



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ANÁLISIS Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA APLICANDO EL CÓDIGO ASME 2013 PARA CILINDROS A PRESIÓN DE ACERO A537 CL1 DE 38 mm DE ESPESOR”

ZURITA VINTIMILLA VICENTE GUILLERMO

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-10-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ZURITA VINTIMILLA VICENTE GUILLERMO

Titulado:

**“ANÁLISIS Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA
APLICANDO EL CÓDIGO ASME 2013 PARA CILINDROS A PRESIÓN DE
ACERO A537 CL1 DE 38 mm DE ESPESOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Tierra Tingo
DIRECTOR

Ing. Patricio Abarca Pérez
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ZURITA VINTIMILLA VICENTE GUILLERMO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA APLICANDO EL CÓDIGO ASME 2013 PARA CILINDROS A PRESIÓN DE ACERO A537 CL1 DE 38 mm DE ESPESOR”

Fecha de Examinación: 2016-02-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Víctor Vásconez Velasco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis Tierra Tingo DIRECTOR			
Ing. Patricio Abarca Pérez ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Víctor Vásconez Velasco
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Zurita Vintimilla Vicente Guillermo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Zurita Vintimilla Vicente Guillermo, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Zurita Vintimilla Vicente Guillermo
Cedula de Identidad: 060357024-3

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia y a mis amigos por el apoyo incondicional que me dieron durante toda esta trayectoria, gracias a sus consejos, su ayuda y su sabiduría pude concretar esta etapa de mi vida.

Vicente Guillermo Zurita Vintimilla

AGRADECIMIENTO

A mi madre Mónica Vintimilla y mi padre Vicente Zurita que siempre me apoyaron y creyeron en mí. A mis abuelitos César Vintimilla y Mercedes Gallegos que estuvieron pendientes en todo el transcurso de la carrera.

A mis hermanos, Javier, Valeria, David y Angélica que supieron apoyarme cada uno con sus palabras y no dejarme vencer.

A mis asesores Ing. Luis Tierra e Ing. Patricio Abarca por el aporte de sus conocimientos, la orientación necesaria y su paciencia para realizar este trabajo.

A mis amigos Diego, César, Celeste, Natali, Gaby, Anita, Holguer, Verito, Don René y todos mis amigos por ayudarme y estar ahí en los momentos críticos que más los necesité.

A Laurita, Ing. Edwin Viteri e Ing. Julio Pérez por su paciencia, altruismo y su infalible ayuda en todo el transcurso de la carrera.

A mi hermanita Cici, quien fue mi guía y mi sombra durante todo el desarrollo de este trabajo, le agradezco por el esfuerzo y el apoyo en todo este tiempo.

Vicente Guillermo Zurita Vintimilla

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i>	4
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Soldadura por arco metálico y gas protector de transferencia por tensión superficial (GMAW STT).....	5
2.1.1 <i>Soldadura GMAW STT (Gas Metal Arc Welding).</i>	5
2.2 Tipo de soldadura GMAW STT según su transferencia ¡Error! Marcador no definido.	
2.2.1 <i>Transferencia globular</i>	5
2.2.2 <i>Transferencia por arco pulsado.</i>	5
2.2.3 <i>Soldadura MIG-MAG.</i>	6
2.2.4 <i>Soldadura MIG (Metal Inert Gas).</i>	6
2.2.5 <i>Soldadura MAG (Metal Active Gas).</i>	6
2.2.6 <i>Transferencia por Tensión Superficial (STT)</i>	6
2.2.7 <i>Equipo de soldadura.</i>	7
2.2.8 <i>Variables a controlar del proceso de soldadura</i>	7
2.2.9 <i>Posición aplicable en la soldadura GMAW STT.</i>	8
2.2.10 <i>Tipo de juntas utilizadas en soldadura de metales</i>	9
2.2.11 <i>Propiedades eléctricas.</i>	9
2.2.12 <i>Material base.</i>	10
2.2.13 <i>Acero A 537 CL I</i>	10
2.2.14 <i>Normalización ASTM para aceros utilizados por el código ASME</i>	11
2.2.15 <i>Material de aporte</i>	12
2.3 Metalurgia de la soldadura GMAW STT	12
2.3.1 <i>Zona Afectada Térmicamente.</i>	13
2.3.1.1 <i>La zona compuesta.</i>	13
2.3.1.2 <i>La zona no mezclada.</i>	13
2.3.1.3 <i>La intercara de la soldadura.</i>	13
2.3.1.4 <i>La zona parcialmente fundida.</i>	14
2.3.1.5 <i>La Zona Térmicamente Afectada.</i>	14
2.3.1.6 <i>El metal base no afectado</i>	14
2.3.2 <i>Ciclo térmico de la soldadura GMAW STT</i>	14
2.3.3 <i>Conducción de calor durante la soldadura por fusión.</i>	14
2.3.4 <i>Velocidad de enfriamiento de la soldadura.</i>	16
2.3.5 <i>Solidificación en la soldadura.</i>	16
2.3.6 <i>Microestructura</i>	17
2.3.6.1 <i>Ferrita.</i>	17
2.3.6.2 <i>Cementita.</i>	18
2.3.6.3 <i>Perlita.</i>	18
2.3.6.4 <i>Austenita.</i>	19

2.3.7	<i>Soldabilidad de los aceros de bajo carbono</i>	19
2.4	Ensayos aplicados a la soldadura GMAW STT.....	20
2.4.1	<i>Ensayos destructivos en la soldadura GMAW STT</i>	20
2.4.2	<i>Ensayos no destructivos en la soldadura GMAW STT</i>	21
2.4.2.1	<i>Técnicas de inspección superficial.</i>	21
2.4.2.2	<i>Técnicas de inspección volumétrica en soldadura.</i>	22
2.4.2.3	<i>Técnicas de inspección de la integridad o de la hermeticidad.</i>	22
2.4.3	<i>Defectos y discontinuidades.</i>	22
2.5	Código ASME aplicado al proceso de soldadura GMAW STT	23
2.5.1	<i>WPS para el proceso de soldadura GMAW STT</i>	23
2.5.2	<i>PQR para el proceso de soldadura GMAW STT</i>	23
3.	PROCESO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACION Y EVALUACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA GMAW STT	24
3.1	Determinación de la eficiencia del proceso de soldadura GMAW STT.....	24
3.2	Aplicación del código ASME para elaboración del WPS y PQR.....	26
3.3	Realización del Análisis Metalográfico y Caracterización de la ZAT	26
4.	PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS	28
4.1	Determinación de la eficiencia del proceso de soldadura GMAW STT.....	28
4.1.1	<i>Realización de los ensayos no destructivos (NDE)</i>	28
4.1.1.1	<i>Ensayo de líquidos penetrantes</i>	29
4.1.1.2	<i>Evaluación del ensayo de líquidos penetrantes</i>	33
4.1.1.3	<i>Ensayo de Ultrasonidos</i>	34
4.2	Aplicación del código ASME para ensayos destructivos y probetas.....	37
4.2.1	<i>Ensayos destructivos aplicables al procedimiento GMAW STT</i>	37
4.2.2	<i>Elaboración de probetas para ensayo de Tracción y Doblado</i>	37
4.2.3	<i>Obtención de resultados de los ensayos de Tracción y Doblado.</i>	40
4.2.4	<i>Criterio de Aceptación para el ensayo de Tracción</i>	42
4.2.5	<i>Criterio de aceptación para ensayo de Doblado</i>	42
4.3	Elaboración del WPS y PQR para el proceso de soldadura GMAW STT	42
4.3.1	<i>Especificaciones de soldadura (WPS) según el código ASME sección IX</i>	42
4.3.2	<i>Registro de calificación (PQR) según el código ASME sección IX</i>	51
4.4	Análisis metalográfico de la ZAT de las juntas soldadas	62
4.4.1	<i>Aplicación de la norma ASTM E3 para la preparación de muestras</i>	62
4.4.2	<i>Aplicación de la norma ASTM E 407 para la realización del micro-ataque</i> 63	
4.4.3	<i>Realización de la caracterización de la ZAT de la soldadura GMAW STT</i> .	64
4.4.4	<i>Determinación del porcentaje de ferrita y perlita</i>	65
4.4.4.1	<i>Verificación del punto eutectoide mediante la regla de la palanca</i>	67
4.4.5	<i>Microestructura de la ZAT de la soldadura GMAW STT</i>	67
4.5	Microestructura de la ZAT de la soldadura GMAW STT más SAW.....	69
4.6	Ciclo térmico del proceso de soldadura GMAW STT.....	71
4.7	Medición de la Microdureza	78
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1	Conclusiones	86
5.2	Recomendaciones.....	89
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Tipos de juntas 9
2	Polaridad 10
3	Resistencia del Acero ASTM A 537 11
4	Especificaciones de la junta soldada y dimensiones de las probetas 39
5	Análisis sobre el ensayo de tracción en probetas GMAW STT 40
6	Análisis cualitativo del ensayo de dobléz en probetas de cara y de raíz con el proceso de soldadura GMAW STT. 41
7	Propiedades del acero A537 Cl 1 73
8	Transformaciones de fase. Acero A537 CL1 77
9	Dureza Vickers soldadura GMAW STT, barrido central 80
10	Dureza Vickers soldadura GMAW STT, barrido superior 80
11	Dureza Vickers soldadura GMAW STT, barrido inferior soldadura 81
12	Tabla de valores para pase de raíz utilizando los procesos de soldadura 82
13	Valores máximos y mínimos de microdureza en la zona de fusión 84
14	Valores máximos y mínimos de microdureza en la zona afectada térmicamente de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW 84
15	Tabla de valores promedio de microdureza en la zona de fusión de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW 85
16	Tabla de valores promedio de microdureza en la zona afectada térmicamente de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW 85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Posiciones de soldadura según el código ASME..... 8
2	Distribución de la tensión en el arco eléctrico..... 10
3	Zona afectada térmicamente (ZAT) de la soldadura por fusión..... 13
4	Diagrama esquemático del proceso de soldadura..... 15
5	Fases de solidificación de la soldadura por fusión 17
6	Microestructura de la Ferrita 17
7	Cementita..... 18
8	Perlita..... 19
9	Empaquetamiento de átomos en la Austenita y su Microestructura..... 19
10	Algoritmo de elaboración metodológica 24
11	Probeta con pase de raíz GMAW STT para NDE 29
12	Corte transversal del cordón de pase de raíz, soldadura GMAW STT..... 29
13	Vista superior del cordón de soldadura GMAW STT 29
14	Pre-calentamiento de la probeta para aplicación de PT..... 29
15	Kit de pruebas para líquidos penetrantes (penetrante, limpiador y revelador). 30
16	Aplicación del limpiador SKC-S..... 30
17	Aplicación del líquido penetrante SKL-SP2 30
18	Limpieza del área del cordón de soldadura GMAW STT 31
19	Aplicación del revelador SKD-S2 31
20	Reporte de líquidos penetrantes en la soldadura GMAW STT. 32
21	Discontinuidad observada en la ranura del cordón de soldadura GMAW STT..... 33
22	Tintas penetrantes proceso de soldadura GMAW STT 33
23	Tintas penetrantes proceso de soldadura SMAW 34
24	Equipo utilizado para el Ensayo de Ultrasonidos 35
25	Aplicación del ensayo de UT..... 35
26	Reporte de ultrasonidos para soldadura GMAW STT..... 36
27	Placa con pase de soldadura GMAW STT para Elaboración de probetas..... 37
28	Equipo utilizado para la soldadura GMAW STT 38
29	Distribución de las probetas de las juntas soldadas 39
30	Probeta de placas soldadas de acero A 537 Cl 1 para ensayo de tracción..... 39
31	Probeta de placas soldadas de acero A537 Cl 1 con GMAW STT 40
32	Probeta aplicada el ensayo de tracción y medida de la ZAT 40
33	Ensayo de doblado en probetas con soldadura GMAW STT..... 41
34	Probeta aplicada el ensayo de doblado GMAW STT..... 41
35	Elaboración de WPS para el proceso de soldadura GMAW STT parte I..... 44
36	Elaboración de WPS para el proceso de soldadura GMAW STT parte II 45
37	Selección de voltaje y amperaje en equipo para soldadura GMAW STT 50
38	Elaboración de PQR para el proceso de soldadura GMAW STT parte I 52
39	Elaboración de PQR para el proceso de soldadura GMAW STT parte II..... 53

40	WPS con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte I.....	58
41	WPS con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte II	59
42	PQR con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte I	60
43	PQR con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte II.....	61
44	Preparación de superficies en la porta lija de las probetas	62
45	Aplicación de la pasta de diamante en las probetas.....	62
46	Probeta 1 con corte transversal utilizando el proceso de soldadura GMAW ...	63
47	Probeta 2 con corte transversal utilizando el proceso de soldadura GMAW ...	63
48	Ataque químico de las probetas con Nital al 2%	64
49	Limpieza y secado de las probetas con compresor	64
50	Microestructura del metal base A537 Cl 1	65
51	Microestructura de la Ferrita acicular.....	65
52	Microestructura metal base A537 Cl 1	65
53	Aplicación del programa ScopePhoto para determinación de ferrita y perlita.	66
54	Determinación del porcentaje de Carbono en Acero A537 Cl 1	66
55	Determinación del punto eutectoide Acero A537 Cl 1.....	67
56	Esquema de la microestructura de la ZAT de la soldadura GMAW STT	68
57	Micrografía de la zona de grano grueso (ZGG), ferrita (blanco) y perlita	68
58	Micrografía de la zona de grano mixto (ZGM) de la soldadura GMAW STT.	69
59	Micrografía de la zona de grano fino (ZGF) de la soldadura GMAW STT.....	69
60	Muestra de soldadura con pase de raíz GMAW STT + SAW	70
61	Esquema de la microestructura de la ZAT de la soldadura GMAW STT	70
62	Micrografía de la zona de grano grueso (ZGG), ferrita y perlita	70
63	Micrografía de la zona de grano mixto (ZGM) proceso de soldadura	71
64	Micrografía de la zona de grano fino (ZGF) proceso de soldadura.....	71
65	Temperatura pico y eutectoide del acero A537 Cl 1	72
66	Diagrama esquemático que ilustra el inicio y final de la ZAT	74
67	Ciclo térmico de la soldadura GMAW STT. Acero A537 Cl 1	76
68	Esquema de microestructura de la ZAT en acero de bajo carbono	77
69	Diagrama CCT acero C-Mn-Si (A 537)	77
70	Determinación de la CCT y TTT de la ZAT	78
71	Ejes de aplicación del método de micro-dureza Vickers en el pase de raíz	78
72	Esquema de ensayo Vickers para acero (ASTM E-92)	79
73	Ensayo de microdureza Vickers en placas de pase de raíz GMAW STT.....	79
74	Diagrama Microdureza vs distancia, barrido central soldadura GMAW STT.	80
75	Diagrama Microdureza vs distancia, barrido superior soldadura GMAW STT	81
76	Diagrama Microdureza vs distancia, barrido inferior soldadura GMAW STT	81
77	Diagrama Microdureza vs distancia soldadura GMAW STT.....	82
78	Microdureza Vickers en pase de raíz con soldadura SMAW	83
79	Microdureza Vickers en pase de raíz con soldadura SAW	84

LISTA DE ANEXOS

- A** Tabla de propiedades de materiales metálicos usados en la industria
- B** Tabla de efectos causados por las variables de los procesos de soldadura
- C** Variables esenciales del material base
- D** Variables esenciales del material de aporte
- E** Requerimientos para elaboración de probetas para ensayo de tracción
- F** Variables de soldadura para el procedimiento GMAW STT
- G** Formato de elaboración de WPS y PQR
- H** Tablas según la Norma AWS y el código ASME
- I** Tabla de tiempos de permanencia del penetrador
- J** Informe técnico ensayo de tracción y de doblado
- K** Certificado de lámina de acero A537 Cl 1
- L** Ensayo de doblado del soldador WT-06

RESUMEN

El trabajo de titulación busca elaborar un procedimiento (WPS) y registro de calificación (PQR) con el proceso de soldadura GMAW STT, que califique uniones soldadas de láminas de acero A537 clase 1.

Se realizaron ensayos destructivos y no destructivos siguiendo el código ASME y sus criterios de aceptación. De los ensayos no destructivos se aplicó líquidos penetrantes y ultrasonidos por su versatilidad y fácil aplicación. De los ensayos destructivos para la calificación del procedimiento se aplicó el ensayo de tracción y doblado, los resultados obtenidos se verificaron conjuntamente con el código y se determinó mejor eficiencia con respecto a los procesos de soldadura a ser sustituidos como son los procesos SAW y SMAW para el pase de raíz.

Se elaboró el WPS conjuntamente con el PQR como respaldo del procedimiento de soldadura en base a variables esenciales, no esenciales y suplementarias requeridas por el código ASME sección IX, para calificar el proceso de soldadura en recipientes a presión.

Adicionalmente se realizó el análisis metalográfico siguiendo la norma ASTM, con fines de caracterizar la zona afectada térmicamente y determinar las microestructuras generadas en la soldadura. Para el análisis de las juntas soldadas en el caso del proceso GMAW STT – SAW TANDEM se realizó cordones de soldadura de relleno completo en el biselado, continuado luego con la medición de dureza Vickers para hacer una comparación cuantitativa de la variación en durezas de las distintas soldaduras utilizadas.

ABSTRACT

The work seeks to develop a procedure qualification (WPS) and qualification record (PQR) with GMAW STT welding process, qualifying welded steel sheets A537 Class 1.

Destructive and non-destructive tests were performed following the ASME Code and its acceptance criteria. Nondestructive testing of liquid penetrant and ultrasound was applied for its versatility and easy acceptance. Of nondestructive testing procedure qualification for the tensile test and bending applied; the results were checked in conjunction with the code and better efficiency was determined regarding welding processes to be replaced as SMAW and SAW are processes for the root pass.

WPS was drafted with the support of PQR as welding process variables based on essential, nonessential and additional required by the ASME Code Section IX to qualify the welding process pressure vessels.

Additionally, the metallographic analysis was performed following ASTM purposes of characterizing the heat affected zone and determines the microstructures generated in welding. For the analysis of welded joints in the case of process GMAW STT – SAW TANDEM welding seams full filling was made in the beveling, the continuing with the measurement of Vickers hardness to make a quantitative comparison of the variation in hardness of different solders used variation in the hardnesses of different solders used.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los procesos de soldadura a nivel industrial y tecnológico es un tema que se ha convertido en uno de los pilares fundamentales en cuanto al desarrollo de proyectos de ingeniería. Durante los últimos años esta tecnología ha recibido apoyo en su investigación, desarrollando procesos y equipos cada vez más sofisticados convirtiéndola en una ciencia con un gran espectro de estudio.

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) reconoce más de 50 procesos de soldadura que usan diferentes fuentes de energía para la coalescencia de metales.

Particularmente para cilindros a presión y tuberías de proyectos hidroeléctricos donde se utilizan láminas de grandes espesores que oscilan entre los 25 a 120 milímetros se ha buscado procesos de soldadura que cumplan con las altas exigencias en el diseño y la construcción de estos proyectos. Debido a las considerables longitudes para la deposición del metal de aporte y los esfuerzos que van a soportar, se utilizan procesos de soldadura que puedan cumplir con las especificaciones de diseño para llevar a cabo un avance continuo con la misma uniformidad y profundidad de penetración a utilizarse en la construcción de estos cilindros.

La etapa crucial dentro de estas juntas soldadas es el pase de raíz. Por su exposición interna a esfuerzos en soldaduras de ranura y su control de la entrada de calor para mantenerse en los parámetros de soldadura se la considera la de mayor dificultad.

El procedimiento de soldadura aplicado anteriormente en proyectos ingenieriles de la Industria Acero de los Andes se iniciaba con el pase de raíz en el cual se utilizaba el proceso de soldadura SMAW. Esto implicaba que al momento de realizar el relleno con cordones de soldadura se debía hacer una limpieza de superficie y desbastar parte de la soldadura de raíz de uno de los lados biselados para iniciar con el proceso SAW generando altos costes de fabricación, mayores fallas por falta de fusión y un choque

térmico elevado afectando de forma considerable la composición química del material. En los últimos años se ha utilizado procedimientos de soldadura poco convencionales para reducir estos puntos en cuestión. Entre ellos se encuentra el proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding) un tipo de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible que se ha difundido con una favorable aceptación en la industria metalmeccánica por su aplicabilidad en distintos metales comerciales y mejora en los cordones de soldadura. Este proceso se ha implementado para el pase de raíz de las uniones a soldar por su bajo aporte de calor en comparación a otros procesos de soldadura, es por ello que es considerado como una "soldadura fría" dentro de la industria metalmeccánica.

