

Desarrollo y calificación de un procedimiento de soldadura en servicio de accesorio para tanque bajo diseño api650 y requerimientos de ASME sección IX con el proceso de soldadura SMAW

Development and qualification of a welding procedure in service of accessory for tank under design api650 and requirements of ASME section IX with the SMAW welding process

Ricardo Andrés Rosero Jiménez*

Fecha de recepción: 27 de junio de 2018 Fecha de aceptación del artículo: 30 de noviembre de 2018

Resumen

En este artículo se ilustran los criterios de diseño requeridos en la elaboración de un procedimiento de soldadura WPS en una junta soldada, en una conexión de 16" de diámetro para dos tanques de almacenamiento de crudo de 50 mil barriles en la estación Apiay, perteneciente a la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol VIT en el departamento del Meta, y la calificación del procedimiento de soldadura PQR generado, cumpliendo con los criterios de diseño, montaje y operación de los estándares API 650 y API653 y requisitos del código ASME SECC IX para el proceso de soldadura SMAW.

Las elaboraciones de estos documentos hacen parte de los entregables requeridos en el desarrollo de la ingeniería del proyecto cuyo alcance consiste en

"DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA CASTILLA - APIAY - MONTERREY - 330 KBPDO"

Palabras clave: Diseño, plan de soldadura, especificación del procedimiento de soldadura, calificación de procedimiento de soldadura.

Abstract

This article illustrates the design criteria required for the development of a WPS welding procedure for a welded joint in a 16 "diameter connection for two 50,000-barrel crude oil storage tanks at the Apiay station, belonging to the Ecopetrol VIT Vice-Presidency of Transport in the department of Meta, and the qualification of the PQR welding procedure generated, meeting the design, assembly

* Ricardo A. Rosero J., Ingeniero Mecánico Universidad Fundación de América, Bogotá Colombia. Magister en Gestión de la Industria de Hidrocarburos, Universidad del Mar, Chile. Correo-e: ricardo80rosero@gmail.com

and operation criteria of the API 650 and API653 standards and requirements of the ASME SECC IX code for the process SMAW welding.

The preparation of these documents is part of the required for the development of the engineering project whose scope consisted in the “ENGINEERING DEVELOPMENT OF DETAIL FOR THE PUMPING CAPACITY INCREASE OF THE CASTILLA – APIAY – MONTERREY SISTEM – 330 KBOPD”

Key word: Design, welding plan, specification of the welding procedure (WPS), welding procedure qualification (WPQ).

Introducción

En el camino de la búsqueda de mejoras operativas, la Gerencia Técnica de Activos de la Vicepresidencia de Transporte de ECOPETROL S.A. (VIT), ha identificado la necesidad de contar con procedimientos y prácticas constructivas aceptables que arrojen resultados óptimos en las condiciones de operación del día a día. Dentro de estas prácticas se incluye la minimización de los riesgos inherentes a la operación, específicamente en la Planta Apiay, ubicada en cercanías de la vereda Pompeya en el Meta, donde se ha requerido implementar de manera urgente un CONTROL DE CAMBIOS, llamado Independización de relevos de Crudo y Nafta de la planta.

Problema

Desde la unidad de negocios de la Vicepresidencia de Transporte (VIT) de Ecopetrol S.A, específicamente en la Gerencia Técnica de Activos (GTA), se verificó la existencia de diferentes procedimientos que intentaban dar cumplimiento a los requerimientos de soldadura para el proyecto “DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA CASTILLA - APIAY - MONTERREY - 330 KBPDO”, sin embargo, a pesar de la existencia de dichos procedimientos se identificó que ninguno de

ellos se ajustaba al alcance de la actividad de las conexiones, lo que generó la necesidad de realizar el diseño de un procedimiento de soldadura específico para las juntas soldadas requeridas en el montaje de una conexión de 16” a un tanque de almacenamiento, que cumpliera totalmente con los requerimientos técnicos del montaje en tanques diseñados bajo estándar API650 y de soldadura.

