los procesos de soldadura SMAW y GMAW en las uniones de tuberías de transporte de combustible

Antonio Rivadeneyra Camino¹
Ing. Omar Serrano²

RESUMEN

El sistema de transporte de combustible se realiza mediante sistemas de tuberías. Las uniones de los tubos se realiza por medio de proceso de soldadura SMAW o también llamado de electrodo revestido. Un proceso más rápido y que tiene mejor rendimiento en sus materiales consumibles es el proceso de soldadura GMAW o de electrodo desnudo con gas protector.

Se realiza un estudio comparativo en todos los aspectos, como dilución, inspección visual, inspección radiográfica, ensayos y pruebas mecánicas. Se determina cual de los procesos es más confiable para y el proceso menos costoso.

INTRODUCCIÓN

El poco tiempo que se dispone para realizar mantenimiento y reparaciones en las tuberías de transporte de combustible, hacen necesario la implementación y comparación de otros procesos de soldaduras para realizar los mantenimientos del sistema de poliductos.

El proceso de soldadura GMAW, es un proceso de soldar más rápido y menos costoso además de tener un mejor rendimiento en sus materiales consumibles. Los ensayos de tracción, doblado, inspección radiográfica, inspección visual, prueba de dilución, determinarán los beneficios de los procesos de soldadura SMAW y GMAW, estos resultados proporcionan cual de los procesos es el más confiable.

CONTENIDO

Se realizaron las siguientes pruebas a los tubos soldados con los procesos SMAW y GMAW:

Dilución

Inspección visual

Inspección radiográfica

Ensayo de tracción

Ensayo de doblado

Ensayo de dureza

Además de realizar un estudio económico para determinar cual de los procesos de soldadura es el más conveniente en la aplicación de uniones de tuberías.

La dilución es una prueba que cuantifica la fusión del material base con relación a la junta soldada, en forma de porcentaje, podemos mencionar además que la dilución viene íntimamente ligado con los parámetros de soldadura, la soldabilidad de la tubería, y las propiedades del metal se aporte.

En este estudio la junta se efectuó un bisel entonces la determinación de la dilución viene dada por la siguiente ecuación: (Ref. 8).

$$DILUCIÓN = \frac{A + B}{A + B + C} * 100\%$$

En el grafico podemos determinar las áreas.

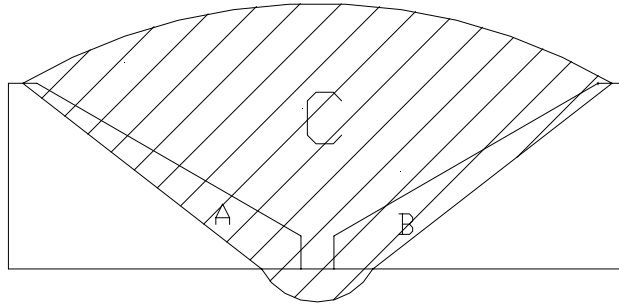


Tabla I. Designación de las muestras soldadas

Designación de la muestra	Tipo de proceso aplicado	Tipo de técnica	Voltaje (Voltios)	Corriente (Amperios)
T1	SMAW	Vertical Descendente	24.74	118.50
T2	GMAW	Vertical Ascendente	21.37	131.25
T2A	GMAW	Vertical Ascendente	19.75	125.26
T3	SMAW	Vertical Descendente	82.5	121.00
T4	SMAW	Vertical Descendente	30.86	113.60
T5	GMAW	Vertical Descendente	19.86	133.50
T6	GMAW	Vertical Ascendente	18.55	149.75
T7	GMAW	Vertical Ascendente	15.44	150.84
T8	SMAW + GMAW	Vertical Descendente	32.50	115.50

Tabla II. Resultados de la característica del cordón para todas las muestras

No. de prueba	Dilución (%)	Calor (Joule/mm)	ZAC (mm)	Ancho del cordón (mm)
T1	63,20	708,50	2,39	13,48
T4	64,87	677,93	3,32	15,97
T3	70,69	2406,11	3,75	13,46
T2	55,76	690,33	1,72	11,98
T2A	56,18	779,35	2,76	11,67
T5	52,56	760,45	1,43	12,78
T6	58,92	938,24	1,94	11,30