En la actualidad en la Industria Acero de los Andes se está implementando el método semi-automático de soldadura GMAW STT (Surface Tension Transfer) para la fabricación de tubería de Presión del Proyecto Hidroeléctrico Minas San Francisco el cual es una innovación y un aporte para el cambio en la matriz productiva de nuestro país. Para realizar este proceso de soldadura es necesario de la calificación del procedimiento y la evaluación del cordón de soldadura generado con el fin de cumplir con los requerimientos del código ASME edición 2013 y los estándares de la norma AWS que garantizan la fiabilidad de las soldaduras circulares y longitudinales de los cilindros de la tubería y accesorios (bifurcadores, tes, codos).

El código ASME sección VIII / IX hacen referencia del diseño, la calificación de los procesos de soldadura, y los ensayos requeridos de cada procedimiento de soldadura para la construcción de recipientes y cilindros a presión.

Se necesita elaborar un procedimiento para la evaluación y calificación del proceso de soldadura GMAW STT, para realizar la construcción de cilindros de gran espesor y evitar la falta de fusión entre el metal base y el metal de aporte en la Industria Metalmeccánica Acero de los Andes.

1.2 Justificación

Cada unión soldada en el diseño y construcción de cilindros a presión dentro de la Industria Acero de los Andes requiere tener un procedimiento de soldadura que se lleve

a cabo según el código ASME.

Con la presente elaboración del procedimiento de soldadura se propone la aplicación del código ASME, el cual es importante porque este código expone los requerimientos y las combinaciones de variables necesarias, garantizando el proceso de soldadura a utilizarse y por ende su reproductibilidad y manejo de los operadores para asegurar la calidad de la unión del material base y de aporte.

Es así que en el caso de la construcción de cilindros a presión con láminas de gran espesor se ha optado elaborar un procedimiento con el proceso de soldadura GMAW STT (Surface Tension Transfer) para el pase de raíz.

Este pase de raíz de una soldadura es usualmente el de mayor dificultad de realizar y posiblemente la parte más crítica de la soldadura, dependiendo de la aplicación de la junta. A menudo contiene inclusiones de escoria y penetración incompleta que aumentan proporcionalmente al grosor del cordón de soldadura.

Con el proceso de soldadura GMAW STT, al generarse el cortocircuito controlado varía el amperaje de modo que transfiriere el material de aporte reduciendo las distorsiones y perforaciones hacia el material base.

Este proceso necesita adaptar la forma de onda al arco de soldadura para la transferencia de material por tensión superficial. Por este motivo se requiere el uso de un equipo automatizado que reemplace al método convencional de soldadura GMAW y por ende, lograr minimizar las desventajas que ocurren en este proceso como la emanación de humos, salpicadura del material fundido, consumo de energía, control del charco de soldadura.

Se ha tomado estos procesos de soldadura porque pueden cumplir los requerimientos de soldabilidad en láminas de acero A537 CL1 y determinar las variables esenciales para calificarlo como un procedimiento idóneo en la construcción de cilindros a presión.

Reducir las reparaciones en los cordones de soldadura por falta de fusión del metal base y de aporte, controlar las variables que afectan al proceso de soldadura y reducir tanto los costos como los tiempos críticos en la línea de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Elaborar y evaluar el procedimiento de soldadura GMAW STT para el pase de raíz en lámina de acero A537 CL1 de 38 mm de espesor aplicando el código ASME 2013.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Determinar la eficiencia del proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz en grandes espesores de lámina mediante pruebas y ensayos según el código ASME sección VIII/IX (ensayos destructivos: ensayo de tracción, doblado y los ensayos no destructivos: inspección visual, ultrasonidos, tintas penetrantes, aplicables conforme al código y requerimientos de la empresa).
- Aplicar el código ASME para la elaboración del WPS y PQR para el proceso de soldadura GMAW STT.
- Realizar el análisis metalográfico y la caracterización de la zona afectada térmicamente de las juntas soldadas con el proceso GMAW STT

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Soldadura por arco metálico y gas protector de transferencia por tensión superficial (GMAW STT)

Analizar y sintetizar la información secundaria o bibliográfica que contribuya la investigación con referencia a la elaboración y evaluación del procedimiento de soldadura GMAW STT para el pase de raíz en lámina de acero A537 CL1 de 38 mm de espesor aplicando el código ASME 2013.

2.1.1 *Soldadura GMAW STT (Gas Metal Arc Welding).* La soldadura GMAW es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector suministrado sin la aplicación de presión con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte o un gas activo (URIBE, 2012).

2.2 Tipo de soldadura GMAW STT según su transferencia

2.2.1 *Transferencia globular.* Se usa frecuentemente en la aplicación MAG y algunas veces en MIG. El metal se transfiere en gotas de gran tamaño y ocurre por gravedad cuando el peso de éstas excede la tensión superficial. Se usan gases ricos en dióxido de carbono y argón (URIBE, 2012)

2.2.2 *Transferencia por arco pulsado.* En esta nos encontramos con dos corrientes, una continua y débil cuyo objetivo es proporcionar al hilo la mínima energía para que se produzca el arco y otra a impulsos producidos a una cierta frecuencia. Este tipo de transferencia con cada pulsación se desprende en forma de gotas que se separan antes de que el extremo del material de aportación haga contacto con el material base.

Con este tipo se logra una ganancia en penetración gracias a la elevada intensidad que se produce durante la pulsación y al mismo tiempo una reducción del consumo de energía (GIACHINO, 2011)

2.2.3 Soldadura MIG-MAG. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, o sea que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MIG (Metal Inert Gas); o por el contrario el gas utilizado es activo, que participa de forma activa en la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento MAG (Metal Active Gas) (SALGADO, 2010).

El empleo del procedimiento MIG-MAG se hace cada vez más frecuente en el sector industrial, debido a su alta productividad y facilidad de automatización. Permite soldar aceros de baja aleación, aceros inoxidable, aluminio y cobre, en espesores a partir de los 0,5 mm y en todas las posiciones (DÁVILA, 2006)

2.2.4 Soldadura MIG (Metal Inert Gas). Dentro de los gases inertes disponibles empleado es el argón, y el helio el que más se utiliza (ROWE, 2008).

Para la soldadura de acero se tiene que aplicar con cantidades inferiores al 5% mezclado con oxígeno ya que el argón puro produce mordeduras y cordones irregulares. Así se mejora la penetración y ensanchamiento de la parte inferior del cordón (CUETO, 2008).

2.2.5 Soldadura MAG (Metal Active Gas). El dióxido de carbono (CO_2) es uno de los gases empleados en este tipo de soldadura. Además es un gas de carácter oxidante que en elevadas temperaturas se disocia en una reacción en el arco de $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}$ absorbiendo calor y en la recomposición en la base $2\text{CO} + \text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2$ cediendo calor (CUETO, 2008).

Sus inconvenientes son que produce arcos muy enérgicos, con lo que también se producen un gran número de proyecciones (LINCOLN ELECTRIC, 2011).

2.2.6 Transferencia por Tensión Superficial (STT). La soldadura GMAW es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector suministrado externamente sin la aplicación de presión con electrodo consumible (URIBE, 2012).

La soldadura GMAW STT Se define como un tipo de transferencia de metal que combina la alta frecuencia con el control de onda, para una mayor estabilidad del arco y poder efectuar juntas de amplio intersticio sin utilizar soporte cerámico o placa de respaldo (backing) (GIACHINO, 2011).

Esta soldadura se aplica en aceros estructurales de bajo contenido de carbono para realizar específicamente la soldadura para el pase de raíz. Utiliza una varilla continua que se fusiona con el metal base mediante un cortocircuito controlado aportando menor energía. Se le considera una soldadura fría por su bajo aporte de calor y también como un proceso versátil debido a que se puede depositar el metal de aporte a una gran velocidad y en todas las posiciones (SAUNDERS, 1997).

2.2.7 *Equipo de soldadura.* Equipo de trabajo consistente en un sistema de soldadura caracterizado porque salta el arco eléctrico entre la pieza a soldar sometida a uno de los polos de la fuente de energía y el electrodo que se encuentra conectado al otro polo (AWS, 2001).

Los equipos para soldadura MIG, utilizan un generador de corriente continua y vienen con un cable alimentador que proporciona alambre, el que a su vez se funde y se mezcla con el metal de la pieza de trabajo. Dentro del equipo utilizado para realizar la soldadura GMAW se tiene: la fuente de energía, fuente de suministro de gas, sistema de alimentación del alambre, pistola, sistema de control, carrete de alambre, sistema de regulación del gas de protección y cables (SAUNDERS, 1997)

2.2.8 *Variables a controlar del proceso de soldadura.* En el proceso GMAW como todos los procesos de soldadura, la aplicación de un cordón de soldadura está sujeta a factores que se deban respetar, porque influyen en forma directa en la calidad de la soldadura. Los componentes de estas condiciones son:

- Selección del gas de protección adecuado
- Corriente apropiada
- Selección correcta del alambre
- Extensión del alambre
- Voltaje de arco correcto
- Angulo de boquilla
- Velocidad de avance

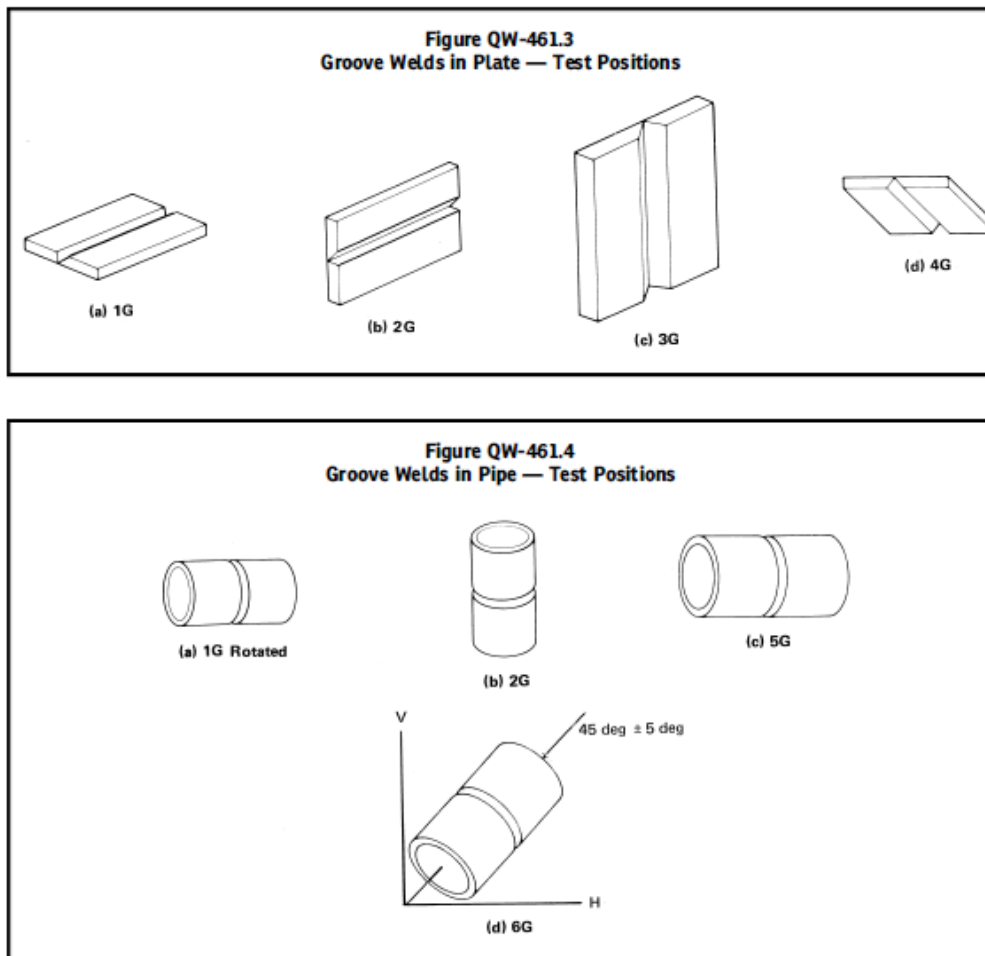
Los parámetros que se deben controlar en el proceso de la soldadura GMAW STT son los siguientes:

- Velocidad de Alimentación del Alambre
- Corriente Base (Background Current: Es el ajuste fino del aporte de calor a la junta).
- Corriente Pico (Peak Current): Determina la longitud del arco.
- Descenso de la corriente (Tail Out): Es el ajuste grueso del calor aportado.
- Arranque en Caliente: Aporte de calor necesario al inicio del arco (TORRES, 2008).

2.2.9 *Posición aplicable en la soldadura GMAW STT.* El código ASME sección IX hace referencia a las posiciones de soldadura a utilizarse tanto en placas como en tubería, en el ítem QW-131 del código ASME se encuentran las posiciones para las placas a soldarse y en QW-132 para posiciones de soldadura de tubería.

En las figuras QW-461.3 y 461.4 del código ASME sección IX se pueden observar las distintas posiciones para evaluación y aplicación de los procesos de soldadura (ASME, 2013).

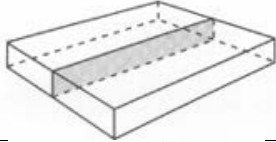
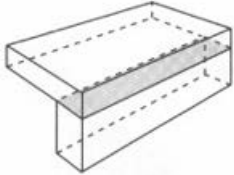
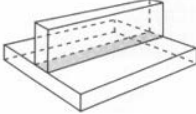
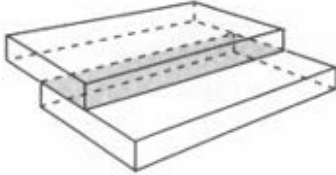
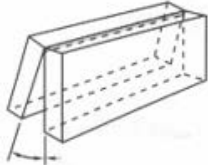
Figura 1. Posiciones de soldadura según el código ASME



Fuente: BPVC 2013 sección IX (ASME, 2013)

2.2.10 *Tipo de juntas utilizadas en soldadura de metales.* Hay cinco juntas básicas usadas en soldadura de metales: a tope, en L, en T, solapada y en borde. Como se ilustra en la figura se aplican símbolos y tipos precisos de soldadura a estas juntas. El diseño de la junta identifica, la forma, las dimensiones y la configuración de la junta.

Tabla 1. Tipos de juntas

Tipo de junta	Imagen	Características
Junta a tope		Se puede usar biselado recto en V, X, U para las placas a soldar.
Junta en L		Soldadura hecha entre dos partes situadas a un ángulo de 90 grados. Pueden prepararse para hacer un solo bisel, una sola ranura V o U
Junta en T		Las placas se encuentran perpendiculares entre sí, el biselado puede ser en J y doble J
Junta solapada		Formadas por dos piezas de metal solapadas, que se unen por fusión mediante soldadura de puntos, de filete, de tapón o de agujero alargado.
Junta en borde		Es la resultante de la superficie adyacente de cada parte, de manera que la soldadura quede dentro de los planos superficiales de ambas partes.

Fuente: Tecnología de Inspección de Soldadura, (SALGADO, 2010).

2.2.11 *Propiedades eléctricas.* Para la mayoría de las aplicaciones del soldeo GMAW se utiliza la polaridad inversa (DC+) ya que se obtiene un arco estable, con una buena transferencia de metal de aportación, pocas proyecciones, un cordón de soldadura de buenas características y gran penetración (LINCOLN ELECTRIC, 2011).

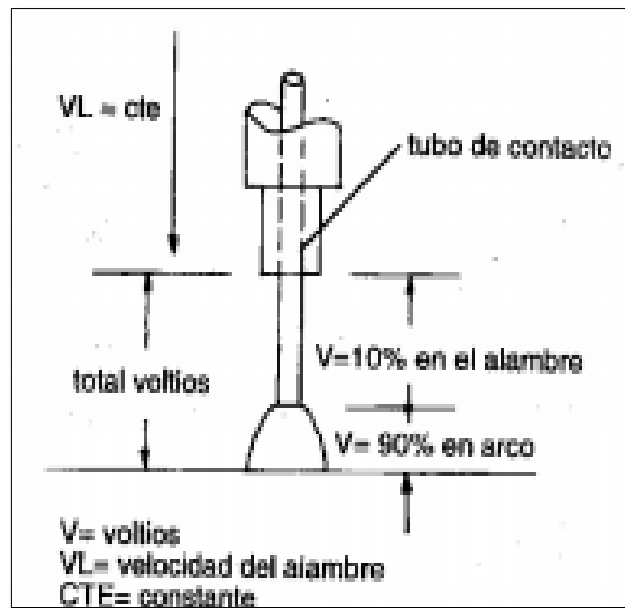
La tensión se mide en voltios (V) y es regulable en la fuente de energía. Se transmite de forma regular desde la fuente al alambre. Cuanto mayor sea la longitud del arco mayor será la tensión. La intensidad, sin embargo, está muy relacionada con la velocidad de alimentación del alambre. Se pueden establecer así las siguientes equivalencias:

Tabla 2. Polaridad

Variables	Equivalente a
Intensidad [A]	Velocidad de alimentación del alambre Velocidad de fusión
Tensión [V]	Longitud del arco

Fuente: Manual de Soldadura GMAW. (ROWE, 2008)

Figura 2. Distribución de la tensión en el arco eléctrico. Relación entre la longitud del arco y la tensión



Fuente: Manual de Soldadura GMAW. (ROWE, 2008)

2.2.12 *Material base.* También llamado elemento metálico principal, en el metal base se producen importantes variaciones de temperaturas pico y consecuentemente diferencias significativas en las velocidades de enfriamiento. Es el material requerido para el diseño y la construcción de estructuras conforme a las especificaciones y normas requeridas (CUETO, 2008).

2.2.13 *Acero A 537 CL 1.* El acero ASTM A 537 es un acero de bajo carbono, manganeso y silicio tratado térmicamente. Las especificaciones de este acero se encuentran en la sección II A del código ASME. Es un acero idóneo para la construcción de recipientes a presión por su maleabilidad, soldabilidad y la facilidad de rolado en frío y caliente. La selección del acero ASTM A537 Cl 1 se debe al tipo de propiedades requeridas para poder realizar los proyectos de construcción como buena tenacidad,

resistencia y soldabilidad. Las láminas obtenidas bajo estas normas están disponibles en tres clases como se muestra en la Tabla 3 (ASTM, 2004).

Tabla 3. Resistencia del Acero ASTM A 537

Class	Heat Treatment	Thickness	Yield Strength, min, ksi [MPa]	Tensile Strength, min, ksi [MPa]
1	Normalized	2½ in. and under	50	70
		[65 mm and under]	[345]	[485]
		Over 2½ to 4 in.	45	65
		[Over 65 to 100 mm]	[310]	[450]
2	Quenched and tempered	2½ in. and under	60	80
		[65 mm and under]	[415]	[550]
		Over 2½ to 4 in.	55	75
		[Over 65 to 100 mm]	[380]	[515]
		Over 4 to 6 in.	46	70
		[Over 100 to 150 mm]	[315]	[485]
3	Quenched and tempered	2½ in. and under	55	80
		[65 mm and under]	[380]	[550]
		Over 2½ to 4 in.	50	75
		[Over 65 to 100 mm]	[345]	[515]
		Over 4 to 6 in.	40	70
		[Over 100 to 150 mm]	[275]	[485]

Fuente: Fuente: BPVC sección IX (ASME, 2013)

2.2.14 Normalización ASTM para aceros utilizados por el código ASME. Los códigos y las normas de la ASME (American Society of Mechanical Engineers) se usan en todo el mundo. Son usados por empresas de todo tamaño, corporaciones internacionales y empresas pequeñas y medianas en países desarrollados y en vías de desarrollo y de todo tipo.

Las normas de ASTM (American Society for Testing and Materials) International han sido un componente esencial tanto de estos códigos como de otros códigos y normas de la ASME. Ambas organizaciones enfrentan cómo abordar mejor las necesidades técnicas locales y regionales y cómo incorporar los avances de otros escenarios en nuestras normas (ASTM, 2004).

El esquema general que esta norma emplea para la numeración de los aceros es: YXX, donde “Y” es la primera letra de la norma que indica el grupo de aplicación según la siguiente lista:

- A: si se trata de especificaciones para aceros;
- B: especificaciones para no ferrosos;
- C: especificaciones para hormigón, estructuras civiles;

D: especificaciones para químicos, así como para aceites, pinturas, etc.

E: si se trata de métodos de ensayos

Seguido por un número arbitrario asignado de forma secuencial. Los estándares que pueden ser suministrados en unidades Métricas ASTM tienen un sufijo M asignado también en el código ASME (ASTM, 2004).

2.2.15 *Material de aporte.* Es todo aquel material que se utiliza para la realización de un cordón de soldadura donde distinguimos, por un lado, el núcleo del electrodo y el revestimiento, y por otro lado, la varilla de aporte y los fundentes (FEDERACIÓN DE ENSSEÑANZA CC. OO, 2006)

El material de aporte tiene la misma composición del metal base, el código ASME y la norma AWS A5.18 tienen una especificación para la designación de electrodos y material de aporte utilizado en los distintos procesos de soldadura. Trae los requisitos del material de aporte para procesos con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma) y denomina los alambres de la forma ER70-SX, donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco (para MIG/MAG).