Justificación

Uno de los requerimientos básicos para garantizar una constante mejora operativa en los procesos de ECOPETROL S.A., es contar con procedimientos claros, específicos y disponibles en cada actividad que se va realizar dentro de sus proyectos. Por tal razón y teniendo en cuenta que no existe un procedimiento de soldadura que indique claramente las condiciones técnicas que deben cumplirse para llevar a cabo la actividad dentro de los parámetros requeridos, la GTA como encargada de hacer el seguimiento y aseguramiento técnico del montaje, con el fin de garantizar el cumplimiento de especificaciones, de requerimientos, de seguridad operacional, de integridad de equipos y de personal, define que dentro de las actividades de ingeniería a su cargo, se diseñe el procedimiento de soldadura a aplicar en el montaje de dos boquillas de 16” para la realización posterior de Hot-Tap que intercomunique los dos tanques de almacenamiento de crudo, y así cumplir con la meta propuesta para la independización de relevos en Apiay y llevar a buen término la ejecución de todas las actividades relacionadas según plan de trabajo del proyecto.

Metodología

Realizar un diseño de soldadura analizando todas las variables fundamentales de soldabilidad tales como las variables térmicas del procedimiento y las variables propias del proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW). Elaborar el Plan de Soldadura resultado del diseño anterior,

siendo este último el soporte para confeccionar la especificación del procedimiento de soldadura (WPS), calificar el procedimiento de acuerdo con el código ASME SECC IX para el montaje de la boquilla de 16" en tanques bajo diseño API 650.

Consideraciones Metalúrgicas

Se determina la temperatura de precalentamiento óptima de los materiales por medio del cálculo del carbono equivalente, lo cual es una manera de cuantificar la influencia de los diferentes elementos aleantes en los aceros en estudio (ASTM A106 Gr-B y ASTM A-36) sobre la soldabilidad metalúrgica del mismo. Para el caso particular de los materiales seleccionados se realizó el cálculo del carbono equivalente mediante las fórmulas de Cottrell, Bradstreet y Seferian.

Determinación del índice de soldabilidad

El electrodo empleado será del tipo básico, cuya característica es contenido de bajo hidrógeno. Con los valores de carbono equivalente obtenidos para los dos materiales del acero, el A106 Gr-B y el A36, se debe identificar la letra equivalente que define el índice de soldabilidad de la última columna de la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla Índice de Soldabilidad.

Equivalente en Carbono [C] ²		Letra que define el índice de soldabilidad
Electrodos rutilo	Electrodos básico	
< 0.20	< 0.25	A
0.21 – 0.23	0.26 – 0.3	B
0.24 – 0.27	0.31 – 0.35	C
0.28 – 0.32	0.36 – 0.40	D
0.33 – 0.38	0.41 – 0.45	E
0.39 – 0.45	0.46 – 0.5	F
> 0.45	> 0.5	G

Fuente: Metalurgia de la soldadura; Osmundo Héctor Rodríguez Pérez. Editorial Universitaria, 2013

Con el fin de precalentar los materiales para realizar la junta soldada se selecciona como temperatura mínima de precalentamiento para los dos materiales la equivalente a 70°C (Ver Tabla 2), esto con el propósito de no producir cambios estructurales bruscos, considerando las condiciones climáticas de 25°-35°C en el sitio del trabajo y teniendo en cuenta un enfriamiento al medio ambiente.

Cómo método para el control de calidad y generar un control en el proceso de aplicación de la soldadura para el proyecto, se estableció un rango de temperatura para el trabajo de campo que oscila entre 70°C como temperatura mínima y 100°C la temperatura máxima.

Se determinó el uso de antorcha para mantener una temperatura mínima de 70°C de precalentamiento para el primer pase y siguientes, con el fin de reducir efectos producidos por la humedad en la zona donde se van a realizar los trabajos.

Tabla 2. Resumen de valores para hallar la Temperatura de Precalentamiento Mínima.

Características para Precalentamiento	Símbolo	A106	A36
Porcentaje Contenido Carbón	% C	Medio	Bajo
Carbono Equivalente	(% C eq)	0,422	0,29
Índice Soldabilidad para electrodo básico	(IS)	F	B
Precalentamiento Formula Seferian.	T° Mín.	140°C	70°C

Fuente: Autor.