Inspección visual este procedimiento de ensayos puede rechazar cualquier cordón de soldadura sin la necesidad de realizar otro ensayo no destructivo, los parámetros de aceptación de la tubería soldada en la inspección visual son:

- La sobre monta o pase de cubierta no debe tener niveles inferiores al que dado por el diámetro exterior del tubo. Ni tampoco niveles superiores a 1/16 de pulgadas del diámetro superior al tubo.
- Este cordón también solapa a los biseles de la junta en 1.5 mm por cada lado, si existen cordones con menores o mayores proporciones de el ancho establecido por la norma, este es criterio el cual puede ser empleado para el rechazo de la tubería soldada.
- Existencias de mordeduras, poros, fisuras en la superficie del cordón que se encuentran dentro de los rangos de 12.45 % del espesor del tubo.

A la tubería luego de haber realizado el proceso de soldadura, se procedió a la limpieza con cepillos de discos trenzados y se empleo una lupa de 4X para la inspección visual en todo el contorno del cordón.



Inspección radiográfica el procedimiento radiográfico se realizo a todos la uniones soldadas bajo una técnica de doble pared con simple imagen, la película utilizada es D7, y con un equipo de radiación SEIFERT de 300 kilovoltios.

Tabla III. Resultado de la inspección por radiografía

No. Del tubo	Sección	Tipo de defecto	Tipo de proceso	Aceptado o reparar
T1	A-B		SMAW	ACEPTADO
	B-C			ACEPTADO
	C-A	F		ACEPTADO
T2	A-B	Aa	GMAW	ACEPTADO
	B-C	Aa		ACEPTADO
	C-A	C		REPARAR
T2A	A-B	Aa-C	GMAW	REPARAR
	B-C	Aa		REPARAR
	C-A	Aa-Ab		REPARAR
T3	A-B	F	SMAW	ACEPTADO
	B-C			ACEPTADO
	C-A	F		ACEPTADO
T4	A-B		SMAW	ACEPTADO
	B-C	F		ACEPTADO
	C-A			ACEPTADO
T5	A-B		GMAW	ACEPTADO
	B-C	Aa		ACEPTADO
	C-A	Aa		ACEPTADO
T6	A-B	Aa	GMAW	REPARAR
	B-C	Aa-Ab-C		REPARAR
	C-A	Aa-Ba		REPARAR
T7	A-B	Aa-Ab-C	GMAW	REPARAR
	B-C	Aa-Ab-C		REPARAR
	C-A	C		ACEPTADO
T8	A-B	Aa	SMAW	ACEPTADO
	B-C	Aa	Y	ACEPTADO
	C-A		GMAW	ACEPTADO

Aa – porosidad

Ab – burbujas tubulares

Ba – Inclusiones de forma y orientación variada

C – Falta de fusión

F – Mordeduras o socavación

Ensayo de tracción, este tipo de ensayo se los realizo a las probetas donde se obtuvieron los mejores resultados de la inspección visual, radiográfica y dilución.

Muestra	Espesor [plg]	Ancho [plg]	Area [plg ²]	carga máxima. (KN)	Fuerza max. [lbf]	Esfuerzo σ máximo. [psi]	Porcentaje Elongación (%)
T2-1	0,35	0,78	0,28	92,31	21242,20	76519,35	17,60%
T2-2	0,35	0,78	0,27	94,49	20752,11	75551,23	23,90%
T4-1	0,35	0,78	0,28	98,17	22069,50	79900,98	28,00%
T4-2	0,35	0,78	0,27	98,17	22069,50	81716,91	26,00%
T8-1	0,34	0,78	0,27	96,75	21750,27	80995,10	20,80%
T8-2	0,34	0,78	0,27	93,21	20954,44	78031,56	24,40%

Tabla IV. Resultados del ensayo de tracción en las probetas soldadas.