R: Indica aporte que funde por un medio diferente que el conducir la corriente del arco eléctrico (para TIG y plasma).

70: La resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura la cual es igual para todas las referencias.

S: Indica el alambre sólido.

X: Es un número que indica la composición química del alambre.

2.3 Metalurgia de la soldadura GMAW STT

La soldadura se la puede enunciar como un método utilizado para la unión de metales debido a la aplicación de calor, presión o una combinación de ambos considerando el aporte o no de otro material.

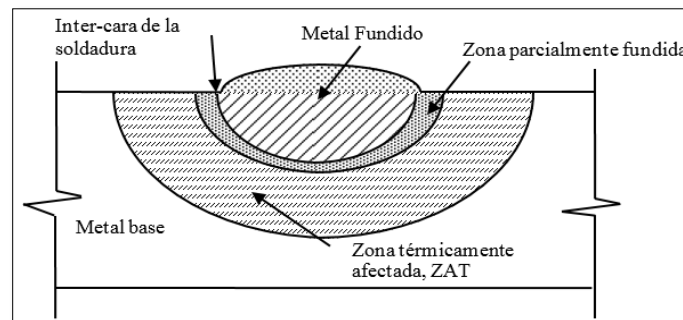
Se pueden distinguir varios tipos de soldadura, pero este trabajo se centrará sobre la soldadura homogénea (welding) (ZALAZAR, 2013).

Durante el proceso de soldadura, el calor se suministra a la pieza de trabajo a través del arco. Esto produce una región de material sometido a altas temperaturas adyacentes al cordón de soldadura. El material de esta región se calienta a través de una temperatura máxima, de la cual dependerá la distancia de esta zona a la línea de fusión (CASTRO, 2009)

2.3.1 Zona Afectada Térmicamente. La soldadura en el campo industrial, rara vez el material de aporte tiene la misma composición del metal base. A lo largo del metal base se producen importantes variaciones de temperaturas pico y consecuentemente diferencias significativas en las velocidades de enfriamiento. Estos factores resultan en un compuesto heterogéneo con varias zonas metalúrgicas (PÁSTOR, 2004).

En el proceso de soldadura existen diferentes parámetros que afectan a la ZAT, factor determinante en la calidad de la unión (AVNER, 2012).

Figura 3. Zona afectada térmicamente (ZAT) de la soldadura por fusión



Fuente: Metalurgia de la soldadura. (FOSCA, 2002)

2.3.1.1 La zona compuesta. Llamada también la zona de fusión, es la que presenta las propiedades y microestructura que se ven afectadas por la selección del material de aporte. La composición de la zona fundida consiste en una mezcla del metal de aporte con una pequeña dilución del metal base (PÁSTOR, 2004)

2.3.1.2 La zona no mezclada. Es una región angosta que rodea la zona compuesta. Consiste de una capa límite de metal base fundido que se solidifica antes de experimentar ninguna mezcla en la zona compuesta (PÁSTOR, 2004)

2.3.1.3 La inte-rcara de la soldadura. Esta región se localiza claramente entre el límite del metal base no fundido y el metal de soldadura (PÁSTOR, 2004)

2.3.1.4 *La zona parcialmente fundida.* Esta región es una extensión de la ZAT que ocurre cuando un pico elevado de temperatura causa una fundición parcial del metal base cerca de la línea de fusión.

2.3.1.5 *La Zona Térmicamente Afectada.* Los efectos de soldar pueden ser perjudiciales en el material rodeando la soldadura. Dependiendo de los materiales usados y la entrada de calor del proceso de soldadura usado, la zona afectada térmicamente (ZAT) puede variar en tamaño y fortaleza. La difusividad térmica del material base es importante si es alta, la velocidad de enfriamiento del material es alta y la ZAT es relativamente pequeña (HELZER , 2005).

2.3.1.6 *El metal base no afectado.* Es la región donde no ha ocurrido ningún cambio de microestructura. Aunque en esta región no se producen cambios microestructurales, el ciclo térmico impuesto por la soldadura puede producir importantes tensiones residuales de contracción longitudinal y transversal (PÁSTOR, 2004)

2.3.2 *Ciclo térmico de la soldadura GMAW STT.* El ciclo térmico permite a la soldadura con temperaturas y velocidades de calentamiento y enfriamiento controlado. A este ciclo también se lo llama Tratamiento Térmico Post Soldadura y conjuntamente con el precalentamiento es la forma idónea para evitar o corregir los efectos indeseables de la soldadura (HELZER , 2005).

Los procesos metalúrgicos de la soldadura permiten generar condiciones térmicas en el metal fundido y en sus proximidades. El ciclo térmico determina los cambios microestructurales, así como las tensiones residuales, que son condiciones necesarias, para poder predecir la variación de la tenacidad. En este ciclo se logra:

- La distribución del máximo o pico de temperaturas en la zona térmica afectada.
- La velocidad de enfriamiento en el metal fundido y en la zona térmica afectada.
- La velocidad de solidificación del metal fundido (HELZER , 2005).

2.3.3 *Conducción de calor durante la soldadura por fusión.* Una solución rigurosa a la ecuación completa de flujo de calor considerando transferencia por convección y conducción es compleja, usualmente, es útil discutir una solución simplificada que

considera sólo transferencia de calor por conducción. La solución analítica de Rosenthal para flujo de calor bidimensional en estado cuasi-estacionario en una placa muy ancha, debido a una fuente de calor puntual en movimiento está expresada por la ecuación:

$$2\pi(T - T_0)kb = Qe^{-\frac{U(x-Ut)}{2\alpha}}k_0\left(\frac{Ur}{2\alpha}\right) \quad (1)$$

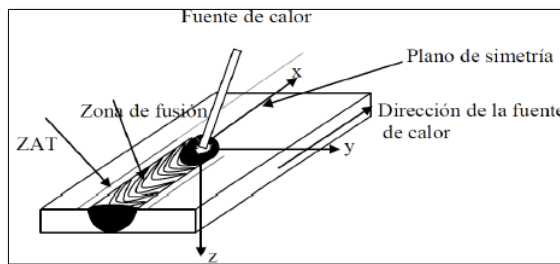
Donde:

k: conductividad térmica [0,028 J/mm s °C]; Q: calor aportado [J/s]; U: velocidad de soldadura [mm/s]; α : difusividad térmica del sólido [6,364 mm²/s]; T: temperatura [°C]; T₀: temperatura de precalentamiento [150 °C]; t: tiempo [s]; k₀: función de Bessel modificada de segundo tipo y orden cero; b: espesor de la pieza [mm]; r: distancia radial desde el origen [mm]

De la misma forma, la solución analítica de Rosenthal para flujo de calor tridimensional, en estado cuasi-estacionario, en una placa semi-infinita (muy larga y gruesa), debido a una fuente de calor puntual en movimiento está dada por la ecuación:

$$2\pi(T - T_0)k = Qe^{-\frac{U(x-Ut+R)}{2\alpha}} \quad (2)$$

Figura 4. Diagrama esquemático del proceso de soldadura en un sistema de coordenadas que tiene su eje en el centro de la fuente de calor



Fuente: Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. (PÁSTOR, 2004)

Placa gruesa:

$$T = T_0 + \frac{H_n}{2\pi*k*t} e^{-\left(\frac{r^2}{4at}\right)} \quad (3)$$

Placa delgada:

$$T = T_0 + \frac{H_n}{d*(4\pi*k*\rho*cp*t)^{1/2}} e^{-\left(\frac{r^2}{4at}\right)} \quad (4)$$

Donde:

T: Temperatura que se desea conocer; T_0 : Temperatura inicial de la pieza; r: Distancia desde la fuente puntual de calor de acuerdo con la dirección del eje; k: Conductividad térmica del material base; t: Tiempo; α : Difusividad térmica del material; H_n Flujo de calor por unidad de longitud; C_p : Calor específico del material; ρ : Densidad del material; e: Constante de Euler.

2.3.4 *Velocidad de enfriamiento de la soldadura.* Se puede tener el caso de considerar la placa base como placa gruesa o delgada, por lo que es necesario determinar si la placa es gruesa o delgada por el criterio de espesor crítico denominado d' , que se lo puede calcular mediante la ecuación:

$$d' = \left(\frac{H_n}{2 * \rho * c_p * v} * \left[\frac{1}{773 - T_0} + \frac{1}{1073 - T_0} \right] \right)^{1/2} \quad (5)$$

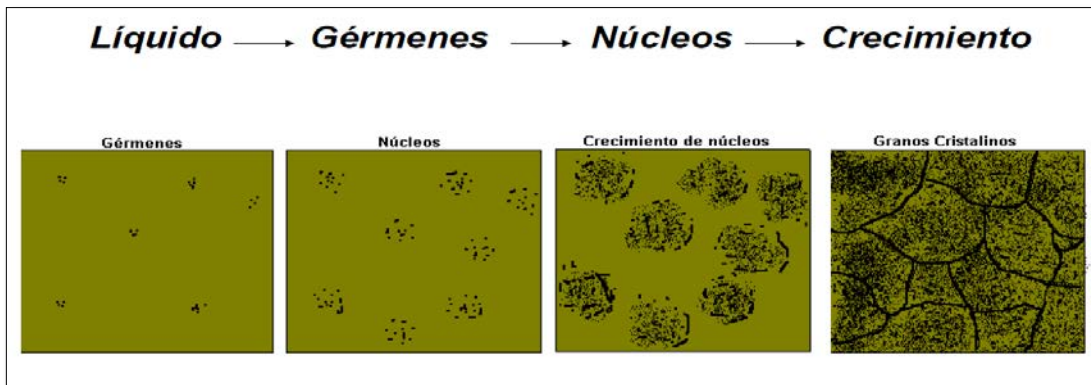
Este espesor crítico es un parámetro de referencia. Así, si se va a soldar una placa cuyo espesor es mayor que d' , se usará el criterio de placa gruesa; caso contrario, cuando el espesor sea menor que d' , se aplicará el criterio de placa delgada. Las temperaturas pico en la ZAT dependen de muchas variables entre las que están el calor neto aportado a la soldadura y el espesor de la placa (JEFFUS, 2010)

2.3.5 *Solidificación en la soldadura.* La transformación de sólido a líquido está gobernada por un proceso combinado de nucleación y crecimiento de cristales, así como también el tamaño, la orientación y distribución de los granos producidos define las propiedades mecánicas y la sanidad de la estructura solidificada.

El inicio de toda solidificación exige la formación de embriones, que en condiciones termodinámicamente favorables, forman los núcleos que comienzan a crecer originándose en algunos sustratos presentes en el líquido que ha de solidificar.

En la soldadura la nucleación puede iniciarse a partir de partículas sólidas externas suspendidas en el líquido. A este tipo de solidificación se la llama solidificación heterogénea y se da en la mayoría de procesos de soldadura realizados. La nucleación heterogénea tiene a lugar sobre el agente de nucleación (AVNER, 2012)

Figura 5. Fases de solidificación de la soldadura por fusión

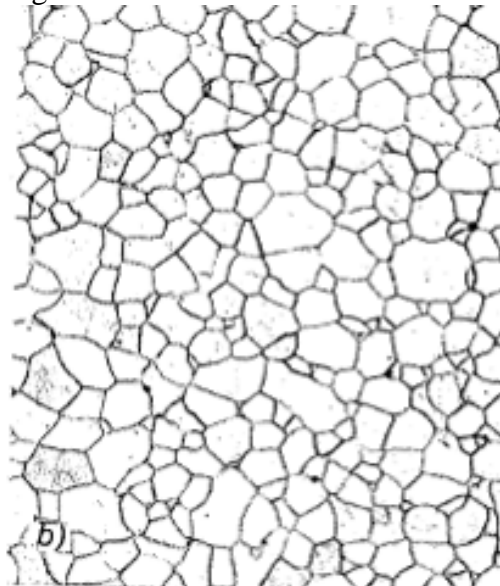


Fuente: Introducción a la Metalurgia Física. (AVNER, 2012)

2.3.6 Microestructura. La microestructura permite revelar el tratamiento mecánico y térmico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado. La microestructura típica de los aceros de bajo carbono consiste en ferrita y perlita (AVNER, 2012)

2.3.6.1 Ferrita. La ferrita es una solución sólida intersticial, donde los átomos de carbono se ubican en los intersticios de la red de hierro (α). Cristaliza en una estructura BCC (Estructura cúbica centrada en el cuerpo). Es la primera fase que se obtiene durante el enfriamiento de la austenita, puede disolver pequeñas cantidades de carbono (0,008% a temperatura ambiente). En aceros aleados, la ferrita suele contener Ni, Mn, Cu, Si, Al en solución sólida sustitucional (CASTRO, 2009).

Figura 6. Microestructura de la Ferrita



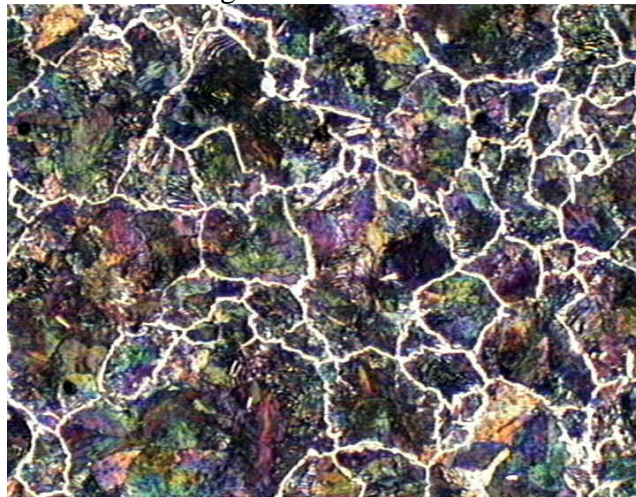
Fuente: Metalurgia de la soldadura (FOSCA, 2002)

2.3.6.2 Cementita. Es carburo de hierro con composición de 6,67% de C en peso. Es un compuesto intersticial, el constituyente más duro y frágil de los aceros. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. La morfología de la cementita es muy variada siendo destacables algunas estructuras típicas en los aceros:

- Cementita secundaria (proeutectoide)
- Cementita eutectoide
- Cementita terciaria (vermicula alargada en las uniones de los granos (0,25% C))

En los aceros, la cementita libre, no asociada con otras fases suele aparecer en los aceros hipereutectoides, como cementita secundaria, formando una red continúa enmarcando una estructura granular formada por perlita (fig.7) (CASTRO, 2009).

Figura 7. Cementita



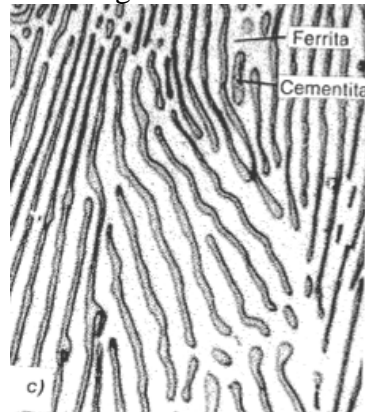
Fuente: Metalurgia de la soldadura (FOSCA, 2002)

2.3.6.3 Perlita. Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita.

Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723 °C), la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular (AVNER, 2012).

Es un constituyente bifásico formado por granos alargados como se muestra en la Fig.8

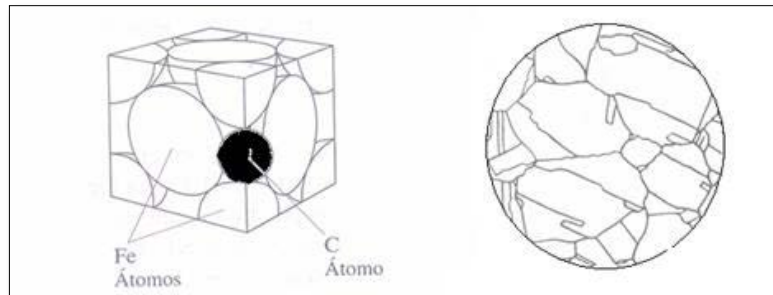
Figura 8. Perlita



Fuente: Metalurgia de la soldadura (FOSCA, 2002)

2.3.6.4 Austenita. Este es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma γ (Hierro con estructura FCC existente en el intervalo de 911° a 1392°C). Esta estructura FCC permite una mejor difusión con el carbono, acelerando así el proceso de carburación del acero. La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76%, correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130°C (AVNER, 2012)

Figura 9. Empaquetamiento de átomos en la Austenita y su Microestructura



Fuente: Metalurgia de la soldadura (FOSCA, 2002).

2.3.7 Soldabilidad de los aceros de bajo carbono. Es la mayor o menor facilidad con que un metal permite que se obtengan soldaduras sanas y homogéneas, que respondan a las necesidades para las que fueron concebidas incluyendo códigos de fabricación.

Desde el punto de vista metalúrgico, durante la soldadura en estado líquido en una región muy pequeña el material a ser soldado alcanza el estado líquido y luego solidifica. El aporte térmico suministrado se utiliza para fundir el metal de aporte (si existe), fundir parcialmente el metal base y el resto se transfiere a través del metal de soldadura modificando la microestructura y propiedades mecánicas (ZALAZAR, 2013)

Un parámetro útil para evaluar la soldabilidad de los aceros es el concepto de Carbono Equivalente (CEQ). Este consiste en una ecuación que relaciona la composición química del material.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15} \quad (6)$$

Como regla general, un acero se considera soldable si el carbono equivalente según la fórmula del International Institute of Welding es menor a 0,4%. Este valor estaría indicando cómo los elementos de aleación presentes en el acero afectan las transformaciones características favoreciendo la formación de microestructuras susceptibles a fisuración por hidrógeno en la ZAT (ZALAZAR, 2013)

2.4 Ensayos aplicados a la soldadura GMAW STT

Los ensayos son exámenes o pruebas utilizadas para detectar discontinuidades internas y/o superficiales o para determinar propiedades selectas en materiales, soldaduras, partes y componentes; usando técnicas que no alteran el estado físico o constitución química, dañen o destruyan los mismos (ASME, 2013)

Los ensayos aplicados a la soldadura permiten el desarrollo de diversos alcances como: averiguar la calidad del material, determinar la composición, analizar su dureza, estos ensayos de soldadura se los divide en dos tipos para su análisis (NEELY, 2000)

2.4.1 *Ensayos destructivos en la soldadura GMAW STT.* Los ensayos destructivos se definen como aquellos ensayos que se realizan a un material mediante el uso de herramientas o máquinas las cuales producen una alteración irreversible de su composición química, mecánica o de su geometría dimensional.

Los ensayos destructivos realizados sobre adhesivos o uniones adhesivas, tienen principalmente cuatro objetivos:

- Obtener las características y propiedades mecánicas del adhesivo.
- Comprobar las condiciones de aplicación, así como los productos adhesivos y la preparación de los sustratos o adherentes

- Realizar ensayos comparativos entre adhesivos.
- Simular las condiciones de envejecimiento de la unión adhesiva durante su vida, con objeto de predecir su comportamiento (MARTÍNEZ, 2002)

2.4.2 *Ensayos no destructivos en la soldadura GMAW STT.* Es una disciplina tecnológica que reúne una serie de métodos que permiten obtener una información sobre propiedades, estructuras y condiciones de un material o componente, sin modificar su aptitud para el servicio. La repetitividad y confiabilidad de los ensayos no destructivos dependen en gran medida de los conocimientos y de la habilidad de los individuos que los realizan (MARTÍNEZ, 2002)

De acuerdo con su aplicación, el ensayo no destructivo se divide en:

- Técnicas de inspección superficial
- Técnicas de inspección volumétrica
- Técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad (RUÍZ, 2000)

2.4.2.1 *Técnicas de inspección superficial.* Por lo general detectan discontinuidades en la superficie, o a profundidades no mayores a 6 mm. Mediante estas pruebas sólo se comprueba la integridad superficial de un material, por tal razón es conveniente detectar discontinuidades que están en la superficie a profundidades menores a 3 mm (RUÍZ, 2000).

Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos no destructivos:

- Inspección visual (VT)
- Líquidos penetrantes (PT)
- Partículas Magnéticas (MT)
- Electromagnetismo (ET)
- Corrientes inducidas
- Termografía (RUÍZ, 2000)

Estos ensayos deben ser cuidadosamente interpretados por observación ya que es la única forma de determinar defectos y discontinuidades en la soldadura.

2.4.2.2 *Técnicas de inspección volumétrica en soldadura.* Se utilizan para conocer la sanidad de un material y detectar discontinuidades generalmente ocultas en su estructura interna. Su aplicación permite conocer la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza (RUÍZ, 2000)

Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

- Radiografía industrial (RT)
- Ultrasonido industrial (UT)
- Radiografía neutrónica (NT)
- Emisión Acústica (AET) (AVNER, 2012)

2.4.2.3 *Técnicas de inspección de la integridad o de la hermeticidad.* Se aplican para inspeccionar la condición de todo un sistema sin que necesariamente se evalúe de manera individual cada componente. La forma inicial para estas técnicas fue con recipientes a presión y tuberías, mediante lo que se denominaba “detección de fugas” o de hermeticidad (AVNER, 2012)

Este tipo de inspección se realiza empleando cualquiera de los siguientes ensayos:

- Pruebas por cambio de presión: Hidrostática y neumática
- Pruebas por pérdida de fluido: cámara de burbujas, detector de halógenos, espectrómetro de masas, detector ultrasónico, cámara de vacío (RUÍZ, 2000).