A continuación, se resumen los criterios del plan de soldadura para cada una de las variables térmicas y de proceso requeridas para la elaboración del procedimiento de soldadura WPS.

Resumen Plan de Soldadura.

Tabla 3. Plan de Soldadura.

VARIABLES TERMICAS													
5.1.1	5.1.3	5.1.4	5.1.4	5.2		5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8		
QW-403	QW-403	QW-403		5.2.1	5.2.2	QW-406			QW-407	QW-402	QW-405		
Material 1	Material 2	# P 1	# P2	Espesor A-36	Espesor A106	T° de Pre-Calentamiento	T° entre Pases	Enfriamiento soldadura	PWHT	Junta	Respaldo	Posición	
SA-106	A-36	1	1	1/2" (12mm)	>=3/16 (4,76mm) =3/8"	70°C - 100°C	70°C - 100°C	25°C - 35°C	N/A	Ranura con Bisel Sencillo	ASTM A283GrB	5G Ascendente	5F

VARIABLES DEL PROCESO													
5.9	5.10			5.10.3			5.12			5.12			5.13
	5.10.1	5.10.2	5.10.3	QW-404 .6/7			5.12.1			5.12.1			QW-410
	QW-404			QW-404 .6/7			QW-409			5.12.1			PQR
PROCESO	MATERIAL APORTE			DIÁMETROS MA			TIPO DE CORRIENTE			AMPERAJE			TÉCNICA
	QW-432	QW-442	ELECTRODO	Raíz	Relleno	Presentación	Raíz	Relleno	Presentación	Raíz	Relleno	Presentación	
	# F	# A											
SMAW	4	1	SFA 5.1 E7018	1/8" (3,175mm)	1/8" -3/8" (3,17-9,5mm)	1/8" -3/8" (3,17-9,5mm)	DC+	DC+	DC+	70-90	70-90	100-130	Cordon: Recto Limpieza: Disco Abrasivo, Grata Electrica Pase :Multiple
													PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Ver.1
													WPS-SMAW-ECP-VIT-044 Ver. 1

Fuente: Autor

Especificación para el Procedimiento de Soldadura – WPS

Tabla 4. WPS-SMAW-ECP-VIT-044.

ESPECIFICACIÓN PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS													
VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE Y LOGISTICA - GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS													
CÓDIGO: VIT-GTA-P-399				ELABORADO: 26-06-2015				VERSIÓN: 0					
Proyecto/Area:		Meta Apiay				Descripción Aplicación:		Calificación para unión de niple a tanque API 650 en operación					
N° WPS: WPS-SMAW-ECP-VIT-044		Fecha:				N°PQR: PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Ver.1							
Revisión N°:		1		Fecha:				Código de Diseño:					
PROCESO DE SOLDADURA:				SMAW				Tipo:		Manual:		<input checked="" type="checkbox"/>	
								Mecanizado:		<input type="checkbox"/>		Automático:	
										<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
JUNTAS (QW-402)													
Diseño de Junta:		Junta a Tope				Espaciamento de raíz:		Mínimo 1/8" hasta 3/8"					
Respaldo:		Sí:		<input checked="" type="checkbox"/>		No:		<input type="checkbox"/>		Metal:		<input checked="" type="checkbox"/>	
										No Metálico:		<input type="checkbox"/>	
Tipo de Material de Respaldo (Tipo):				ASTM A283				Metal no Fusible:		<input type="checkbox"/>			
METAL BASE (QW-403)													
Numero P:		1		N° Grupo:		1		Numero P:		1		N° Grupo:	
Especificación y tipo / Grado o número UNS:				ASTM A36									
Especificación y tipo / Grado o número UNS:				ASTM A106 GRB									
Rango de espesor:				Platina 1/2"									
Metal Base:		Ranura:		<input checked="" type="checkbox"/>		Filete:		<input checked="" type="checkbox"/>					