Ensayo de doblado, para las muestras soldadas por los dos procesos de soldadura SMAW y GMAW.



Realizando la prueba de doblado

Tabla V Resultados de la prueba de doblado.

No. del tubo ensayado	Identificación de la probeta	Aceptación o rechazo
T2	Raíz 1	ACEPTADO
	Raíz 2	ACEPTADO
	Cara 1	ACEPTADO
	Cara 2	RECHAZAR
T4	Raíz 1	ACEPTADO
	Raíz 2	ACEPTADO
	Cara 1	ACEPTADO
	Cara 2	ACEPTADO
T8	Raíz 1	ACEPTADO
	Raíz 2	ACEPTADO
	Cara 1	RECHAZAR
	Cara 2	ACEPTADO

ensayo de dureza

Tabla VI. Resultados del ensayo de dureza para la muestras soldadas con SMAW

Sección	Dureza HRb
MATERIAL BASE	85,51
ZAC	87,77
MATERIAL DE APORTE	89,71
ZAC	86,00
MATERIAL BASE	85,79

Tabla VII. Resultados del ensayo de dureza para la muestras soldadas con GMAW

Sección	Dureza HRb
MATERIAL BASE	84,72
ZAC	88,13
MATERIAL DE APORTE	93,00
ZAC	89,25
MATERIAL BASE	85,58

Se puede observar que las muestras soldadas con el proceso de soldadura GMAW posee mayor dureza, esto se lo puede atribuir a que por ser pases de soldaduras aplicados, se mantuvieron los niveles de dureza esperados.

Para el análisis económico de los procesos de soldadura hay que tomar en de manera general cuenta los siguientes factores:

- Tiempo de preparación de la junta soldar
- Tiempo de ensamble
- Tiempo de punteo o armado

- Tiempo de posicionamiento
- Tiempo de soldadura
- Tiempo de parada, en donde se considera los tiempo del cambio del electrodo, tiempo de movilización de estación, tiempo de cambio de los parámetros de soldadura, etc.
- Tiempo gastado por la cuadrilla, se tomará en cuenta el tiempo en actividades personales.
- Tiempo de limpieza
- Tiempo de desensamble
- Tiempo de alivio de tensiones
- Costo del electrodo
- Costo de los materiales protectores
- Costo de la potencia eléctrica
- Costo de los activos fijos (Overhead).

En algunos casos ciertos factores no son considerados en la ejecución de la soldadura, porque no son necesarios en el proceso de soldadura.

Como se puede observar en el listado de los factores que intervienen en este análisis existen muchos factores que se encuentran relacionados con el tiempo, y no son necesariamente tiempo de arco, ya que se tiene el tiempo de cambio de cambio de electrodo, pulir, remover escoria, etc. El tiempo total de horas de trabajo siempre es mayor que el tiempo de suelda, entonces la relación entre el tiempo de arco(T_u) y tiempo de parada (T_d), se denomina factor de operación (OF) y viene dado por la siguiente formula:

$$OF = \frac{T_u}{T_u + T_d} \quad (\text{Ref. 4})$$

El resultado viene expresado de forma porcentual.

La ecuación que determina el costo total en los procesos de soldadura es la siguiente:

$$\text{Costo Total} = MO + F + W \quad (\text{Ref. 4})$$

Donde *MO* es un factor determinado por la compañía en la cual se considera los costos de la mano de obra y los equipos a utilizarse. *F* es el valor de los consumibles que serán empleados en el proceso de soldadura. *W* es el costo de la potencia eléctrica empleado en el proceso de soldar.