2.4.3 *Defectos y discontinuidades.* Cada norma y código utilizado, tanto en el diseño, construcción como en la calificación de los procedimientos y como en la calificación de los soldadores, señalan los límites para la aceptación o rechazo de las discontinuidades detectadas con los variados ensayos no destructivos (NEELY, 2000)

Los defectos se desarrollan por la falta de cohesión, interrupción en la estructura física normal del material o producto. Las discontinuidades cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al

realizar un ensayo no destructivo (NDE en inglés: Non Destructive Essays) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por el código o norma aplicable (ALONSO, 2011)

2.5 Código ASME aplicado al proceso de soldadura GMAW STT

2.5.1 *WPS para el proceso de soldadura GMAW STT.* El procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure Specification) es un documento que provee las directrices para realizar la soldadura con base en los requerimientos del código. Proporciona la información necesaria para orientar al soldador u operador de soldadura y asegurar el trabajo realizado, con el cumplimiento de los requerimientos especificados dentro del código.

Dentro de estas especificaciones del procedimiento de soldadura existen condiciones, rangos en las que el material soldado debe realizarse. A estas condiciones se les denomina como variables. Este procedimiento describe las variables esenciales, no esenciales y cuando se requiera, las variables suplementarias de cada procedimiento de soldadura.

El Código ASME sección IX, Estándar para Calificación de Procedimientos de Soldadura, da los lineamientos para desarrollar el procedimiento de soldadura tanto para soldadores y operadores de soldadura (TORRES, 2008)

2.5.2 *PQR para el proceso de soldadura GMAW STT.* El registro de calificación de procedimiento (PQR) es decir que el conjunto de partes soldadas propuesto para construcción sea capaz de proveer las propiedades requeridas para su aplicación destinada, el PQR permite relacionar lo que se usó al calificar el WPS y los resultados de las pruebas (ORDOÑEZ, 2006)

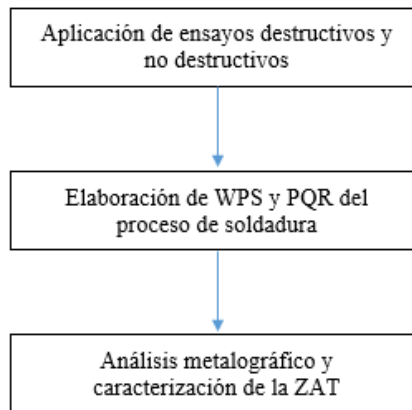
El propósito de calificar un procedimiento de soldadura es para demostrar que el proceso de unión propuesto para la construcción es capaz de producir juntas que tengan las propiedades mecánicas requeridas por la prevista solicitud (ASME, 2013)

CAPÍTULO III

3. PROCESO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACION Y EVALUACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA GMAW STT

Dentro del proceso metodológico para la elaboración del procedimiento de soldadura GMAW STT para pase de raíz se aplica el método sistémico dirigiendo la determinación de todos los componentes, conjuntamente con la aplicación de ensayos y observación científica para su realización. El trabajo a realizarse consta de tres pilares fundamentales:

Figura 10. Algoritmo de elaboración metodológica



Fuente: Autor

A partir de la información recolectada en el marco referencial sobre el proceso de soldadura GMAW STT se prosiguió con el proceso metodológico para la elaboración y evaluación del procedimiento correspondiente a la soldadura de pase de raíz. Para cumplir con esta investigación realizada se siguió con el algoritmo propuesto y desarrollando los objetivos siguientes:

3.1 Determinación de la eficiencia del proceso de soldadura GMAW STT

La determinación de la eficiencia del proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz en grandes espesores de lámina se realizará mediante pruebas y ensayos según el código ASME sección VIII/IX (ensayos destructivos: ensayo de tracción, doblado y los ensayos no destructivos: inspección visual, ultrasonidos, tintas penetrantes, aplicables conforme al código y requerimientos de la empresa). El código ASME es considerado como la norma más avanzada para la construcción de recipientes a presión a nivel mundial

por lo que la Industria Acero de los Andes ha optado por aplicarlas para el diseño y construcción de proyectos metalmecánicos sometidos a presiones.

El proceso más crítico en la soldadura que se toma como tema de estudio de estos recipientes a presión es el pase de raíz debido a los esfuerzos que soporta y las variaciones en la microestructura de la zona afectada térmicamente que puede causar cambios considerables en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Este proceso necesita de un procedimiento avalado por la empresa para que los soldadores y operadores lo lleven a cabo de una forma eficiente y uniforme en todas las juntas soldadas.

En el caso del Proyecto Hidroeléctrico Minas San Francisco en el cual la tubería de carga y blindaje está sometida a altas presiones, se elabora el procedimiento y calificación de soldadura para el pase de raíz con un nuevo proceso que es GMAW STT.

Se realiza los diferentes ensayos aplicables establecidos en el código ASME sección IX para el proceso de soldadura GMAW STT para placas soldadas de gran espesor. Aplicando un procedimiento pre-calificado, tomando en cuenta las variables de la soldadura según el ítem QW-255, se realizan las muestras a ser ensayadas.

Una vez realizada las probetas se realiza los ensayos no destructivos aplicables según el código ASME sección IX, que en este caso son el ensayo de líquidos penetrantes y ultrasonidos. Para líquidos penetrantes se utilizó placas soldadas A537 Cl 1 de 38 mm de espesor.

En el caso del ensayo de ultrasonidos se utilizan las probetas con el pase de soldadura máximo de calificación según el ítem QW-451.1 para una mejor captación de la impedancia acústica. Por observación científica se hace el análisis cualitativo y según el criterio de aceptación de la sección V se sujeta a la aprobación o rechazo del proceso de soldadura GMAW STT.

Para el ensayo de tracción y doblado, las probetas se realizan según la sección IX ítem QW-402 y QW-469.2 y se envían al laboratorio de análisis de esfuerzos de la Politécnica

Nacional. Con los datos obtenidos se aplica el criterio de aceptación del código ASME sección IX ítem QW/QB-422 y QW-163

3.2 Aplicar el código ASME para la elaboración del WPS y PQR para el proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz

Para realizar el WPS se necesita de las variables esenciales, no esenciales y suplementarias del proceso de soldadura GMAW STT. Las variables consideradas para la soldadura de arco con gas protector son obtenidas de la tabla QW-255. Mediante pruebas de experimentación se obtiene las variables eléctricas, gas y precalentamiento.

Las variables del material base, posición, tipo de junta, tratamiento post-soldadura y material de aporte están dentro de los requerimientos del código ASME sección IX ítem QW-400. Con los datos obtenidos se realiza el procedimiento de soldadura para el pase de raíz GMAW STT siguiendo el formato QW-482 del código ASME sección IX del Nonmandatory Appendix B. Con una enumeración se estipula los pasos para la adhesión de los datos en el WPS.

Para realizar el registro de calificación del procedimiento de soldadura (PQR) se adjunta las variables reales de soldadura utilizadas en las pruebas y los resultados de los ensayos realizados sobre la soldadura, para calificar las especificaciones del procedimiento GMAW STT.

El registro de calificación de procedimientos permite puntualizar la información primaria y secundaria recabada, este proceso se realiza con base en el WPS y se detalla los rangos de calificación y que también se anexa los ensayos mecánicos realizados a la muestra, ya sea tensión, doblado, impacto o dureza. En el PQR se detalla además el nombre del soldador, su estampa y su número de identificación, el Inspector Responsable que realiza las pruebas.

3.3 Realizar el Análisis Metalográfico y Caracterización de la Zona Afectada Térmicamente de las juntas soldadas con el proceso GMAW STT

Se realiza 2 probetas con el proceso GMAW STT de pase de raíz y 2 probetas con el cordón de soldadura completo con los procesos GMAW STT y SAW TANDEM para

aplicar el método lógico y realizar la comparación entre las microestructuras observadas. Se aplica la norma ASTM E3 para la preparación de las muestras metalográficas y la norma ASTM E 407 para la realización del micro-ataque utilizando la sustancia Nital.

Mediante la observación científica se hace la caracterización de la zona afectada térmicamente de las muestras tomadas y su comparación con las microestructuras del libro Metal Handbook sección IX.

Se determina mediante el programa ScopePhoto el porcentaje de ferrita y perlita en el pase de raíz A537 Cl 1. Se realiza la gráfica para determinar la temperatura pico del material y la microestructura obtenida dentro de la ZAT.

Se realiza la gráfica del ciclo térmico de la soldadura mediante la iteración de las medidas de la ZAT en el diagrama Temperatura vs tiempo.

Dentro de la caracterización se realiza el ensayo de micro-dureza VICKERS de la ZAT y se compara con los anteriores procesos de soldadura utilizados para el pase de raíz dentro de la Industria Acero de los Andes (Proceso SAW y SMAW).

CAPÍTULO IV

4. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

La presente investigación se llevó a cabo mediante la compilación de información primaria (observación de campo, obtención de reportes) y aplicaciones prácticas que se desarrollaron dentro de la empresa Acero de los Andes en la ciudad de Quito, también se recopiló información secundaria (revisión, análisis y síntesis de bibliografía de estudios anteriores) que permitieron realizar los diversos análisis de aplicación.

Se muestra a continuación los pasos que se siguieron para el cumplimiento de los objetivos que fueron planteados:

4.1 Determinación de la eficiencia del proceso de soldadura GMAW STT

Para la elaboración del primer objetivo se identificó la información con referencia al código ASME. Este código es el que se utilizó dentro de la empresa para el diseño de recipientes y cilindros de presión.

Como parte del marco teórico se desarrolló la revisión y análisis del código ASME sección IX y sección V con el cual se realizó los ensayos requeridos y su criterio de aceptación de las juntas soldadas con el pase de raíz del proceso de soldadura GMAW STT. Los pasos que se cumplieron para el desarrollo de este objetivo son:

4.1.1 *Realización de los ensayos no destructivos (NDE).* Para la inspección de la soldadura de pase de raíz GMAW STT se aplicaron los NDE de acuerdo a los requerimientos del código ASME estipulados en la sección IX y sección V para la aceptación del procedimiento de soldadura a calificarse.

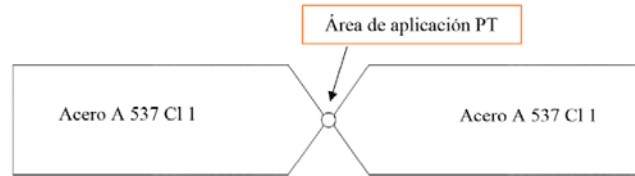
Dentro de los NDE realizados para la inspección de la soldadura GMAW STT fueron:

- Ensayo de líquidos penetrantes (PT)
- Ensayo de ultrasonidos (UT)

De los ensayos se obtuvieron datos cualitativos y cuantitativos de defectos en soldadura.

4.1.1.1 *Ensayo de líquidos penetrantes.* Para la aplicación de PT se realizaron probetas con el pase de raíz de la soldadura GMAW STT en las placas de acero A537 Cl 1

Figura 11. Probeta con pase de raíz GMAW STT para NDE



Fuente: Autor

Figura 12. Corte transversal del cordón de pase de raíz, soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Figura 13. Vista superior del cordón de soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Para realizar el ensayo de líquidos penetrantes se siguió el procedimiento del código ASME sección V artículo 6: La temperatura del penetrante y la superficie examinada de la junta se encontró en el rango de 10 °C a 52 °C. Se calentó el área del cordón de soldadura junto con el metal base. El valor de temperatura tomada fue de 24 °C.

Figura 14. Pre-calentamiento de la probeta para aplicación de PT en el pase de raíz en la soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Para realizar la limpieza del área se siguió el procedimiento T-642 del código ASME para la preparación de la superficie. Se quitó las suciedades y escorias con grata y se utilizó el limpiador SKC-S fabricado por MAGNAFLUX que cumple con los requisitos de T-625 para la limpieza final del área.

Figura 15. Kit de pruebas para líquidos penetrantes (penetrante, limpiador y revelador)



Fuente: Autor

Figura 16. Aplicación del limpiador SKC-S

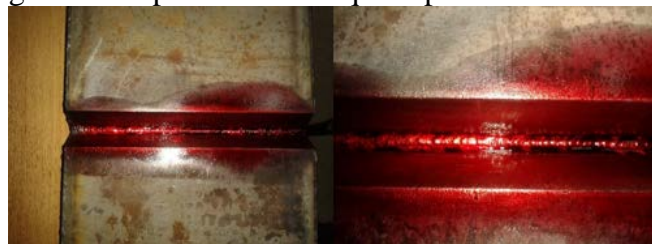


Fuente: Autor

Luego de la limpieza, se dejó secar las superficies a ser examinadas por evaporación normal durante un período de 5 minutos.

Después se hizo la aplicación del líquido penetrante SKL-SP2 por pulverización sobre la superficie del cordón de soldadura a una distancia de 7 in (17,78 cm). El tiempo de penetración aplicado para el cordón de soldadura fue alrededor de 12 minutos según la tabla T-672 del código ASME sección V para la detección de porosidades, grietas y falta de fusión.

Figura 17. Aplicación del líquido penetrante SKL-SP2



Fuente: Autor

El siguiente paso fue la remoción del líquido penetrante usando trapos secos para su absorción. Se realizó varias series de limpieza hasta obtener un área idónea para la aplicación del revelador.

Figura 18. Limpieza del área del cordón de soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Una vez realizada la limpieza, se aplicó el revelador SKD-S2 húmedo aproximadamente 30 segundos para extraer el penetrante retenido en las discontinuidades y hacerlas visibles.

Figura 19. Aplicación del revelador SKD-S2



Fuente: Autor

El tiempo de espera es inversamente proporcional al volumen de la discontinuidad. La superficie examinada se monitoreó alrededor de 15 minutos para la observación de discontinuidades que pueden aparecer durante el sangrado del penetrante.

Se realizó el reporte de líquidos penetrantes utilizando el formato MQE-P-003-F-01 desarrollado según el procedimiento de examinación de NDE de la Industria Acero de los Andes en concordancia con los requerimientos del código ASME sección V ítem T-690

El mismo procedimiento se realizó con el proceso de soldadura SMAW usada anteriormente en la Industria Acero de los Andes para el pase de raíz y realizar la comparación cualitativa entre los dos procedimientos.

Figura 20. Reporte de líquidos penetrantes en la soldadura GMAW STT para bisel longitudinal.

PROCEDURE Nº		MQE-P-003-REV.7		STAGE OF EXAMINATION	
PROCEDIMIENTO Nº		ASME V-VIII		ETAPA DE EXAMINACION	
CLIENTE:		HARBIN ELECTRIC INTERNATIONAL		COMANDO No. 11961	
CLIENTE				JOB No.	
NOMBRE DEL PROYECTO:		MINAS SAN FRANCISCO		FECHA: 25/11/2015	
PROJECT NAME				DATE:	
NOMBRE DE EQUIPO Y No. DE IDENTIFICACION:		PREPARACION DE BISEL EXTERIOR LONGITUDINAL BL26-A			
NAME OF EQUIPMENT AND IDENTIFICATION No.					
APPLICABLE CODE		ASME V-VIII		<input checked="" type="checkbox"/> PREPARED EDGE <input type="checkbox"/> AFTER P.W.H.T.	
CODIGO APLICABLE		ASME V-VIII		<input type="checkbox"/> DESPUES DE P.W.H.T.	
MATERIAL		A-537-CL1		<input type="checkbox"/> OTHERS	
MATERIAL		A-537-CL1		<input type="checkbox"/> OTROS	
ESPESOR		38,00 mm		<input type="checkbox"/> AS WELDED <input type="checkbox"/> AFTER HYDRO TEST	
ACABADO DE SOLDADURA				<input type="checkbox"/> DESPUES DE PRUEBA HIDROSTATICA	
SURFACE PREPARATION		<input type="checkbox"/> GRINDING <input type="checkbox"/> MACHINING		<input checked="" type="checkbox"/> OTHERS	
PREPARACION DE SUPERFICIE		<input type="checkbox"/> ESMERILADO <input type="checkbox"/> MAQUINADO		<input checked="" type="checkbox"/> OTROS	
Cleaner Reference		Penetrant Reference		Developer Reference	
SKC - S		SKL - SP2		SKD - S2	
PENETRANT		<input checked="" type="checkbox"/> COLOR CONTRAST <input type="checkbox"/> FLOURESCENT		<input type="checkbox"/> FLOURESCENTE	
TIPO:		<input checked="" type="checkbox"/> CONTRASTE DE COLOR		<input type="checkbox"/> FLOURESCENTE	
APLICACION:		<input type="checkbox"/> BRUSHING <input checked="" type="checkbox"/> CON BROCHA		<input checked="" type="checkbox"/> SPRAYING <input type="checkbox"/> SPRAY	
TEMPERATURE		24 °C		PENETRANT TIME	
TEMPERATURA:		24 °C		TIEMPO DE PENETRACION	
REMOVAL		<input type="checkbox"/> WATER WASHABLE PENETRANT <input type="checkbox"/> DEVELOPER		<input type="checkbox"/> DRY DEVELOPER <input type="checkbox"/> REVELADO EN SECO	
REMOCION		<input type="checkbox"/> POST EMULSIFING PENETRANT <input type="checkbox"/> REVELADOR		<input checked="" type="checkbox"/> WET DEVELOPER <input checked="" type="checkbox"/> REVELADO HUMEDO	
SOLVENT REMOVABLE PENETRANT		<input checked="" type="checkbox"/> DEVELOPING TIME		<input type="checkbox"/> 15 MINUTES	
PENETRANTE REMOVIBLE CON SOLVENTE		<input checked="" type="checkbox"/> TIEMPO DE REVELADO		<input type="checkbox"/> MINUTOS	
LOCALIZACION DEL ENSAYO		ILUMINACION (Light)		LUZ ARTIFICIAL FOCO 100 W. A 250 mm DE DISTANCIA = 1245 LUX	
LOCATION EXAMINED					
PREPARACION DE BISEL LONGITUDINAL					
<input checked="" type="checkbox"/> SATISFACTORY (SATISFACTORIO)		<input type="checkbox"/> UNSATISFACTORY (NO SATISFACTORIO)		ATTACHED REPORT: N.A.	
OBSERVACIONES:		RESULTADO ACEPTADO.			
REMARKS:					
INSPECTOR:		Guillermo V. Zurita		Aprobacion Nivel II: Oscar. Chasi	
INSPECTOR				OTHERS: Ing. Paulo Londo	
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:	
SIGNATURE		SIGNATURE		SIGNATURE	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	
DATE		DATE		DATE	

Fuente: Autor

4.1.1.2 Evaluación del ensayo de líquidos penetrantes

Se puede observar entre la ranura del metal base y el cordón de soldadura que existe pocas porosidades al observar pequeñas manchas rojas debido al penetrante extraído por el revelador.

Figura 21. Discontinuidad observada en la ranura del cordón de soldadura GMAW STT

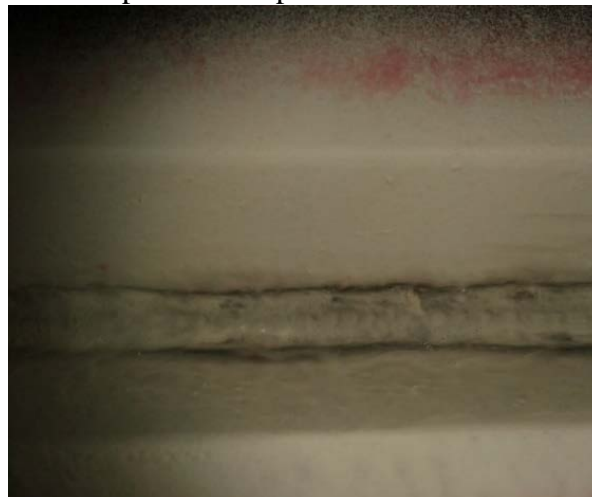


Fuente: Autor

Según el criterio de aceptación no se observa amplias áreas de pigmentación, simplemente son indicaciones puntuales que pueden ser despreciables respecto al área examinada.

Se realizó una comparación de la aplicación de líquidos penetrantes a los procesos de soldadura para pase de raíz GMAW STT y SMAW y se observó que el primer proceso mencionado presenta menores discontinuidades a diferencia del segundo proceso de soldadura.

Figura 22. Tintas penetrantes proceso de soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Figura 23. Tintas penetrantes proceso de soldadura SMAW



Fuente: Autor

En el proceso de soldadura SMAW se puede observar que existen varias zonas marcadas por el revelador lo que significa que se encuentran discontinuidades en las inter-caras de la soldadura que deben ser removidas para una nueva prueba.