METAL DE APORTE (QW-404)		1	2	POSICIONES (405)	
Especificación (SFA)		SFA 5.1		Posición de Ranura:	5G
Clasificación AWS		E7018		Progresión de Soldadura:	
Número F		4		Ascendente:	<input checked="" type="checkbox"/> Desendente: <input type="checkbox"/>
Número A		1		Posición de Filete:	5F
Diámetro Electrodo		1/8"-3/8"		Otros	No
Forma del Producto		Barra Recubierta		PRECALENTAMIENTO (QW-406)	
Metal de Aporte Suplementario		N/A		Temperatura de Prealentamiento:	
Metal de Soldadura		N/A		Mínima:	70°C Máxima: 100°C
Rango de Espesor				Temperatura entre Pases:	
Ranura		1/2"		Mínima:	70°C Máxima: 100°C
Filete		1/2"		Otros:	
Clasif. Electrodo Fundente				GAS (QW-408)	
Tipo de Fundente				GAS	MEZCLA
Inserto Consumible					FLUJO
Otro			Protección:	--	--
			Atrás del Electrodo:	--	--
			Respaldo:	--	--
			Otro:	--	--

Detalles de Montaje y Junta:

T1 (Tubería)=0,25\"=8,3mm
T2=T3=1/2\" (12mm Aprox.)
T2=Lámina Refuerzo
T3=Lámina Tk 1\"Anillo
θ=35°
AR=1/8\"-3/8\" (3,1mm-9,5mm)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)									
Pases de Soldadura	Proceso	Metal Aporte		Corriente y Polaridad	Amperaje	Voltaje	Vel Avance cm/min	Entrada Calor (Kj/mm)	Stick Out,cm
		Clasific.	Diámetro						
1	SMAW	E7018	1/8"	DC (EP)	70-90	25-30	7-11	-	-
2	SMAW	E7018	1/8"	DC (EP)	70-90	25-30	7-11	-	-
Relleno	SMAW	E7018	3/8"	DC (EP)	100-130	25-30	7-11	-	-
Pesentación	SMAW	E7018	3/8"	DC (EP)	100-130	25-30	7-11	-	-

TÉCNICA (QW-410)	
Cordón Recto u Oscilado:	RECTO
Limpieza Inicial y entre Pases:	Disco Abrasivo
Pase Múltiple o Sencillo por lado:	Múltiple
	en el pase de raíz, grata eléctrica entre pases y cuando se requiera disco abrasivo.

OBSERVACIONES:

1.Especificación generada paa la calificación no es valida para realizar trabajos sin el respectivo WPQ, con base en el cual se realizarán ajustes a los parámetros de soldadura.

2.Calificar con tubería ASTM A106 de 8" Sch Std y latina ASTM A36 de 1/2".

4.Tomar Probetas de acuerdo cn ASME secc IX para calificación de soldadura de filete (QW-181.1).Evidenciando penetración completa a través de T1.

Fuente: Autor

Condiciones para la Calificación del Procedimiento

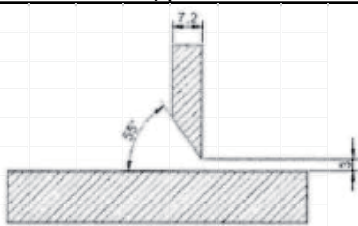
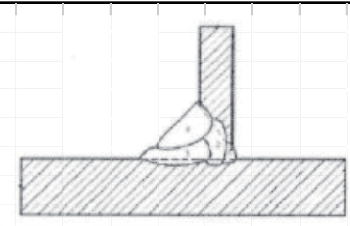
Los materiales suministrados no tienen documentos que certifiquen su calidad y especificación, por esto se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

PLATINA A36. No se tiene certificado de calidad, por API653 Numeral 4.3.3 se toma como valor de referencia 55Ksi para un material sin identificación. Se valida este requisito mediante equivalencia

entre resistencia a la tensión y dureza de acuerdo a ASTM A370. Según medición hecha al material base, informe Inspec Ingeniería DI0216-1F Reg.007, la dureza HV10 promedio es 175 que equivale a 86ksi. Se clasifica el material como P Grupo 1 para la calificación.

Identificación del material de la tubería como material ASTM A106 Grado B. Muestra M24 (Colada 43211) Reporte N°005- Caracterización Tubería y Accesorios 11/08/2015 Tecnicontrol.