Formula para establecer el factor *MO*. (Ref. 4)

$$MO = \frac{\text{Total de pies de soldadura} * \text{carga de mano de obra y equipos}}{\text{Velocidad de soldeo} * OF}$$

Para obtener el factor *F* donde se toman en cuenta todos los consumibles vienen este factor viene dado por la ecuación.(Ref. 4).

$$F = \text{Consumo de electrodo por pie de soldadura} * \text{Total de pie de soldadura} * \\ * \text{Precio de electrodo} + \text{Consumo de protección por libra de electrodo} * \\ * \text{Total de libras de electrodo} * \text{precio de protección}$$

Para los procesos SMAW y FCAW el análisis de costo de los productos de protección no es considerado, ya que en los precios del electrodo se toma en cuenta el fundente, en el consumo de electrodo por pie de soldadura hay que considerar la eficiencia del deposito del material de soldadura, la eficiencia el deposito nos indica, las libras de material depositado por cada libra de electrodo,

para el proceso de electrodo revestido la eficiencia del deposito es de aproximadamente del 60% al 70%, en cambio para el proceso de electrodo desnudo con gas protector la eficiencia del deposito es del 100%.

La potencia se la puede calcular de forma que el tiempo de encendido de la maquina por la potencia de consumo del equipo por el precio de la potencia y el tiempo del equipo encendido. Pero una buena forma de tener el valor de la potencia es de 0.03 \$/lb.

Total de los costos del proceso de soldadura para el proceso SMAW en una junta de tubería soldada

$$\text{Costos totales} = 0.41 + 3.32 + 0.054 = \text{\$ } \mathbf{3,78}$$

Total de los costos del proceso de soldadura para el proceso GMAW en una junta de tubería soldada

$$\text{Costos totales} = 0.49 + 1.445 + 0.021 = \text{\$ } \mathbf{1.96}$$

De esta forma podemos observar que el proceso de soldar GMAW es más económico que el proceso SMAW. Aunque los equipos de soldar y la mano de obra sea más costosa, estos parámetros influyen muy poco en el análisis de costos total.

CONCLUSIONES

El proceso de soldadura GMAW es más rápido que el proceso SMAW proporcionando mayor cantidad de material depositado en la junta soldada, por lo que el tiempo de ejecución de las juntas fue menor que con el proceso de soldadura por electrodo revestido.

El proceso de soldadura GMAW no es aconsejable aplicarlo en zonas donde las condiciones ambientales son adversas, tales como alta velocidad del viento, temperatura ambiente baja, o zonas lluviosas. En estas condiciones, es mejor soldar con el proceso SMAW.

Se puede concluir que el proceso SMAW tiene mayor confiabilidad que el proceso GMAW en la soldadura de tuberías, ya que en los ensayos de radiografía y doblado las muestras correspondientes no presentaron ningún tipo de fallas. Esto se puede atribuir a la buena dilución que se obtuvo en las probetas donde se aplicó el proceso SMAW.

Como se muestra en la parte final de este trabajo el proceso de soldadura GMAW es un 52% más económico que el proceso de soldadura SMAW, ya que los costos de los materiales consumibles y su bajo rendimiento de los mismos elevan los costos generales para el proceso de soldadura SMAW.

REFERENCIAS

1. AWS. Manual de soldadura, Tomo I, México 8va Edición pp. 44,45
2. ASM. Metal Handbook, Volumen 6, 9na Edición pp. 79,81,126
3. HORWITZ H. Enciclopedia de la soldadura, Tomo I. Ediciones PC pp. 49-50

4. LINCOLN ELECTRIC. Procedure Handbook Of Arc Welding. Edición Especial pp. 4.1-2, 13.3-3
5. MILLER ELECTRIC. Gas Metal Arc Welding, 1era Edición pp. 3, 8.
6. HOBART. MANUAL SERVICE 1era Edición. Mi 250, pp. 1
7. API 1104. Standard for Welding Pipelines And Related Facilities. 1980. 15ava Edición
8. Apuntes personales de Soldadura. 1996
9. DURAN MARCELA. Soldabilidad del acero ASTM A36 con el acero AISI 304 mediante el proceso de arco sumergido (Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. ESPOL).1998
10. ASTM A370. Standard Methods And Definitions For Mechanical Testing Of Steel Products. 1967 pp 327.

Sr. Ing. Omar Serrano V.

Sr. Antonio Rivadeneyra