La inspección por tintas penetrantes de las juntas soldadas demostró la ausencia de defectos superficiales en el pase de raíz GMAW SSTT en las probetas aplicadas

4.1.1.3 *Ensayo de Ultrasonidos.* Para el ensayo de ultrasonidos se utilizó el equipo Phasor XS de la fig.24 para detectar discontinuidades y defectos sub-superficiales e internos dentro del pase de raíz. Las probetas donde se aplicó el ensayo de UT fueron las mismas que se utilizaron para el ensayo de doblado debido al alcance que tiene este método y la factibilidad de la impedancia acústica en las placas soldadas completamente.

El método de examinación se lleva a cabo según el código ASME sección V artículo 4 con una frecuencia nominal de 1 a 5 MHz a un nivel de escaneo de 6 decibeles. Para poder realizar las pruebas se calibró los distintos parámetros de operación: el ángulo de refracción (45 a 70 grados), ganancia digital, y el espesor de la placa soldada (10 mm). Se programó las profundidades focales con el transductor para el barrido a realizarse.

La técnica de exploración que se utilizó fue “phased array” para aumentar las probabilidades de detección de fallas en el cordón de soldadura.

Figura 24. Equipo utilizado para el Ensayo de Ultrasonidos



Fuente: Autor




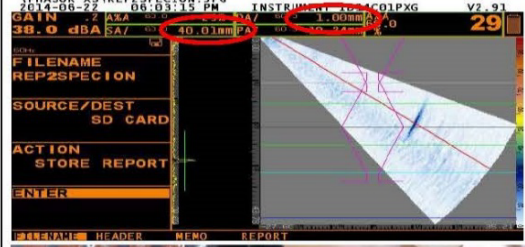
Se aplicó el acoplante (gel) para movilizar el transductor de adelante hacia atrás y obtener una imagen de la zona a inspeccionar con una distancia de recorrido de 1 a 5 in (2,5 a 12,7 cm). En la imagen se observó variaciones cromáticas que identifican la distancia y la medida de las discontinuidades detectadas.

Figura 25. Aplicación del ensayo de UT



Fuente: Autor

Figura 26. Reporte de ultrasonidos para soldadura GMAW STT

	PROYECTO: PROBETA SOLDADA CON EL SISTEMA STT LINCOLN												
	CLIENTE: HARBIN												
	PARTE:	PARTE EXTERNA DE PROBETA											
	FECHA DE INSPECCION:	viernes, 03 de julio de 2015	REPORTE: UT001										
REPORTE DE INSPECCION - ULTRASONIDO													
PARAMETROS DE INSPECCION													
Material:	ASTM A537	Bloque Calibración:	Placa / ASME V/IIW										
Equipo:	GE PHASOR XS / 14C01PXG	Técnica:	Phased Array										
Acoplante:	GEL	Espesor:	10 MM										
Frecuencia:	5 Mhz	Angulo:	45 a 70 grados										
Tipo y longitud de cables utilizados:	8FT LEMO C-022	Superficie Final:	Como esta soldado										
Nivel de escaneo:	+6dB	Equipo Especial utilizado:	N/A										
Superficie por donde se condujo el palpador: Externa													
DETALLE DE INSPECCION													
													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Probe</td><td>PART NUM 115-100-004</td></tr> <tr><td>Wedge</td><td>PART NUM 118-350-025</td></tr> <tr><td>Scan</td><td>MAT THICKNESS 10.50 mm</td></tr> <tr><td>Gate</td><td>GATE A START 15.98 mm</td></tr> </tbody> </table>		Parameter	Value	Probe	PART NUM 115-100-004	Wedge	PART NUM 118-350-025	Scan	MAT THICKNESS 10.50 mm	Gate	GATE A START 15.98 mm	<p>Otras Fallas (Superficiales)</p> 	
Parameter	Value												
Probe	PART NUM 115-100-004												
Wedge	PART NUM 118-350-025												
Scan	MAT THICKNESS 10.50 mm												
Gate	GATE A START 15.98 mm												
<p>OBSERVACIONES:</p> <p style="text-align: center;">Prueba: ACEPTADA</p>													
REALIZADO POR:		REVISADO POR:											
Fecha: 03/07/2015	Firma:	Fecha:	Firma:										
Nombre:		Nombre:											
Inspector Nivel I UT INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.		Inspector Nivel II UT INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.	Fiscalización Mecanica										

Fuente: Autor

4.2 Aplicación del código ASME para realización de los ensayos destructivos y realización de probetas.

4.2.1 *Ensayos destructivos aplicables al procedimiento GMAW STT para el pase de raíz.* La realización de los ensayos destructivos tiene como finalidad la obtención de resultados que se encuentren dentro del criterio de aceptación del código ASME para la elaboración del WPS y PQR. Los datos obtenidos son parte del procedimiento que certificará que el proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz, es idóneo para la aplicación de los proyectos industriales.

En el código ASME sección IX en la tabla QW-451.1 se especifica los ensayos mecánicos aplicables para la calificación del procedimiento de soldadura (WPS y PQR)

4.2.2 *Elaboración de probetas para ensayo de Tracción y Doblado.* Se realizó el proceso de soldadura GMAW STT en las juntas soldadas con bisel en V de una ranura de 3 mm (1/8") y una tolerancia de $\pm 1/16$ " según la sección IX ítem QW-402 y QW-469.2 en placas de acero A537 clase 1 de 38 mm de espesor como se muestra en la fig 27.

Figura 27. Placa con pase de soldadura GMAW STT para Elaboración de probetas para ensayos destructivos



Fuente: Autor

El equipo utilizado para realizar el pase de soldadura fue el POWER WAVE S350 STT. Las probetas fueron hechas tomando en cuenta un WPS pre-calificado con las variables determinadas según el código ASME sección IX tabla QW-255 para el proceso de soldadura GMAW.

Figura 28. Equipo utilizado para la soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Las variables con las que se realizó las probetas para el ensayo de tracción y doblado son:

QW-402.1 El diseño de la ranura es en V según las especificaciones y medidas requeridas del código ASME para la elaboración de las probetas

QW-402.4 No se utilizó backing o respaldo para realizar el proceso de soldadura debido a que su solidificación es rápida y el espacio de la ranura es pequeño por lo que no permite que el material de aporte se derrame en la parte posterior

QW-404.4 El número F del material de aporte es el 6 según la especificación SFA 5.28 de la norma AWS para aceros de bajo carbono.

El cable de aporte utilizado para el pase de raíz tiene la denominación ER80S-Ni1 de 1,1 mm de diámetro elaborado por la industria Lincoln Electric para soldadura MIG. (Ver Anexo H)

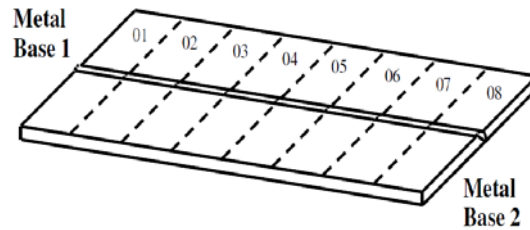
La velocidad de alimentación del alambre utilizado fue de 130 in/min controlada por el equipo y su velocidad de avance de 20-25 cm/min realizada por un soldador calificado con estampe WT-23 según el WPQ registrado en la Industria Acero de los Andes. El modo de transferencia aplicado es por tensión superficial (STT) el porcentaje de composición del gas es CO₂-Ar MIG 20.

QW-405.1 La posición en la que se soldó las probetas fue 1G

QW-409 Dentro de las características eléctricas aplicadas fueron: polaridad de la corriente inversa, corriente: 90-110 Amps, voltaje: 18-20 V, HI: 0,792-1,41 KJ/mm

Para los ensayos de tracción y dobléz se seleccionaron las muestras como se indica en la Fig. 29 y en la Tabla 4 respectivamente. Se realizaron las probetas según los requerimientos y medidas del ítem QW-462.1(a) para el ensayo de tracción. Se obtuvieron ocho probetas de las placas soldadas con la soldadura GMAW STT para efectuar el mecanizado correspondiente respecto a los ensayos mecánicos de tensión y doblado.

Figura 29. Distribución de las probetas de las juntas soldadas



Fuente: Autor

Tabla 4. Especificaciones de la junta soldada y dimensiones de las probetas

Probeta	Ensayo	Dimensiones in.[mm]
01	Descartado	½”(13)x3/16”(4,8)
02	Tracción	½”(13)x3/16”(4,8)
03	Doblez de cara	1½”(13)x3/16”(4,8)
04	Doblez de raíz	1½”(13)x3/16”(4,8)
05	Doblez de cara	1½”(13)x3/16”(4,8)
06	Doblez de raíz	1½”(13)x3/16”(4,8)
07	Tracción	½”(13)x3/16”(4,8)
08	Descartado	½”(13)x3/16”(4,8)

Fuente: Informe de ensayo de Tracción y Doblado (EPN, 2015)

Figura 30. Probeta de placas soldadas de acero A 537 Cl 1 para ensayo de tracción



Fuente: Autor

Se realizaron las probetas según los requerimientos y medidas del ítem QW-462.3(a) para el ensayo de doblado.

Figura 31. Probeta de placas soldadas de acero A537 Cl 1 con GMAW STT para ensayo de doblado



Fuente: Autor

De acuerdo al código ASME sección IX ítem QW-450 el número de probetas para el ensayo de tracción son dos y para el ensayo de doblado lateral son 4.

Las probetas se tomaron y enviaron al Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y vibraciones del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Politécnica Nacional. Los resultados obtenidos servirán para la calificación del procedimiento de soldadura y determinar las propiedades mecánicas de las juntas soldadas.

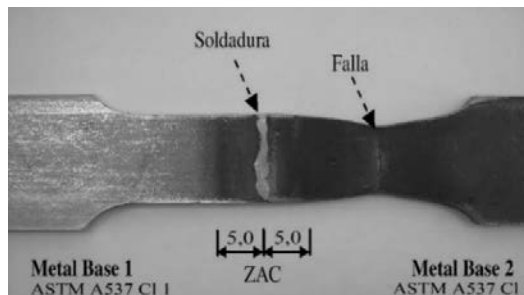
4.2.3 *Obtención de resultados de los ensayos de tracción y doblado.* El informe emitido por el laboratorio de análisis sobre el ensayo de tracción da los siguientes valores (Las probetas ensayadas estuvieron a temperatura ambiente):

Tabla 5. Análisis sobre el ensayo de tracción en probetas GMAW STT

Probetas ensayo de tracción	Ancho promedio [mm]	Espesor promedio [mm]	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción	
			[lbf]	[N]	[ksi]	[Mpa]
Nº1	19,17	12,87	28,9	128,5	75,6	521,1
Nº2	18,99	12,72	29,5	131,2	78,8	543,2

Fuente: Informe de ensayo de Tracción y Doblado (EPN, 2015)

Figura 32. Probeta aplicada el ensayo de tracción y medida de la ZAT con la soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

El ensayo de tensión reducida se realizó para evaluar la resistencia mecánica de las juntas soldadas. Para medir las propiedades de tracción de las juntas soldadas, las probetas fueron estiradas a una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina universal de 1 mm/min.

En el caso del ensayo de doblado, el análisis es cualitativo. Se hizo la inspección visual para determinar el grado de sanidad y ductilidad de las juntas soldadas en ranura.

Las probetas conforme a las ilustraciones en QW-462.3 (a) deberá ser doblada en los lados de prueba substancialmente de acuerdo con QW-466 por medio de la aplicación de fuerza en el punzón.

Tabla 6. Análisis cualitativo del ensayo de doblado en probetas de cara y de raíz con el proceso de soldadura GMAW STT.

Probetas ensayo de doblado	Observaciones
N°1	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura
N°2	Se observa una discontinuidad de 1,5mm en el cordón de soldadura
N°3	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura
N°4	No se observa discontinuidades en el cordón de soldadura

Fuente: Informe de ensayo de Tracción y Dobrado de la (EPN, 2015)

El informe técnico elaborado por el laboratorio de la Politécnica Nacional está adjunto en el Anexo J

Figura 33. Ensayo de doblado en probetas con soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Figura 34. Probeta aplicada el ensayo de doblado GMAW STT



Fuente: Autor

4.2.4 *Criterio de Aceptación para el ensayo de tracción.* Los valores mínimos de resistencia a la tracción aceptados por el código ASME están representados en la tabla QW/QB-422. Se identifica el material de las probetas (A537 Clase 1) y se puede observar que existen dos valores referentes a este material en unidades de MPa y ksi. Seleccionamos el segundo valor tomando en cuenta que el espesor del material es de 38 mm y está dentro del rango de 2 ½” (64 mm) y valores menores. El valor mínimo de resistencia observado en la tabla QW/QB-422 es 70 ksi (485 MPa) del metal base. Si se compara este valor con los valores de resistencia a la tracción de las probetas de ensayo se verifica que los valores se encuentran dentro del rango de aceptación del código. Las probetas de soldadura ensayadas fallaron fuera de la zona afectada térmicamente.

Según el literal (d) del ítem si la probeta se rompe en el metal base fuera de la inter-cara de la soldadura o la soldadura, el ensayo es aceptado siempre que la resistencia no sea mayor al 5% por debajo de la mínima resistencia a la tracción especificada.

4.2.5 *Criterio de aceptación para ensayo de doblado.* Se observa que la zona de soldadura y la zona afectada térmicamente se encuentran dentro de la parte doblada de las probetas donde se realizó el ensayo.

Se encontró una discontinuidad de 1,5 mm en la probeta N°2. El código ASME sección IX ítem QW-163 establece que las probetas ensayadas no deben tener discontinuidades abiertas en la soldadura y en la zona afectada térmicamente superior a 1/8” (3 mm) por lo que el ensayo es aceptable.

No se encontraron discontinuidades abiertas en las esquinas de las probetas por el ensayo de doblado.

4.3 Aplicación del código ASME para la elaboración del WPS y PQR para el proceso de soldadura GMAW STT

4.3.1 *Elaboración de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) según el código ASME sección IX.* Para realizar la construcción de los cilindros a presión utilizados para el proyecto hidroeléctrico Minas San Francisco es necesario la realización de un procedimiento de soldadura para el pase de raíz que especifique las características

necesarias que cumplan con los estándares de calidad requeridos a nivel mundial para el diseño de recipientes sometidos a altas presiones de trabajo.

Para realizar la calificación de un proceso de soldadura se necesitó la elaboración de un WPS y un PQR que lo respalde. En este caso para el proceso de soldadura GMAW STT, para la unión de placas de Acero A537 Cl 1 de espesor, se adjuntó las variables revisadas en el código ASME sección IX tabla QW-255, los resultados de los ensayos destructivos, las características del gas a utilizarse y las características eléctricas que servirán para la elaboración del procedimiento de soldadura.

Se tomó el formato sugerido QW-482 del código ASME sección IX del Nonmandatory Appendix B para la elaboración del WPS del proceso de soldadura GMAW STT. El siguiente formato lleva una numeración para identificar los parámetros que deben de anotarse en el WPS. Al final del formato se encuentra un instructivo sobre cada punto a tratarse del procedimiento de soldadura.

A continuación se procedió a describirse cada paso para la elaboración del WPS para el proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz:

- [1]. Nombre de la compañía o industria donde se utilizará el WPS.
- [2]. Nombres completos de la persona quien realizó el procedimiento de soldadura
- [3]. Denominación dada al WPS para identificarlo con respecto a otros procedimientos de soldadura utilizados en la misma industria
- [4]. Fecha de realización del procedimiento de soldadura (WPS)
- [5]. Número de revisión final dependiendo de los cambios realizados.
- [6]. Fecha de modificación del WPS con la nueva revisión.
- [7]. Denominación dada al PQR que soporte al procedimiento de soldadura elaborado
- [8]. Proceso(s) de soldadura a calificarse mediante el WPS

Figura 35. Elaboración de WPS para el proceso de soldadura GMAW STT parte I

FORM QW- 482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS) <small>(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)</small>																																																				
Organization Name: _____ [1]	By: _____ [2]																																																			
Welding Procedure Specification No. _____ [3]	Date: _____ [4]																																																			
Revision No. _____ [5] Date: _____ [6]	Supporting PQR No.(s): _____ [7]																																																			
Welding Process(es): _____ [8]	Type(s): _____ [9] <small>(Automatic, manual or semi-automatic)</small>																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%; text-align: left; padding: 5px;"> Joints (QW-402) </th> <th style="width: 40%; text-align: center; padding: 5px;"> Details </th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"> Joint Design: _____ [10] </td> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle; padding: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> [15] </div> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Root Spacing: _____ [11] </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Backing: [12] Yes _____ No _____ </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Backing Material (Type) _____ [13] <small>(Refer to both backing and retainers)</small> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> [14] Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified. </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.) </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px; text-align: right;"> Retainers: _____ [16] </td> </tr> </tbody> </table>		Joints (QW-402)	Details	Joint Design: _____ [10]	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> [15] </div>	Root Spacing: _____ [11]	Backing: [12] Yes _____ No _____	Backing Material (Type) _____ [13] <small>(Refer to both backing and retainers)</small>	[14] Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/>	Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.		Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)		Retainers: _____ [16]																																						
Joints (QW-402)	Details																																																			
Joint Design: _____ [10]	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> [15] </div>																																																			
Root Spacing: _____ [11]																																																				
Backing: [12] Yes _____ No _____																																																				
Backing Material (Type) _____ [13] <small>(Refer to both backing and retainers)</small>																																																				
[14] Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/>																																																				
Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.																																																				
Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)																																																				
Retainers: _____ [16]																																																				
*Base Metals (QW-403) P-No. _____ [17] Group No. _____ [18] to P-No. _____ [19] Group No. _____ [20] OR Specification and type/grade or UNS Number _____ [21] to Specification and type/grade or UNS Number _____ [22] OR Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ [23] to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ [24] Thickness Range: Base Metal: Groove: _____ [25] Fillet: _____ [26] Maximum Pass Thickness ≤ 1/2in. (13mm) [27] (Yes) _____ (No) _____ Other: _____ [28]																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; padding: 5px;"> *Filler Metals (QW-404) [29] </th> <th style="width: 35%; text-align: center; padding: 5px;"> 1 </th> <th style="width: 35%; text-align: center; padding: 5px;"> 2 </th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 5px;">Spec. No. (SFA) _____ [30]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">AWS No. (Class) _____ [31]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">F-No. _____ [32]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">A-No. _____ [33]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Size of Filler Metals _____ [34]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Filler Metal Product Form _____ [35]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Supplemental Filler Metal _____ [36]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Weld Metal _____</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Deposited Thickness:</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"> Groove _____ [37]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;"> Fillet _____ [38]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Electrode-flux (Class) _____ [39]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Flux Type _____ [40]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Flux Trade Name _____ [41]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Consumable Insert _____ [42]</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Other _____ [43]</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		*Filler Metals (QW-404) [29]	1	2	Spec. No. (SFA) _____ [30]			AWS No. (Class) _____ [31]			F-No. _____ [32]			A-No. _____ [33]			Size of Filler Metals _____ [34]			Filler Metal Product Form _____ [35]			Supplemental Filler Metal _____ [36]			Weld Metal _____			Deposited Thickness:			Groove _____ [37]			Fillet _____ [38]			Electrode-flux (Class) _____ [39]			Flux Type _____ [40]			Flux Trade Name _____ [41]			Consumable Insert _____ [42]			Other _____ [43]		
*Filler Metals (QW-404) [29]	1	2																																																		
Spec. No. (SFA) _____ [30]																																																				
AWS No. (Class) _____ [31]																																																				
F-No. _____ [32]																																																				
A-No. _____ [33]																																																				
Size of Filler Metals _____ [34]																																																				
Filler Metal Product Form _____ [35]																																																				
Supplemental Filler Metal _____ [36]																																																				
Weld Metal _____																																																				
Deposited Thickness:																																																				
Groove _____ [37]																																																				
Fillet _____ [38]																																																				
Electrode-flux (Class) _____ [39]																																																				
Flux Type _____ [40]																																																				
Flux Trade Name _____ [41]																																																				
Consumable Insert _____ [42]																																																				
Other _____ [43]																																																				
<small>*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.</small>																																																				

Fuente: Formato BPVC sección IX para WPS (ASME, 2013)

[9]. Tipo de aplicación de la soldadura. Puede ser automática, manual o semi-automática

[10]. Para el caso del proceso de soldadura GMAW STT el diseño de la junta a calificarse se utilizará una sola ranura en V según las especificaciones del código ASME sección IX fig. QW-469.2

[11]. El espacio de raíz también será $1/8'' \pm 1/16''$ el cual se encuentra dentro del rango de la fig. QW-469.2

[12]. No se utiliza respaldo (backing), la tensión superficial de la soldadura GMAW STT no permite que el charco de soldadura gotee. Su solidificación es muy rápida y la transferencia de calor es menor a comparación de otros procesos de soldaduras por lo que no es necesario.