Tabla 5. PQR-SMAW-ECP-VIT-044.

PROCEDIMIENTO DEL REGISTRO DE CALIFICACIÓN - PQR									
VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE Y LOGISTICA - GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS									
CÓDIGO: VIT-GTA-P-399				ELABORADO: 28/11/2015			VERSIÓN: 0		
Empresa del Soldador:	Ismocol			Nombre Soldador:	Jhon Darío Torres				
Nombre del Proyecto:	Ampliación 330k			Cédula de Ciudadanía:	No Registrado				
Fecha de Calificación:	09/03/2015			Estampe:	JDT				
Proceso de Soldadura:	SMAW			Equipo de Soldadura:	No Registrado				
WPS N°:	WPS-SMAW-ECP-VIT-044 Ver.B			Posición Calificación:	5F				
PQR / WPQ N°:	PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Vers.1			Estándar / Código de Soldadura:	ASME SECTION IX-2013				
Material Base Probeta:									
PLATINA A36 No se tiene certificado, por API653 Numeral 4.3.3 se toma como valor de referencia 55ksi para un material sin identificación. Se valida este requisito mediante equivalencia entre resistencia a la tensión y dureza, de acuerdo a ASTM A370. Según medición hecha al material base, informe Inspec Ingeniería DI0216-1F Reg.007, la dureza HV10 promedio es 175 que equivale a 86ksi. El material queda clasificado como P! Grupo 1 para la calificación.									
TUBERÍA ASTM A106 Grado B. Muestra M24 (Colada 43211) Reporte N°005- Caracterización Tubería y Accesorios 11/08/2015 Anexos									
Diámetro Probeta:	8" TUBERÍA			Espesor de Probeta:	0,28 (7,2mm) Tubería y 1/2" (12,6 mm) Platina				
Material Aporte:	WAS A5.1 E7018 (2,4mm y 3,2mm) No se tienen registros de lotes.								
Características Eléctricas:	DC EP			Inspector:	No Registra				
Diseño de la Junta:	Junta en Tee, Soldadura de ranura y filete			Progresión:	Ascendente	Gas:	-	Rata Flujo:	40CFH
Diámetro Boquilla:	N/A		Diámetro Tugsteno:	N/A		Grapa:	Apuntado		
Pre calentamiento:	70°C		Temperatura Probeta Inicio:	No registra Villao		Ciudad:	Villavicencio 20°C-35°C		
Tiempo Entre Pases:	10 minutos terminado el primer pase								
Otros:	Se tomará como criterio de cumplimiento de ASME secc IX QW-183 y microdureza menor a 275.								
DISEÑO DE LA JUNTA, (Medidas en Milímetros (mm))					SECUENCIA DE PASES				
									
TABLA DE RANGOS ELECTRICOS									
SEC. Pases	METAL APORTE		Corriente Plaridad	Progresión	Amperaje	Voltaje	Velocidad Avance cm/min	IN Q (kj/mm)	Limpieza
	CLASE	Ø							
Raíz-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	82	24,8	3,79	3,22	Disco Abrasivo
Raíz-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	82	24,8	3,79	3,22	Disco Abrasivo

Raíz-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	82	24,8	3,79	3,22	Disco Abrasivo
Raíz-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	91	24,8	3,79	3,57	Disco Abrasivo
Raíz-A-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	91	24,8	3,79	3,57	Disco Abrasivo
Raíz-A-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	91	24,8	3,79	3,57	Disco Abrasivo
Raíz-A-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-9	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-10	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-11	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-12	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,8	3,79	3,42	Disco Abrasivo
Raíz-A-13	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84	24,8	3,79	3,3	Disco Abrasivo
Raíz-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-9	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	92	24,2	2,82	4,74	Disco Abrasivo
Raíz-B-10	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	92	24,2	2,82	4,74	Disco Abrasivo
Raíz-B-11	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-12	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-13	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-14	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87	24,2	2,82	4,48	Disco Abrasivo
Raíz-B-15	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87,5	24,2	2,82	4,51	Disco Abrasivo
Raíz-B-16	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87,5	24,2	2,82	4,51	Disco Abrasivo
Raíz-B-17	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	87,5	24,2	2,82	4,51	Disco Abrasivo
Relleno 1-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-A-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	5,98	2,43	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-5	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-6	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-7	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 1-B-8	AWS A5.5 E8018-C3	3/32"	DE EP (+)	Ascend	84,4	28,7	6,34	2,29	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,7	2,22	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,55	2,26	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	111	29	8,55	2,26	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	128	29	8,55	2,61	Disc Abr.-Grata Ele
Relleno 2-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	128	29	8,55	2,61	Disc Abr.-Grata Ele
Present 1-A-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-A-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-A-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-A-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	7,56	2,6	Grata Electrica
Present 1-B-1	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica
Present 1-B-2	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica
Present 1-B-3	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Electrica

Present 1-B-4	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122	26,9	6,97	2,83	Grata Elctrica
Present 1-B-5	AWS A5.5 E8018-C3	1/8"	DE EP (+)	Ascend	122,6	26,9	6,97	2,84	Grata Elctrica
Codificación de Pases "Pase - Lado - Cordón".									
INSPECCIÓN VISUAL									
Apariencia:	Uniforme				Grietas:	No Presenta			
Socavado:	No Presenta				Falta de Penetración:	No Presenta			
Falta de Fusión:	No Presenta				Otros:	N/A			
Resultado de inspección Visual:					Satisfactorio , Aceptado				
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS									
Resultado de Inspección Radiográfica:					-----				
Laboratorio:	N/A				Informe:	N/A			
Codificación de Pases "Pase - Lado - Cordón".									
INSPECCIÓN VISUAL									
Apariencia:	Uniforme				Grietas:	No Presenta			
Socavado:	No Presenta				Falta de Penetración:	No Presenta			
Falta de Fusión:	No Presenta				Otros:	N/A			
Resultado de inspección Visual:					Satisfactorio , Aceptado				
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS									
Resultado de Inspección Radiográfica:					-----				
Laboratorio:	N/A				Informe:	N/A			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY									
PROBETA N°	LONGITUD	ANCHO	ESPEJOR	TEMPERATURA	UBICACIÓN ENTALLA	ENERGIA	OBSERVACIÓN		
	mm	mm	mm^2	°C		J			
N/A									
N/A									
N/A									
Laboratorio:		N/A			Informe:	N/A			
ENSAYO DE DUREZA									
ZONA MEDICIÓN		DUREZA ESALA	DUREZA	OBSERVACIONES					
M11 322 Metal Base		HV10	176	Valor Promedio					
M11 322 HAZ Platina		HV10	173 -190	Ninguno					
M11 322 HAZ Tubería		HV10	184	Valor Promedio					
M11 322 W Ranura		HV10	173 - 178	La cara del filete presenta un dato de 184					
M11 322 W Filete		HV10	181 - 206	175 en la mitad del filete contra la platina					
Laboratorio:		INSPEQ INGENIERIA BTA			Informe:	DI0216-1F Reg.007 23/11/2015			
Resultado: Pasa, los valores promedios e individuales son menores a 275 HV									
ENSAYO DE MACROATAQUE									
PROBETA		OBSERVACIONES							
M1 263		Evidencia una discontinuidad de 1,68 mm en su dimensión más grande en la interfase de la soldadura(falta de fusión)							
M2 263		Sin discontinuidades							
M2 263		Sin discontinuidades							
M4 263		Sin discontinuidades							
M11 315		Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia una discontinuidad de 0,42mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).							
M12 315		Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia dos discontinuidades 1,31mm y 0,82mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).							
Laboratorio:		West Arco			Informe:	I-15263-7 01/10/2015		I-15315-1 19/11/2015	
Resultado: PASA . La probeta M1 263 mp pasa para lo cual se hace remuestreo de dos probetas adicionales que cumplen criterios de QW-183 junto con las probetas iniciales. El filete es de tamaño uniforme.									

Fuente: Autor

Resultados Ensayo Macro ataque.