[13]. Utilizar retenedores ya sea metal base o metal de soldadura

[14]. Utilizar retenedores metálicos

[15]. Colocar el diagrama correspondiente al tipo de junta a soldarse

[16]. Se especifica que no se utilizará retenedores

[17]. Por la tabla QW/QB 422 el número P para el acero ASTM A537 clase 1 es P No. 1

[18]. Por la tabla QW/QB 422 el grupo para el acero ASTM A537 clase 1 es No.1 & 2

[19]. Por la tabla QW/QB 422 el número P para el acero ASTM A537 clase 1 es P No. 1

[20]. Por la tabla QW/QB 422 el grupo para el acero ASTM A537 clase 1 es No.1 & 2

[21]. Metal base utilizado A537 CL 1 el número UNS es K12437 tabla QW/QB 422

[22]. Metal base utilizado A537 CL 1 el número UNS es K12437 tabla QW/QB 422

[23]. Por la tabla QW/QB 422 la composición nominal del Acero A537 CL1 es C-Mn-Si

[24]. Por la tabla QW/QB 422 la composición nominal del Acero A537 CL1 es C-Mn-Si

[25]. El rango de la ranura es de 3/16 in (4,8 mm) a 1 in. (25,4 mm)

[26]. Se acepta todos los espesores para el metal base

[27]. El máximo espesor de pase de soldadura es menor a 1/2 in (13 mm)

[28]. Otros

[29]. Se adhieren los procesos de soldadura para identificar el material de aporte que se utilizará para la soldadura. En este caso el proceso a utilizarse es el GMAW STT

[30]. Según la especificación ASME y la norma AWS 5.18 para la designación del material de aporte utilizado en la soldadura GMAW se considera la especificación SFA 5.28 de la tabla QW-432

[31]. El material de aporte seleccionado según la especificación SFA 5.28 es ER80S-Ni1

[32]. El número F según la especificación SFA 5.28 para el acero de bajo carbono A537 CL1 es el número 6

[33]. El número A asignado para aceros dulces (de bajo carbono) según la tabla QW-422 del código ASME sección IX será el 1

[34]. El diámetro del material de aporte ER80S-Ni1 es de 0.045 in (1,1 mm). Sus características se encuentran en el Anexo H

[35]. El material de aporte es cable sin revestimiento (Wire)

[36]. No se aplica otro material de aporte

[37]. La ranura es de 3/16 in (4,8 mm) a 1 in. (25,4 mm)

[38]. Se aplica para todos los espesores

[39]. La clasificación de fundente no aplica.

[40]. El tipo de fundente no aplica.

[41]. La marca de fundente no aplica

[42]. El inserto consumible no aplica

[43]. Otros

[44]. Numeración y denominación del WPS para identificarlo con respecto a otros procedimientos de soldadura utilizados en la empresa

[45]. Número de revisión de acuerdo a los cambios realizados

[46]. Posición 1G. Las juntas a soldarse se encuentran en un plano horizontal con el metal de soldadura depositado desde arriba. (QW-461.3)

[47]. La progresión de soldadura es bajando

[48]. La posición del filete aplica para todas las posiciones (QW-461.2)

[49]. Otros

[50]. La temperatura mínima de precalentamiento es de 15 °C para láminas de espesor menor de 1 in (25,4 mm) y 120 °C para espesores mayores a 1 in (25,4 mm) según el código ASME sección IX ítem QW-406

[51]. Temperatura máxima entre pases de soldadura: 200 °F \approx 93,33 °C

[52]. No aplica el mantenimiento de precalentamiento

[53]. y [56]. Otros

[54]. El rango de temperatura para el tratamiento térmico de post-soldadura es de 1100 °F \approx 593,33 °C. Esta temperatura está por debajo de la temperatura de transformación.

[55]. El rango de tiempo es de 1 hora por pulgada hasta 2 in más 15 min. por cada pulgada por encima de 2 in de espesor.

[57]. Los porcentajes de composición del gas protector a utilizarse es 20% de dióxido de carbono (CO₂) y 80% de Argón (Ar) soldadura GMAW STT /MIG el flujo es de 40-50 CFH (cubic foot per hour) ≈ 21.2-26.0 L/min

[58]. Las características eléctricas del proceso de soldadura GMAW STT son las siguientes:

La polaridad es directa con un amperaje de 90-110 amperios en el primer pase. Para los siguientes pases el amperaje será de 130-160 amperios.

La velocidad de alimentación del alambre será de 130 in/min en el primer pase de soldadura. Para los siguientes pases, la velocidad será de 210 in/min.

El rango de voltaje será de 18-20 voltios en el primer pase de soldadura. Para los siguientes pases el voltaje será de 23,5-24.5 voltios.

La velocidad de avance en el primer pase de soldadura será de 20-25 cm/min. Para los siguientes pases la velocidad será de 15-20 cm/min.

[59]. Para el primer pase se aplica el modo de transferencia por tensión superficial, para los siguientes se aplica corriente pulsante

[60]. El ítem QW-409.1 del código ASME sección IX determina el calor de entrada por el proceso soldadura:

$$Heat\ Input = \frac{Voltage * Amperage * 60}{Travel\ Speed\ [in/min(mm/min)]} * eficiencia\ de\ la\ soldadura \left[\frac{J}{in} \left(\frac{J}{mm} \right) \right] \quad (7)$$

La eficiencia para el proceso de soldadura GMAW STT es 0.9

$$Q = \frac{110\ A * 20\ V * 60}{150\ (mm/min)} * 0.9 \left[\frac{J}{mm} \right]$$

$$Q = 792\ J/mm$$

Este resultado se calculó con los valores máximos de voltaje y amperaje del primer pase de raíz que por medio de varias pruebas se logró determinar para una buena penetración

Rango de calor entrada entre pases de soldadura 792- 1411,2 J/mm

Figura 37. Selección de voltaje y amperaje en equipo para soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

[61]. No aplica (sólo para GTAW)

[62]. El modo de transferencia del material de aporte es globular y arco pulsante

[63]. Otros

[64]. Los cordones de soldadura considerados son rectos y oscilados

[65]. El tamaño de la boquilla es de $\frac{3}{4}$ in (19.05 mm)

[66]. Si se aplica la limpieza de entre pases de soldadura

[67]. El método de limpieza del pase de raíz es cepillado y esmerilado

[68]. La oscilación máxima es de $\frac{3}{4}$ in (19.05 mm)

[69]. La distancia de tubo de contacto a pieza de trabajo es de 25 mm

[70]. Por cada lado se puede dar pase múltiple

[71]. Al ser el proceso GMAW el material de aporte que es el cable ER80S-Ni1 es uno solo

[72]. No se aplica debido a que no se utiliza electrodo en este proceso

[73]. No se aplica el granallado

[74]. Otros

4.3.2 *Elaboración del registro de calificación del procedimiento de soldadura (PQR) según el código ASME sección IX.* El registro de calificación de procedimientos permitirá puntualizar la información primaria y secundaria recabada, este proceso se realizó con base en el WPS y se detalló los rangos de calificación y se también se anexo los ensayos mecánicos realizados a la muestra, ya sea tensión, doblado, impacto o dureza. En el PQR se detalló además el nombre del soldador, su estampa y su número de identificación, el Inspector Responsable de realizo las pruebas con su respectiva firma, también es el responsable de diseñar el WPS, la fecha y el código bajo el cual se calificó el procedimiento.

[1] Nombre de la compañía o industria donde se utilizará el WPS (Industria Acero de los Andes)

[2]. Denominación dada al PQR para identificarlo con respecto a otros procedimientos de soldadura utilizados en la misma industria.


[3]. Fecha de realización del reporte de calificación del procedimiento (PQR).

[4]. Denominación dada a la especificación del procedimiento de soldadura al cual está vinculado el PQR.

[5]. Se coloca el proceso de soldadura a calificarse, en este caso el proceso de soldadura es GMAW STT

[6]. Tipo de aplicación de la soldadura: semi-automática

Figura 38. Elaboración de PQR para el proceso de soldadura GMAW STT parte I



FORM QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)
 (See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)
Record Actual Variables Used to Weld Test Coupon

Organization Name: _____ [1]

Procedure Qualification Record No. _____ [2] Date: _____ [3]

WPS No. _____ [4]

Welding Process(es): _____ [5]

Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic): _____ [6]

Joints (QW-402)

[7]

Groove Design of Test Coupon
(For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

<p>Base Metals (QW-403)</p> <p>Material Spec. _____ [8]</p> <p>Type/Grade, or UNS Number _____ [9]</p> <p>P-No. _____ [10] Group No. _____ [11] to P-No. _____ [12] Group No. _____ [13]</p> <p>Thickness of Test Coupon: _____ [14]</p> <p>Diameter of Test Coupon: _____ [15]</p> <p>Maximum Pass Thickness: _____ [16]</p> <p>Other: _____ [17]</p>	<p>Postweld heat treatment (QW-407)</p> <p>Temperature: _____ [18]</p> <p>Time: _____ [19]</p> <p>Other: _____ [20]</p>																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">1</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SFA Specification: _____ [22]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS Classification : _____ [23]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal F-No. _____ [24]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Analysis A-No. _____ [25]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metal: _____ [26]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form: _____ [27]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal: _____ [28]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode Flux Classification : _____ [29]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type: _____ [30]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name: _____ [31]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Thickness: _____ [32]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other: _____ [33]</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		1	2	SFA Specification: _____ [22]			AWS Classification : _____ [23]			Filler Metal F-No. _____ [24]			Weld Metal Analysis A-No. _____ [25]			Size of Filler Metal: _____ [26]			Filler Metal Product Form: _____ [27]			Supplemental Filler Metal: _____ [28]			Electrode Flux Classification : _____ [29]			Flux Type: _____ [30]			Flux Trade Name: _____ [31]			Weld Metal Thickness: _____ [32]			Other: _____ [33]			<p>Gas (QW-408) [21]</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding: _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trailing: _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Backing: _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other: _____</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition		Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding: _____			Trailing: _____			Backing: _____			Other: _____		
	1	2																																																								
SFA Specification: _____ [22]																																																										
AWS Classification : _____ [23]																																																										
Filler Metal F-No. _____ [24]																																																										
Weld Metal Analysis A-No. _____ [25]																																																										
Size of Filler Metal: _____ [26]																																																										
Filler Metal Product Form: _____ [27]																																																										
Supplemental Filler Metal: _____ [28]																																																										
Electrode Flux Classification : _____ [29]																																																										
Flux Type: _____ [30]																																																										
Flux Trade Name: _____ [31]																																																										
Weld Metal Thickness: _____ [32]																																																										
Other: _____ [33]																																																										
	Percent Composition																																																									
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																																																							
Shielding: _____																																																										
Trailing: _____																																																										
Backing: _____																																																										
Other: _____																																																										
<p>Position (QW-405)</p> <p>Position of Groove: _____ [42]</p> <p>Weld Progression (Uphill, Downhill): _____ [43]</p> <p>Other: _____ [44]</p>	<p>Electrical Characteristics (QW-409)</p> <p>Current: _____ [34]</p> <p>Polarity: _____ [35]</p> <p>Amps. _____ [36] Volts. _____ [37]</p> <p>Tungsten Electrode Size: _____ [38]</p> <p>Mode of Metal Transfer for GMAW(FCAW): _____ [39]</p> <p>Heat Input: _____ [40]</p> <p>Other: _____ [41]</p>																																																									
<p>Preheat (QW-406)</p> <p>Preheat Temperature: _____ [45]</p> <p>Interpass Temperature: _____ [46]</p> <p>Other: _____ [47]</p>	<p>Technique (QW-410)</p> <p>Travel Speed: _____ [48]</p> <p>String or Weave Bead: _____ [49]</p> <p>Oscillation: _____ [50]</p> <p>Multipass or Single Pass (Per Side): _____ [51]</p> <p>Single or Multiple Electrodes: _____ [52]</p> <p>Other : _____ [53]</p>																																																									

Fuente: Formato BPVC sección IX para WPS (ASME, 2013)

- [7]. Gráfico de especificación de las juntas y biselado: en V
- [8]. Se coloca los tipos de material utilizado como metal base: acero A537 a acero A537
- [9]. Para el metal base utilizado el número UNS es K12437 según la tabla QW/QB 422. El grado del Acero A537 es CL1
- [10]. El número P correspondiente al WPS según el código ASME sección IX tabla QW/QB 422: P-1
- [11]. El número de grupo correspondiente al WPS según el código ASME sección IX tabla QW/QB 422
- [12]. El número P correspondiente al WPS según el código ASME sección IX tabla QW/QB 422: P-1
- [13]. El número de grupo correspondiente al WPS según el código ASME sección IX tabla QW/QB 422 es el 1&2
- [14]. El espesor del cupón de prueba es de 1,5 in (38 mm)
- [15]. No aplica. [17]. y [20] Otros
- [16]. El máximo espesor de pase es menor de ½ in (13 mm)
- [18]. El rango de temperatura para el tratamiento térmico de post-soldadura es de 1100 °F \approx 593,33 °C.
- [19]. El rango de tiempo es de 1 hora por pulgada hasta 2 in más 15 min. por cada pulgada por encima de 2 in de espesor.
- [21]. Los porcentajes de composición del gas protector a utilizarse es 20% de CO₂ y 80% de argón (Ar). El flujo es de 40-50 CFH (cubic foot per hour) \approx 21.2-26.0 L/min
- [22]. Especificación para aceros de bajo carbono es la SFA 5.28 según la tabla QW-432

- [23]. La clasificación del metal de aporte según la AWS SF 5.28 es ER80S-Ni1
- [24]. El número F según la especificación SFA 5.28 para el acero de bajo carbono A537 CL1 es el número 6
- [25]. El número A asignado para aceros dulces (de bajo carbono) según la tabla QW-422 del código ASME sección IX será el 1
- [26]. El diámetro del material de aporte ER80S-Ni1 es de 0.045 in (1,1 mm). Sus características se encuentran en el Anexo H
- [27]. El material de aporte es cable sin revestimiento (WIRE)
- [28]. No aplica. En este procedimiento solo se utiliza un metal de aporte, ningún otro suplementario
- [29]; [30]; [31]; [33] y [38] No aplica. No se utiliza flux
- [32]. El espesor de pase de soldadura es ½ in (13 mm)
- [34]. La corriente aplicada es DC (continua)
- [35]. La polaridad es inversa
- [36]. La polaridad es directa con un amperaje de 90-110 en el primer pase. Para los siguientes pases el amperaje será de 130-160 amperios.
- [37]. El rango de voltaje será de 18-20 en el primer pase de soldadura. Para los siguientes pases el voltaje será de 23,5-24.5 voltios.
- [39]. El modo de transferencia del material de aporte es globular y arco pulsante. La transferencia por tensión superficial (STT) es la combinación de las dos formas mencionadas en cortocircuito controlado.
- [40]. El calor de entrada está en el rango 792-1411,2 J/mm

[41]; [44]; [53]. y [47]. Otros

[42]. Posición 1G. Las juntas a soldarse se encuentran en un plano horizontal con el metal de soldadura depositado desde arriba. (QW-461.3)

[43]. Progresión de soldadura: bajando (downhill)

[45]. La temperatura mínima de precalentamiento es de 15 °C para láminas de espesor menor de 1 in (25,4 mm) y 120 °C para espesores mayores a 1 in (25,4 mm) según el código ASME sección IX ítem QW-406

[46]. Temperatura entre pases: 120 °C

[48]. La velocidad de avance en el primer pase de soldadura será de 20-25 cm/min. Para los siguientes pases la velocidad será de 15-20 cm/min.

[49]. Los cordones de soldadura considerados son rectos y oscilados

[50]. Máximo $\frac{3}{4}$ in (1,9 cm)

[51]. Pase múltiple

[52]. El material de aporte es un solo cable.

[54]. Denominación dada al PQR para identificarlo con respecto a otros procedimientos de soldadura utilizados en la misma industria.

[55]. Se adjunta los resultados obtenidos del ensayo de tracción realizado en el primer objetivo

[56]. Se adjunta los resultados obtenidos del ensayo de doblado realizado en el primer objetivo

[57]. Según el código ASME QW-170 el ensayo de impacto se deberá realizar si alguna de las secciones del código se requiere. En este caso no se aplica.

[58]. Comentarios

[59]; [60]; [62] y [65]. No aplica

[61]. En caso de algún otro ensayo se debe adjuntar los resultados obtenidos. No se aplica

[63]. Otros

[64]. Nombre del soldador que realizó la soldadura de las probetas de ensayos.

[66]. Número designado al soldador de acuerdo al WPQ calificado: WT-06

[67]. Organización que certifica la calificación del soldador (WPQ)

[68]. Número de ensayo del laboratorio

[69]. Empresa en la que se va a aplicar el PQR

[70]. Fecha de certificación


[71]. Persona que certifica el PQR

Estos pasos se aplicó luego de la realización de la pre-calificación del procedimiento de soldadura con el proceso GMAW STT para el pase de raíz en las uniones soldadas de los cilindros a presión.

Después de varias pruebas realizadas a diferentes probetas de acero A 537 Cl 1 de 38 mm de espesor, tomando en cuenta las variables de esta soldadura, se obtuvo la información suficiente para que el soldador calificado y los inspectores puedan seguir con el proceso de producción y obtener una soldadura que cumpla con los requerimientos de diseño y calidad.

Con el WPS y PQR obtenidos según los requerimientos del código ASME 2013 sección IX se hizo las pruebas finales en probetas y se prosiguió a la calificación del procedimiento de soldadura.

Figura 40. WPS con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte I



FORM QW- 482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Organization Name: Industria Acero de los Andes S.A.

Welding Procedure Specification No. IAA-MSF-C1-04-14-HT

Revision No. 0 **Date:** 22/04/2015

Welding Process(es): GMAW STT

By: Vicente Guillermo Zurita Vintimilla

Date: 22/04/2015

Supporting PQR No.(s): IAA-C1-04

Type(s): Semi - automatic
(Automatic, manual or semi-automatic)

Joints (QW-402)

Joint Design: SINGLE V GROOVE

Root Spacing: 1/8" ± 1/16"

Backing: Yes _____ No X

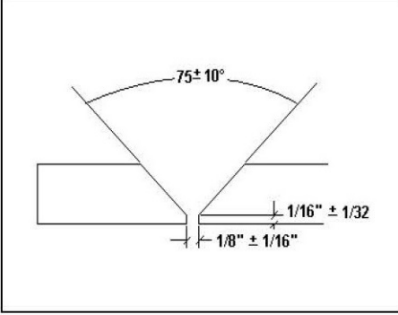
Backing Material (Type) Weld metal or Base metal
(Refer to both backing and retainers)

Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.

Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)

Details



Retainers: Not used

***Base Metals (QW-403)**

P-No. 1 Group No. 1&2 to P-No. 1 Group No. 1&2

OR

Specification and type/grade or UNS Number A 537 Class 1 / K12437
 to Specification and type/grade or UNS Number A 537 Class 1 / K12437

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. 0,18%C-1,42Mn-0,23Si
 to Chem. Analysis and Mech. Prop. 0,18%C-1,42Mn-0,23Si

Thickness Range:
 Base Metal: Groove: 3/16"(4,8mm) to 1"(25mm) Fillet: All Thickness

Maximum Pass Thickness ≤ 1/2in. (13mm) (Yes) X (No) _____


Other: _____

*Filler Metals (QW-404)		
	<u>GMAW STT</u>	
Spec. No. (SFA)	<u>SFA 5.28</u>	
AWS No. (Class)	<u>ER80S-Ni1</u>	
F-No.	<u>6</u>	
A-No.	<u>1</u>	
Size of Filler Metals	<u>0,045" (1,1mm)</u>	
Filler Metal Product Form	<u>Wire</u>	
Supplemental Filler Metal	<u>N/A</u>	
Weld Metal		
Deposited Thickness:		
Groove	<u>3/16"(4,8mm) - 1"(25,4mm)</u>	
Fillet	<u>All Thickness</u>	
Electrode-Flux (Class)	<u>N/A</u>	
Flux Type	<u>N/A</u>	
Flux Trade Name	<u>N/A</u>	
Consumable Insert	<u>N/A</u>	
Other		

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

Fuente: Autor

Figura 41. WPS con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte II



FORM QW-482 (Back)

WPS No. IAA-MSF-C1-04-14-HT Rev. 0

Positions (QW-406)

Position(s) of Groove: 1G

Welding Progression: Up _____ Down X

Position(s) of Fillet: All

Other: _____

Preheat (QW-406)

Preheat Temperature, Minimum: 15°C for t < 1", 120°C for t > 1"

Interpass Temperature, Maximum: 200°F

Preheat Maintenance: N/A

Other: ----
(Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)

Postweld Heat Treatment (QW-407)

Temperature Range: 1100°F (Holding temperature)

Time Range: 1 Hour per inch up to 2" + 15min. Per inch above 2" Thk.