Con el ensayo de macro ataque para las juntas a filete se busca garantizar fusión hasta la raíz de la unión, pero no más allá, y fusión completa entre capas de metal de aporte y, metal de aporte y metal base.

Criterios de aceptación según ASME SECC IX para ensayo de Macro ataque:

El examen visual de la sección transversal del metal de soldadura y de la zona afectada por el

calor deberá mostrar fusión completa y ausencia de grietas, si las indicaciones lineales en la raíz son mayores a 0,32 mm el ensayo será rechazado.

- La soldadura no deberá tener una concavidad o convexidad mayor de 1,5 mm (1/16").
- No deberá haber más de 1/8" (3 mm) de diferencia en las longitudes de las piernas del filete.
- A continuación, se pueden apreciar los resultados del análisis de los especímenes cuyos resultados son satisfactorios.

Tabla 6. Ensayo de Macro-Ataque.

ENSAYO DE MACROATAQUE				
PROBETA	OBSERVACIONES			
M1 263	Evidencia una discontinuidad de 1,68 mm en su dimensión más grande en la interfase de la soldadura(falta de fusión)			
M2 263	Sin discontinuidades			
M2 263	Sin discontinuidades			
M4 263	Sin discontinuidades			
M11 315	Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia una discontinuidad de 0,42mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).			
M12 315	Probeta correspondiente a muestreo M1 263. Evidencia dos discontinuidades 1,31mm y 0,82mm en su dimensión más grande (No es grieta ni falta de fusión).			
Laboratorio:	West Arco	Informe:	I-15263-7 01/10/2015	I-15315-1 19/11/2015
Resultado: PASA . La probeta M1 263 mp pasa para lo cual se hace remuestreo de dos probetas adicionales que cumplen criterios de QW-183 junto con las probetas iniciales. El filete es de tamaño uniforme.				

Fuente: Autor

Ensayos Adicionales

El ensayo de macro-ataque determina la sanidad y la calidad de la junta, ya que identifica la fusión completa del metal de aporte y materiales base, aspectos determinantes que nos dan garantía de un elemento soldado de forma homogénea.

Como método complementario requerido por el cliente se realizó el ensayo de dureza con el ánimo de validar las condiciones superficiales del metal de aporte en las diferentes zonas afectadas por el calor (ZAC) del ensamble soldado, con el fin de garantizar las propiedades mecánicas de los materiales posteriores a la aplicación de soldadura.

El objeto de este ensayo es identificar la condición de la superficie del material, y verificar si las propiedades elásticas y plásticas del material posterior a la aplicación de soldadura se mantienen.

Ensayo de micro dureza HV (Hardness Vickers) tomado a la probeta M11 322, cuyo objeto es inspeccionar el metal base, la zona afectada térmicamente y material de aporte.

Equipo: COMPUTEST SC

Criterio de aceptación: Valores de dureza HV menores a 275.

Metal Base: Se tomaron 8 puntos de referencia y 4 lecturas de dureza por cada punto.

Tabla 7. PQR-SMAW-ECP-VIT-044 Ensayo De Dureza.

ENSAYO DE DUREZA			
ZONA MEDICIÓN	DUREZA ESALA	DUREZA	OBSERVACIONES
M11 322 Metal Base	HV10	176	Valor Promedio
M11 322 HAZ Platina	HV10	173 -190	Ninguno
M11 322 HAZ Tubería	HV10	184	Valor Promedio
M11 322 W Ranura	HV10	173 - 178	La cara del filete presenta un dato de 184
M11 322 W Filete	HV10	181 - 206	175 en la mitad del filete contra la platina
Laboratorio:		INSPEQ INGENIERIA BTA	Informe: DI0216-1F Reg.007 23/11/2015
Resultado: Pasa. los valores promedios e individuales son menores a 275 HV			

Fuente: Autor

Zona Afectada Térmicamente: Se tomaron 23 puntos de referencia y 4 lecturas de dureza por cada punto.

Metal de Aporte: Se tomaron 14 puntos de referencia y 4 lecturas de dureza por cada punto.

La toma de mediciones descrita anteriormente da como resultado del ensayo de dureza valores promedio e individuales menores a 275 HV. En la Tabla 7 se puede apreciar los resultados del ensayo.

Conclusiones

- Se cumplió con el diseño y calificación de un procedimiento de soldadura para el proyecto “DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA CASTILLA - APIAY – MONTERREY - 330 KBPDO”, procedimiento que en su momento no existía dentro de los documentos de la Gerencia Técnica de Activos GTA.
- Mediante el uso de la metodología de identificación de variables térmicas y de proceso registradas en el Plan de Soldadura de la Tabla 3, se logra dar el alcance de las variables de estudio requeridas por el procedimiento de soldadura WPS y validarlas según los criterios técnicos de la Sección IX del código ASME y del estándar API 650 para el proceso de soldadura SMAW.
- Realizadas las pruebas adicionales de macro-ataque (prueba no requerida según criterios

de ASME SECC IX) a los cupones extraídos para calificar el procedimiento PQR se logró identificar la sanidad de la junta soldada diseñada para dar garantía de la eficiencia de la unión soldada en la conexión de los dos tanques en servicio de la estación Apiay.

Recomendaciones

- Todo procedimiento de soldadura se debe calificar, o se debe verificar si algún procedimiento existente cubre las variables esenciales y no esenciales para poderlo utilizar de lo contrario se debe recalificar.
- Antes de calificar un procedimiento de soldadura es importante validar previamente las consideraciones de diseño de soldadura del ensamble a soldar, tomando como referencia los criterios de especificaciones de diseño estándar, código, norma aplicable que puede optimizar o restringir algunas variables del procedimiento y hacerlo económicamente más viable.
- El cumplimiento de las especificaciones del contrato, plan de soldadura, planes de inspección, de los ensayos y el seguimiento durante todo el proceso del proyecto garantiza el buen funcionamiento de los equipos y estructuras dentro del contexto operacional y bajo el cual van a operar durante el ciclo productivo, reduciendo al máximo intervenciones por malas prácticas de montaje, operación y control de integridad.

Referencias Bibliográficas

- Acero, M. G. L. y Rodríguez, P. O. H. (2013). *Meta-lurgia de la soldadura*. Editorial Universitaria.
- Asme Boiler and Pressure Vessel Code IX, Welding, Brazing, and Fusing Qualifications
- Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.
- Catálogo West Arco; Electromanufacturas S.A; p. 51, WIZ 18S: AWS E7018 Electrodo para soldar aceros al carbono. Edición 2004
- Catálogo West Arco; Electromanufacturas S.A; pp. 174, WIZ 18S: AWS E7018 Electrodo para soldar aceros al carbono, Recomendaciones para el Almacenamiento de los electrodos. Edición 2004
- Dossier de Mantenimiento. Tanque K-402. (2013). Contrato N°MA0003174 Obras para la rehabilitación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos en las plantas Apiay y Vasconia de la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol S. A –Arcomat Numeral 10.1
- Informe FR-57- API-TP402-08292012-1 de inspección del K-402 realizada por Rosen Europe Magnético Tomo 2 (34).
- Dossier de Construcción. Tanque K-403. (2012). Contrato N°MA0003174 Obras para la rehabilitación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos en las plantas Apiay y Vasconia de la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol S.A –Arcomat Numeral Capítulo 10 Tanques 10.1 Informe Fr-57-Arcomattp 403-01192012-1 de Inspección del K-403 realizada por Rosen Europe Magnético Tomo 2 (3).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas; Norma Icontec 2057 Código para Calificar el Procedimiento para Soldar y la Habilidad del Soldador.
- Larry, J. (2009). *Soldadura principios y aplicaciones*. Ediciones Paraninfo, S.A. 5ª edición.
- Manual de soldadura por arco eléctrico. Ediciones@canopia.com, ISBN 978-84-15884- 42-
2. Procesos y Definiciones SMAW |Soldadura. Recuperado de <http://www.smaw.cl/procesos-y-definiciones-smaw/>
- Sánchez M., M. J. (2013). *Soldadura en el montaje de tuberías*. ISBN 978-848364-945—9. © De la Edición Innova 2012 *Welded Tanks for Oil Storage*; API STANDARD 650; Twelfth edition.