Other: ----

Gas (QW-408)

Shielding	Percent Composition (Mixture)		Flow Rate 40-50 CFH
	Gas(es) CO ₂ /MIG 20	100%/ Ar 80% - CO ₂ 20%	
Trailing	N/A	N/A	N/A
Backing	N/A	N/A	N/A
Other	N/A	N/A	N/A

Electrical Characteristics (QW-409)

Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range) cm/min	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)
		Classification	Diameter							
1	GMAW STT	ER-80SNi1	1,1mm	DC+	90-110	130 in/min	792 J/mm	18 - 20	20 - 25	Transfer mode: Globular root (STT-CO ₂) 1G Pulsing arc filler and cap (MIX-CO ₂ -Ar MIG 20) 1G
2	GMAW STT	ER-80SNi1	1,1mm	DC+	130-160	210 in/min	1411,2 J/mm	23,5 - 24,5	15 - 20	
n	GMAW STT	ER-80SNi1	1,1mm	DC+	130-160	210 in/min	1411,2 J/mm	23,5 - 24,5	15 - 20	
n+1	GMAW STT	ER-80SNi1	1,1mm	DC+	130-160	210 in/min	1411,2 J/mm	23,5 - 24,5	15 - 20	

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current: Yes Heat Input (max.) 1411,2 J/mm

Tungsten Electrode Size and Type: N/A
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW(FCAW) Globular - Pulsing arc
(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other: ----

Technique (QW-410)

String or Weave Bead: String and Weaved

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size: 3/4"

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.): Grinding and Brushing

Method of Back Gouging: Arc Air or Grinding

Oscillation: N/A

Contact Tube to Work Distance: 18-25 mm

Multiple or Single Pass (Per Side): Multiple

Multiple or Single Electrodes: Single


Electrode Spacing: N/A

Peening: N/A

Other: ----

Fuente: Autor

Figura 42. PQR con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte I



FORM QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)
 (See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)
 Record Actual Variables Used to Weld Test Coupon

Organization Name: Industria Acero de los Andes

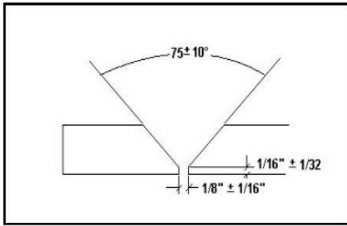
Procedure Qualification Record No. IAA-C1-04 Date: 22/04/2015

WPS No. IAA-MSF-C1-04-14-HT

Welding Process(es): GMAW STT

Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic): SEMI-AUTOMATIC

Joints (QW-402)



Groove Design of Test Coupon
 (For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

<p>Base Metals (QW-403)</p> <p>Material Spec. <u>A 537 CLASS 1 to A 537 CLASS 1</u></p> <p>Type/Grade, or UNS Number <u>K12437 to K12437</u></p> <p>P-No. <u>1</u> Group No. <u>1,2</u> to P-No. <u>1</u> Group No. <u>1,2</u></p> <p>Thickness of Test Coupon: <u>1.5" (38 mm)</u></p> <p>Diameter of Test Coupon: <u>N.A</u></p> <p>Maximun Pass Thickness: <u><1/2" (13 mm)</u></p> <p>Other: _____</p>	<p>Postweld heat treatment (QW-407)</p> <p>Temperature: <u>1100 F min (holding temperature) (*)</u></p> <p><small>1 Hour per inch up to 2" + 15 mm per inch above 2" THK (*) below the lower transformation temperature</small></p> <p>Time: _____</p> <p>Other: _____</p>
--	--


<p>Filler Metals (QW-404)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%; text-align: center;"><u>GMAW STT</u></td> <td style="width: 40%; text-align: center;"><u>2</u></td> </tr> <tr> <td>SFA Specification:</td> <td style="text-align: center;"><u>5,28</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS Classification :</td> <td style="text-align: center;"><u>ER80S-Ni1</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal F-No.</td> <td style="text-align: center;"><u>6</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Analysis A-No.</td> <td style="text-align: center;"><u>1</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metal:</td> <td style="text-align: center;"><u>0.045"</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form:</td> <td style="text-align: center;"><u>WIRE</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal:</td> <td style="text-align: center;"><u>None</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode Flux Classification :</td> <td style="text-align: center;"><u>NA</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type:</td> <td style="text-align: center;"><u>NA</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name:</td> <td style="text-align: center;"><u>NA</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Thickness:</td> <td style="text-align: center;"><u>13 mm</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other:</td> <td style="text-align: center;"><u>None</u></td> <td></td> </tr> </table>		<u>GMAW STT</u>	<u>2</u>	SFA Specification:	<u>5,28</u>		AWS Classification :	<u>ER80S-Ni1</u>		Filler Metal F-No.	<u>6</u>		Weld Metal Analysis A-No.	<u>1</u>		Size of Filler Metal:	<u>0.045"</u>		Filler Metal Product Form:	<u>WIRE</u>		Supplemental Filler Metal:	<u>None</u>		Electrode Flux Classification :	<u>NA</u>		Flux Type:	<u>NA</u>		Flux Trade Name:	<u>NA</u>		Weld Metal Thickness:	<u>13 mm</u>		Other:	<u>None</u>		<p>Gas (QW-408)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%; text-align: center;">Percent Composition (Mixture)</th> <th style="width: 40%; text-align: center;">Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding: <u>CO2/MIG20</u></td> <td style="text-align: center;"><small>CO2: 100% Ar 80% CO2 20%</small></td> <td style="text-align: center;"><u>40-50 CFH</u></td> </tr> <tr> <td>Trailing :</td> <td style="text-align: center;"><u>Not used</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Not used</u></td> </tr> <tr> <td>Backing:</td> <td style="text-align: center;"><u>Not used</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Not used</u></td> </tr> <tr> <td>Other:</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition (Mixture)	Flow Rate	Shielding: <u>CO2/MIG20</u>	<small>CO2: 100% Ar 80% CO2 20%</small>	<u>40-50 CFH</u>	Trailing :	<u>Not used</u>	<u>Not used</u>	Backing:	<u>Not used</u>	<u>Not used</u>	Other:	_____	_____
	<u>GMAW STT</u>	<u>2</u>																																																					
SFA Specification:	<u>5,28</u>																																																						
AWS Classification :	<u>ER80S-Ni1</u>																																																						
Filler Metal F-No.	<u>6</u>																																																						
Weld Metal Analysis A-No.	<u>1</u>																																																						
Size of Filler Metal:	<u>0.045"</u>																																																						
Filler Metal Product Form:	<u>WIRE</u>																																																						
Supplemental Filler Metal:	<u>None</u>																																																						
Electrode Flux Classification :	<u>NA</u>																																																						
Flux Type:	<u>NA</u>																																																						
Flux Trade Name:	<u>NA</u>																																																						
Weld Metal Thickness:	<u>13 mm</u>																																																						
Other:	<u>None</u>																																																						
	Percent Composition (Mixture)	Flow Rate																																																					
Shielding: <u>CO2/MIG20</u>	<small>CO2: 100% Ar 80% CO2 20%</small>	<u>40-50 CFH</u>																																																					
Trailing :	<u>Not used</u>	<u>Not used</u>																																																					
Backing:	<u>Not used</u>	<u>Not used</u>																																																					
Other:	_____	_____																																																					

<p>Position (QW-405)</p> <p>Position of Groove: <u>1G</u></p> <p>Weld Progression (Uphill, Downhill): <u>N.A</u></p> <p>Other: <u>None</u></p>	<p>Electrical Characteristics (QW-409)</p> <p>Current: _____ DC +</p> <p>Polarity: _____ Inverso</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;">1 GMAW STT 90-110</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">Volts.</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">1 GMAW STT 18-20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2 GMAW STT 130-150</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2 GMAW STT 23.5-24.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3 GMAW STT 130-150</td> <td></td> <td style="text-align: center;">3 GMAW STT 23.5-24.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4 GMAW STT 130-169</td> <td></td> <td style="text-align: center;">4 GMAW STT 23.5-24.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5 GMAW STT 130-160</td> <td></td> <td style="text-align: center;">5 GMAW STT 23.5-24.5</td> </tr> </table> <p>Tungsten Electrode Size: <u>N.A</u></p> <p>Mode of Metal Transfer for GMAW(FCAW): <small>Globular STT (*) (*) Pulsing Arc (Pulse Ar Mix)</small></p> <p>Heat Input: <u>792-1411,2 J/mm</u></p> <p>Other: _____</p>	1 GMAW STT 90-110	Volts.	1 GMAW STT 18-20	2 GMAW STT 130-150		2 GMAW STT 23.5-24.5	3 GMAW STT 130-150		3 GMAW STT 23.5-24.5	4 GMAW STT 130-169		4 GMAW STT 23.5-24.5	5 GMAW STT 130-160		5 GMAW STT 23.5-24.5
1 GMAW STT 90-110	Volts.	1 GMAW STT 18-20														
2 GMAW STT 130-150		2 GMAW STT 23.5-24.5														
3 GMAW STT 130-150		3 GMAW STT 23.5-24.5														
4 GMAW STT 130-169		4 GMAW STT 23.5-24.5														
5 GMAW STT 130-160		5 GMAW STT 23.5-24.5														

<p>Preheat (QW-406)</p> <p>Preheat Temperature: <u>None</u></p> <p>Interpass Temperature: <u>N.A</u></p> <p>Other: _____</p>	<p>Technique (QW-410)</p> <p>Travel Speed: <u>15-25 cm/min</u></p> <p>String or Weave Bead: <u>String and Weave</u></p> <p>Oscillation: <u>3/4" maximun</u></p> <p>Multipass or Single Pass (Per Side): <u>Multiple</u></p> <p>Single or Multiple Electrodes: <u>Single</u></p> <p>Other: _____</p>
---	--

Fuente: Autor

Figura 43. PQR con datos para el proceso de soldadura GMAW STT parte II



FORM QW-483 (Back)

PQR No. IAA-C1-04

Tensile Test (QW-150)

Specimen No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Area	Ultimate Total Load (lbf)/(N)	Ultimate Unit Stress (KSI)/(MPa)	Type of Failure and Location
T1	19,17	12,9		28900/128,554	75,6/521,1	JUNTA SOLDADA
T2	18,99	12,7		29500/131,222	73,8/543,2	JUNTA SOLDADA

Guided-Bend Tests (QW-160)

Type and Figure No.	Result
DL1 SIDE BEND	ACCEPTED
DL2 SIDE BEND	ACCEPTED
DL3 SIDE BEND	ACCEPTED
DL4 SIDE BEND	ACCEPTED

Toughness Tests (QW-170)

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	Impact Values			Drop Weight Break (Y/N)	
				ft-lb or J	% Shear	Mils (in.) or mm		
1	1/2 soldadura	55x10	-20	125	60	---	---	---
2	1/2 soldadura	55x10	-20	90	60	---	---	---
3	1/2 soldadura	55x10	-20	118	60	---	---	---
4	1/2 soldadura	55x10	-20	132	60	---	---	---
5	1/2 soldadura	55x10	-20	118	60	---	---	---

Comments: _____

Fillet-Weld Test (QW-180)

Result - Satisfactory: Yes x No _____

Penetration into Parent Metal: Yes x No _____

Macro - Results: _____

Other Tests

Type of Test: _____

Deposit Analysis: _____

Other: _____

Welder's Name: GEOVANY SIGCHA Clock No. --- Stamp No. WT-06

Tests Conducted by: ILPM ENGINEERING CIA LTDA Laboratory Test No. ILMPM 2015-029-CVN

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Organization: INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES

Date: 22-abril-2015 Certified by: PAULO LONDO

(Detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

Fuente: Autor

4.4 Realización del análisis metalográfico y caracterización de la zona afectada térmicamente de las juntas soldadas con el proceso GMAW STT

4.4.1 Aplicación de la norma ASTM E3 para la preparación de muestras metalográficas utilizando probetas de las juntas soldadas con el proceso GMAW STT.

Las muestras se prepararon metalográficamente en el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH siguiendo el método de pulido mecánico convencional de acuerdo con el estándar ASTM E3 2004. En la primera etapa de preparación superficial se hizo un desbaste grueso, utilizando lija de manera uniforme y así sucesivamente disminuyendo el tamaño de grano (número de papel de lija) hasta llegar a la lija de menor tamaño de grano (50-2500). El pulido final se realizó con pasta de diamante de 1 μm y algodón hasta dejar el área de a inspeccionar sin rayas que dificulten la observación en el microscopio óptico.

Figura 44. Preparación de superficies en la porta lija de las probetas GMAW STT y GMAW STT SAW TANDEM



Fuente: Autor

Figura 45. Aplicación de la pasta de diamante en las probetas GMAW STT y GMAW STT SAW TANDEM



Fuente: Autor

Para realizar el análisis metalográfico se utilizó dos tipos de probetas para determinar la variación en su morfología y su microestructura de la ZAT:

La primera probeta que está constituida por las placas soldadas de acero A537 Cl 1 solamente con el pase de raíz aplicando el proceso de soldadura GMAW STT como se ve en la fig. 46

Figura 46. Probeta 1 con corte transversal utilizando el proceso de soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

La segunda probeta está constituida por las placas soldadas de acero A537 Cl 1 con el pase de raíz aplicando el proceso de soldadura GMAW STT y el relleno total de las placas de 38 mm de espesor con la soldadura SAW TANDEM como se observa en la fig.47

Figura 47. Probeta 2 con corte transversal utilizando el proceso de soldadura GMAW STT y SAW TANDEM



Fuente: Autor

Se contempló dentro del análisis metalográfico la segunda probeta para observar si existen diferencias en el comportamiento micro-estructural después de ser aplicado los cordones de soldadura con el proceso de soldadura SAW TANDEM al pase de raíz con el proceso GMAW STT.

4.4.2 *Aplicación de la norma ASTM E 407 para la realización del micro-ataque químico en las probetas de las juntas soldadas con el proceso GMAW STT.* Para la observación de la microestructura formada en la zona tratada térmicamente se realizó el ataque químico de las muestras con la sustancia Nital 2% durante un periodo de tiempo corto (10 segundos) de acuerdo a las especificaciones en la norma. Luego se lavó la

probeta con alcohol y agua. El secado de la superficie se realizó con el compresor y la limpieza final se utilizó algodón seco.

Figura 48. Ataque químico de las probetas con Nital al 2%



Fuente: Autor

Figura 49. Limpieza y secado de las probetas con compresor



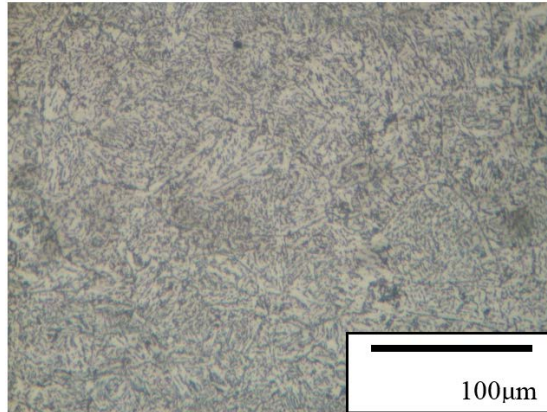
Fuente: Autor

4.4.3 Realizar la caracterización de la ZAT de la soldadura GMAW STT. Por medio de la observación microscópica se determinó las microestructuras formadas en la soldadura de las muestras tomadas, se procedió a la extracción de fotos como evidencia de la observación realizada.

En la fig. 50 se muestra la microestructura observada del material acero A537 Cl 1 la cual está compuesta de granos de ferrita acicular, poligonal y pequeñas regiones de perlita en los bordes de límite de grano y esquinas.

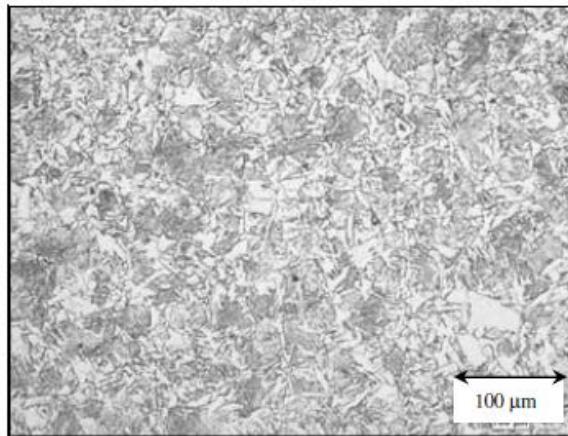
Para determinar la microestructura del material base se realizó la comparación con imágenes tomadas del libro Metal Handbook sección IX. La microestructura del acero A537 Cl 1 es similar a una muestra de acero de bajo carbono con incidencias de ferrita acicular como se observa en la fig.51.

Figura 50. Microestructura del metal base A537 Cl 1



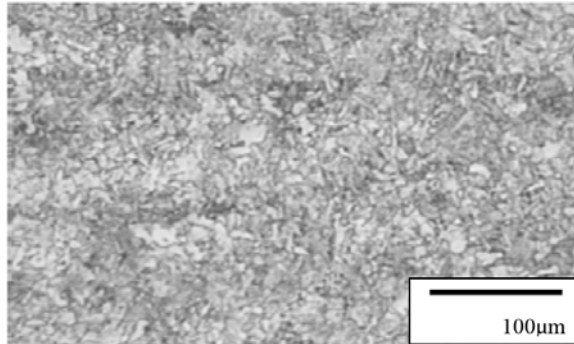
Fuente: Autor

Figura 51. Microestructura de la Ferrita acicular



Fuente: Metal Handbook pag 2542 (ASM, 2004)

Figura 52. Microestructura metal base A537 Cl 1

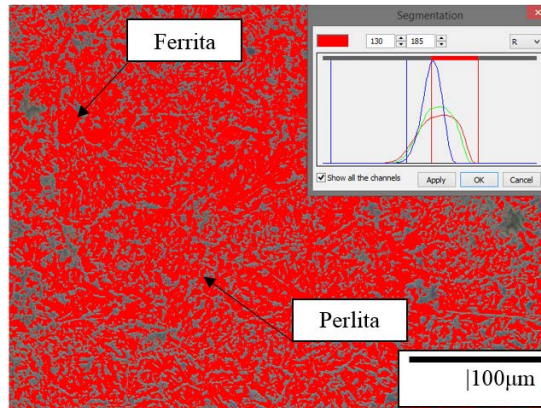


Fuente. Aplicación del código AASHTO/AWS D 1.5 (ANDRADE, 2002).

4.4.4 *Determinación del porcentaje de ferrita y perlita.* En la foto de la microestructura del pase de raíz GMAW STT con una ampliación de 100x se realizó el análisis del porcentaje de perlita y ferrita con el software ScopePhoto y el porcentaje de carbono con la regla de la palanca. En la imagen del corte transversal de la muestra se

observó la ferrita (área roja) y la perlita (espacios oscuros) presentes en la microestructura del acero A537 Cl 1 normalizado.

Figura 53. Aplicación del programa ScopePhoto para determinación de ferrita y perlita en la microestructura acero A537 Cl 1



Fuente: Autor

El resultado que se obtuvo con el programa son los siguientes: 130 de un total de 185 de segmentación de color rojo lo cual se procede a realizar una regla de tres para el porcentaje de ferrita:

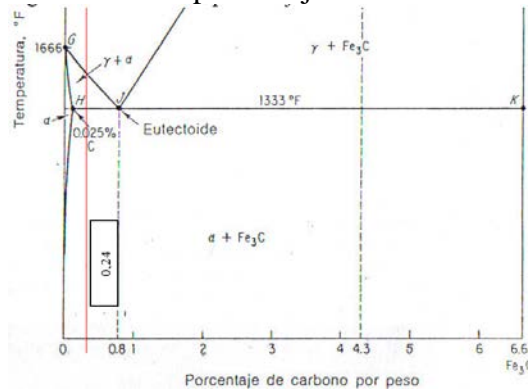
$$\begin{array}{rcl} 185 & - & 100\% \\ 130 & - & x \end{array} \qquad \begin{array}{l} X = 70,27\% \text{ de ferrita} \\ (100\% - X) = 29.73\% \text{ de perlita} \end{array}$$

Lo cual tenemos $P = 29,73\%$ y $\alpha = 70,27\%$

De esta manera obtenemos el porcentaje de perlita y ferrita.

Para determinar el porcentaje de carbono existente en la muestra realizamos el cálculo mediante la regla de la palanca:

Figura 54. Determinación del porcentaje de Carbono en Acero A537 Cl 1



Fuente: Autor

$$P = ((\%C - 0.008)/(0.8 - 0.008)) * 100$$

$$C = ((\%P (0.8 - 0.008))/100) + 0.008$$

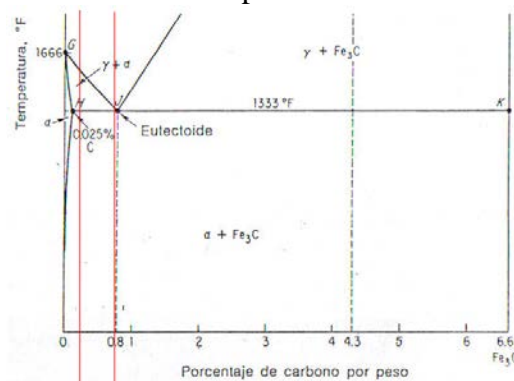
$$C = ((29,73\% (0.8 - 0.008))/100) + 0.008$$

$$C = 0.2435\%$$

Mediante la regla de la palanca se determinó un porcentaje de carbono aproximado de $\%C = 0,24$ lo cual corresponde a un acero ASTM A 537 CL 1

4.4.4.1 Verificación del punto eutectoide mediante la regla de la palanca

Figura 55. Determinación del punto eutectoide Acero A537 Cl 1



Fuente: Autor

$$\%P = ((0.24 - 0.008) / (\%eutectoide - 0.008))$$

$$\% \text{ eutectoide} = ((0.24 - 0.008) / (p)) + 0.008$$

$$\% \text{ eutectoide} = ((0.24 - 0.008) / (0.2973)) + 0.008$$

$$\% \text{ eutectoide} = 0.7884$$

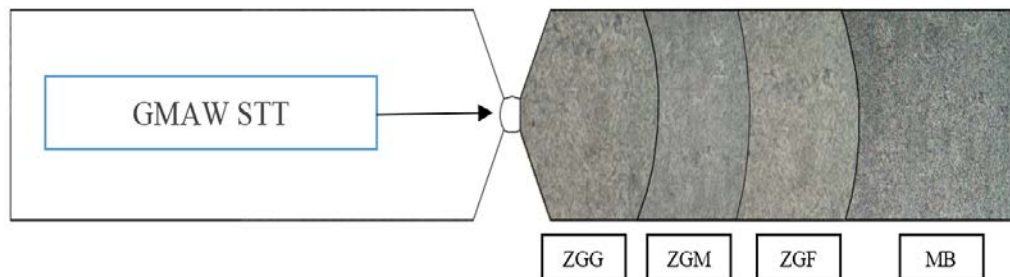
Con este método determinamos que el punto eutectoide se mueve aproximadamente $(0.8 - 0.7884) = 0.0116$ lo cual el acero A537 Cl 1 contiene tratamientos térmicos e impurezas en un porcentaje del 1,16%

Con estos datos obtenidos se tiene una referencia para determinar las regiones y microestructura que se presenta en la zona afectada térmicamente por el proceso de soldadura GMAW STT.

4.4.5 *Microestructura de la Zona Térmicamente Afectada de la soldadura GMAW STT.* La examinación microestructural de la ZAT del metal base de las juntas soldadas muestran distintas áreas que varían de forma considerable el tamaño de grano debido al

ciclo térmico experimentado por el proceso de soldadura. Se observó las dos muestras para encontrar variaciones causadas al aplicarse los procesos de soldadura. Para su identificación se establecieron las zonas correspondientes a la ZAT como se muestra en la fig. 56. Estas zonas son: zona de grano grueso (ZGG) localizada junto a la línea de fusión con un bajo nivel de inclusiones, la zona de grano mixto (ZGM) donde existe una distribución de granos gruesos como finos y de grano fino (ZGF) cuya granulación es similar a la del metal base.

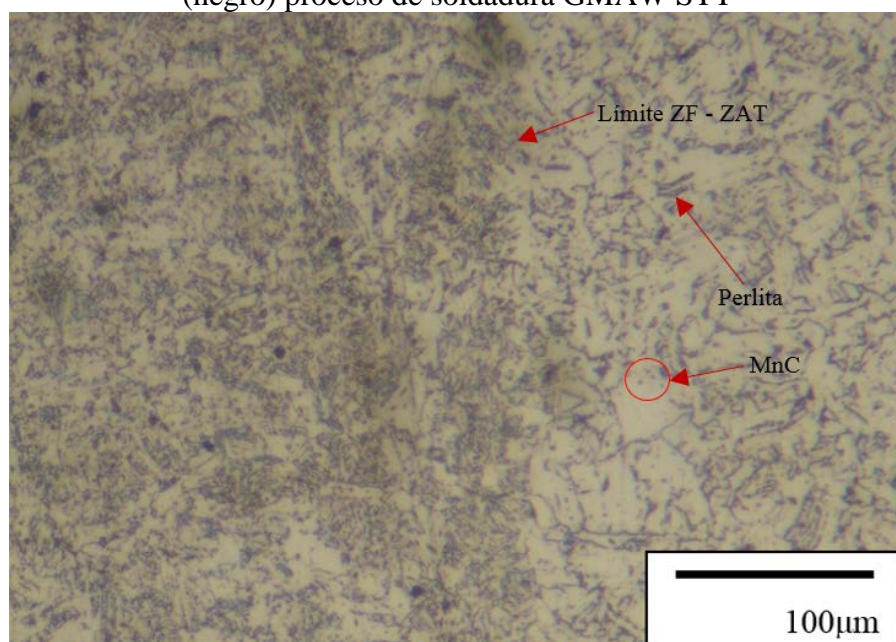
Figura 56. Esquema de la microestructura de la ZAT de la soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

En la ZGG (fig. 57) la ferrita poligonal es la predominante en la microestructura con un promedio de grano de 12 μm . Se observó notablemente que en la parte intermedia está el límite de la zona de fusión y la ZAT. En el lado derecho de la imagen se encontró carburos de Manganeso casi imperceptibles y regiones de perlita en los bordes de grano.

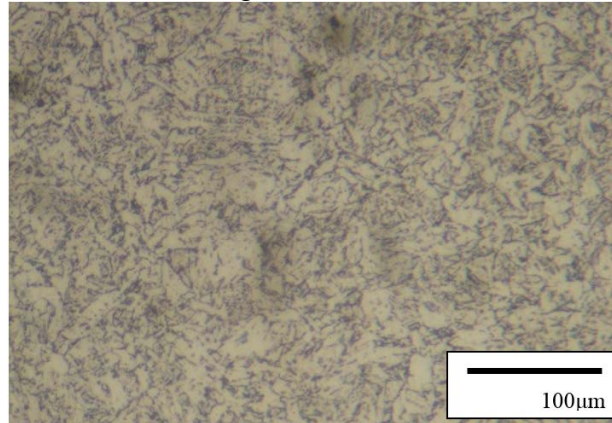
Figura 57. Micrografía de la zona de grano grueso (ZGG), ferrita (blanco) y perlita (negro) proceso de soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

A medida que aumenta la distancia desde el eje del pase de raíz, el tamaño de grano sufrió una reducción en la ZGM como se observó en la fig. 58 Se aprecia una distribución de granos gruesos y finos, con tamaños de 8 a 12 μm . La matriz ferrítico-perlítica también ponderó en esta zona con una microestructura poligonal definida.

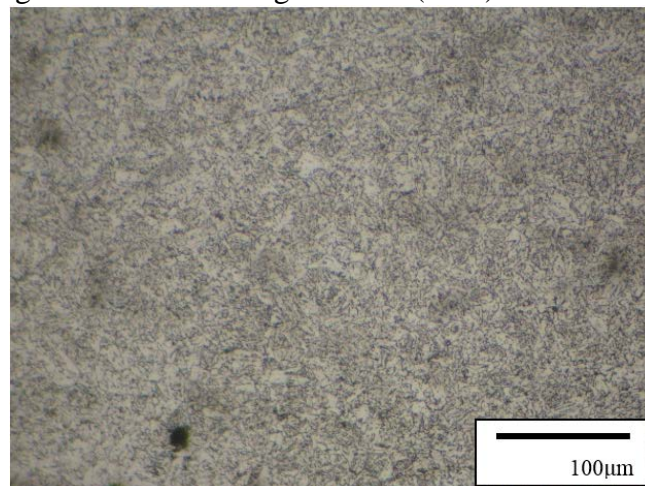
Figura 58. Micrografía de la zona de grano mixto (ZGM) de la soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Finalmente la ZGF representada por la fig. 59 presenta los granos de menor tamaño casi similar a la microestructura del metal base (9 μm).

Figura 59. Micrografía de la zona de grano fino (ZGF) de la soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

4.5 Microestructura de la Zona Térmicamente Afectada de la soldadura GMAW STT más SAW

En el caso de la muestra aplicada con los dos procesos de soldadura se observó en el microscopio óptico que la distancia de la zona afectada térmicamente es mayor en relación a la primera muestra realizada con la soldadura de pase de raíz GMAW STT. La

transferencia de calor por efecto del material de aporte agregado del proceso de soldadura SAW expande los intervalos de la ZAT, así como también los múltiples cordones de soldadura de relleno y la velocidad de pase son variables que han condicionado la longitud de esta zona.

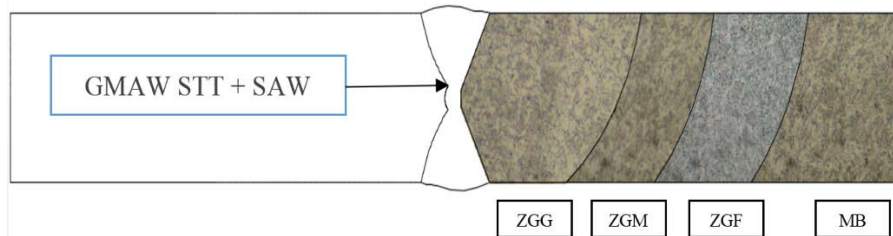
Sin embargo se puede notar que la microestructura en esta muestra también predomina la perlita en los bordes de grano y la ferrita es acicular por la morfología que presenta luego de haberse generado la transformación sobre las inclusiones presentes en el grano columnar grande de austenita.

Figura 60. Muestra de soldadura con pase de raíz GMAW STT + SAW



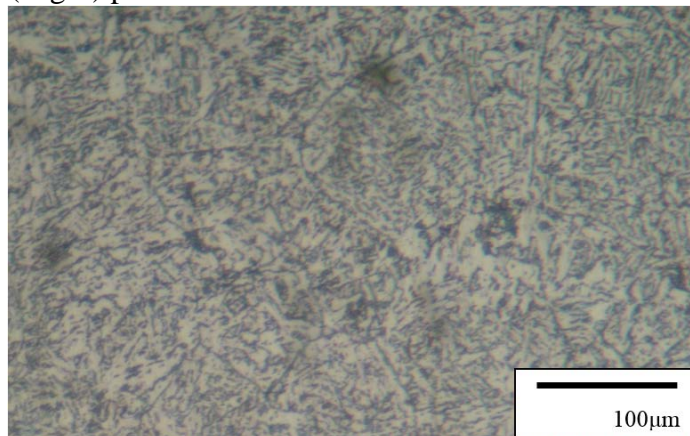
Fuente: Autor

Figura 61. Esquema de la microestructura de la ZAT de la soldadura GMAW STT + SAW



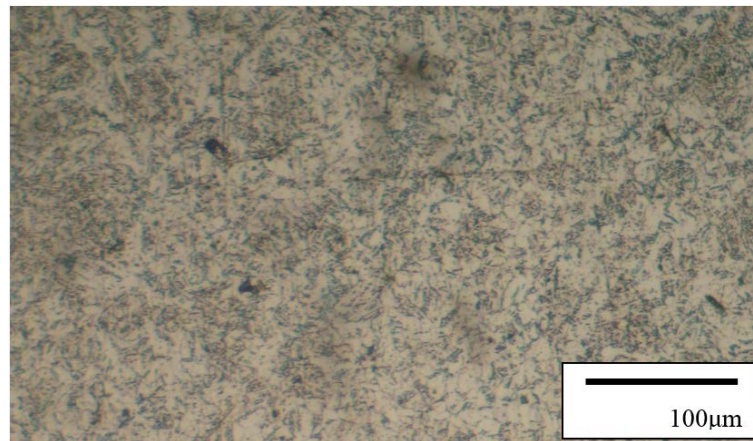
Fuente: Autor

Figura 62. Micrografía de la zona de grano grueso (ZGG), ferrita (blanco) y perlita (negro) proceso de soldadura GMAW STT más SAW



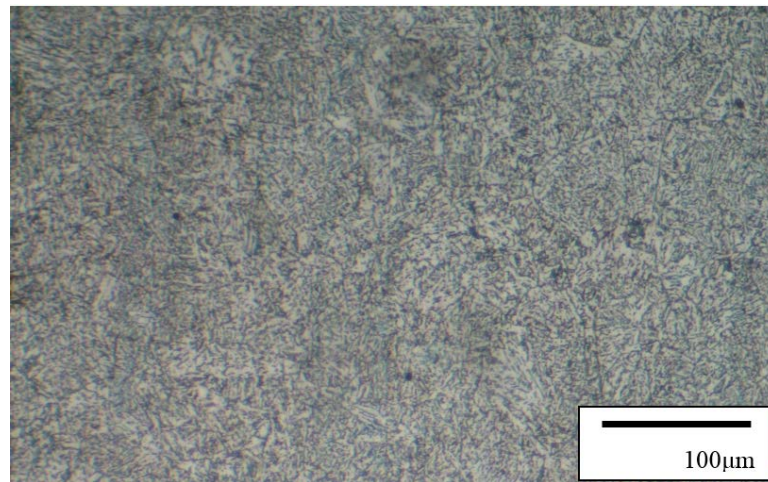
Fuente: Autor

Figura 63. Micrografía de la zona de grano mixto (ZGM) proceso de soldadura GMAW STT más SAW



Fuente: Autor

Figura 64. Micrografía de la zona de grano fino (ZGF) proceso de soldadura GMAW STT más SAW



Fuente: Autor

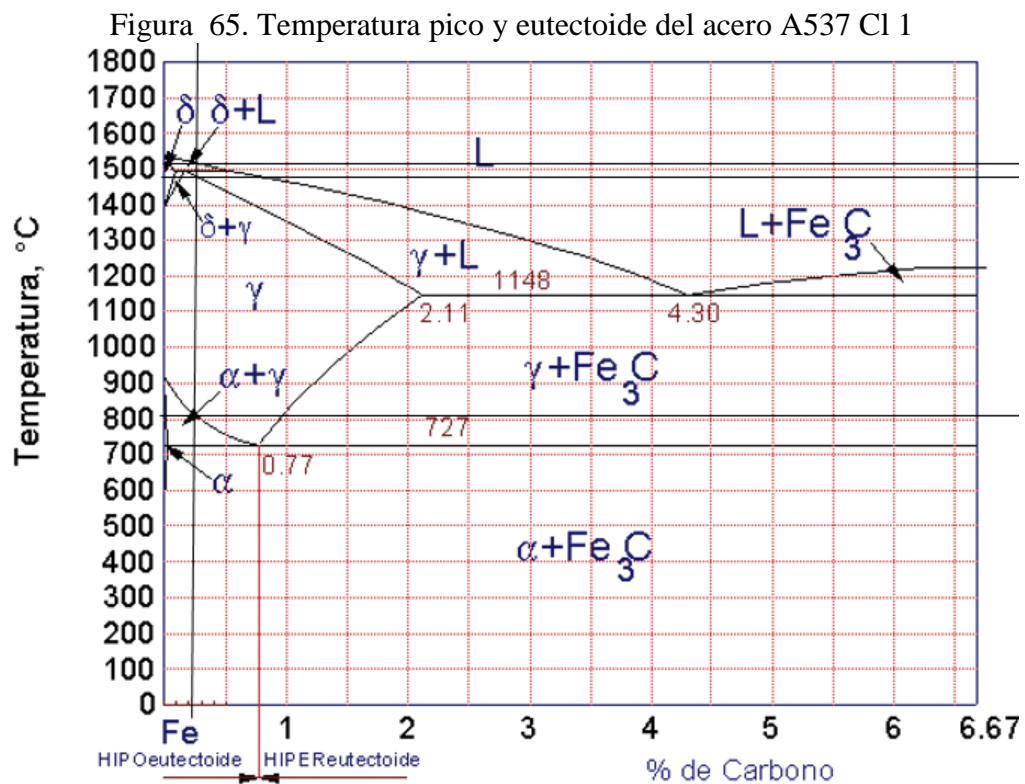
En los dos casos se observó que la evolución microestructural en la zona térmicamente afectada se constituyó por granos de perlita con ferrita acicular en los bordes de grano.

La fase predominante en el pase de raíz GMAW STT es la ferrita poligonal mientras que la perlita se encuentra en pequeñas cantidades de forma intergranular.

4.6 Ciclo térmico del proceso de soldadura GMAW STT

El ciclo térmico describe la variación de temperatura durante el proceso de soldadura en un punto ubicado dentro de la ZAT de la muestra en estudio. Su evaluación permitió la determinación de importantes parámetros como la temperatura máxima, el tamaño de la zona afectada térmicamente y la velocidad de enfriamiento.

Para la determinación de la temperatura máxima de 1492 °C del ciclo térmico que alcanza la ZAT se tomó de referencia la temperatura pico (sólidos) del material con respecto al porcentaje de carbono del acero ASTM A537 Cl 1 el cual es 0,24% C. También se obtuvo la temperatura líquidus de 1520 °C. Estas temperaturas deben considerarse referenciales debido a que durante la soldadura la velocidad de calentamiento es superior a las condiciones de equilibrio, por lo tanto habrá que esperar que las transformaciones ocurran a temperaturas superiores a las indicadas.



Fuente: Estructura y composición del acero de bajo carbono (CASTRO, 2009).

El ciclo térmico se analiza a través de la ecuación 8 para determinar si la placa es gruesa o delgada cuando el flujo es bidimensional. Entonces la diferencia de placas está dada por:

$$h' = \sqrt{\frac{H_n}{2\rho C_p} * \left(\frac{1}{500-T_0} + \frac{1}{800-T_0} \right)} \quad (8)$$

h' = espesor relativo

ρC_p = calor específico por volumen unitario (J/m³*°C)

T_0 = Temperatura inicial (°C)

H_n = Calor suministrado a la soldadura por unidad de longitud (J/m)

$$H_n = \frac{\eta * V * I}{v} \quad (9)$$

η = eficiencia del arco o rendimiento térmico (adimensional) = 0,9

V = voltaje

I = intensidad

v = velocidad de avance

Los valores obtenidos para el acero A537 Cl 1 (C-Mn-Si) son:

Tabla 7. Propiedades del acero A537 Cl 1

Propiedad	ASTM A537 Cl 1	Unidad
Masa específica [ρ]	8131	[Kg/m ³]
Calor específico [C_p]	434	[J/Kg°C]
Conductividad térmica [K]	41	[W/m°C]
Calor específico volumétrico [ρC_p]	3528854	[J/m ³ °C]
Difusividad Térmica [$\alpha = K/\rho C_p$]	11,6x10 ⁶	[m ² /s]

Fuente: Soldabilidad de los aceros (ZALAZAR, 2013).

Reemplazando los valores de la tabla en la ecuación se obtuvo el espesor relativo:

$$h' = \sqrt{\frac{792000 J/m}{2 * 434 J/Kg°C * 8131 Kg/m^3} * \left(\frac{1}{(500-15)°C} + \frac{1}{(800-15)°C} \right)} \quad (10)$$

$$h' = 0,01935 \text{ m}$$

Puesto que el espesor relativo de 19,35 mm es menor que el espesor del perfil de la placa de acero A537 Cl 1 a evaluarse (38 mm) se realizó los cálculos correspondientes con respecto a placa gruesa. El diagrama del ciclo térmico para el pase de raíz con la soldadura GMAW STT se determinó por medio de la ecuación:

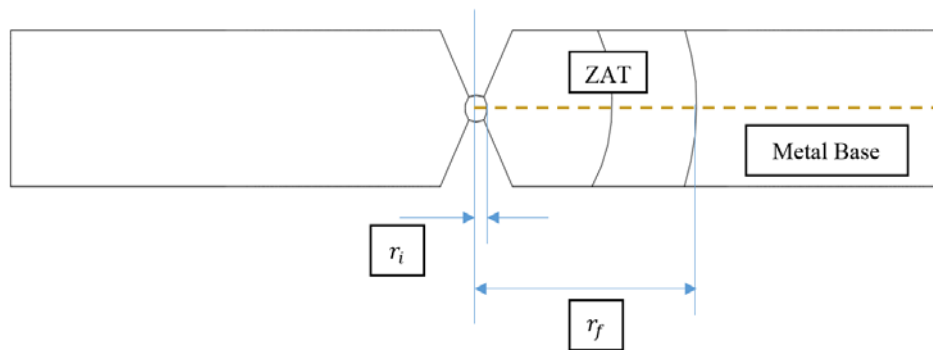
$$T = T_0 + \frac{H_n}{2\pi * k * t} e^{-\left(\frac{r^2}{4at}\right)} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que en el proceso de soldadura, las principales transformaciones ocurren entre las temperaturas de fusión y la temperatura eutectoide, el ancho teórico de la zona afectada térmicamente se calcula por la diferencia entre las distancias a las cuales se alcanzan dichas temperaturas. Estas distancias se calculan por la ecuación:

$$r = \left(\frac{2}{\pi * e} \right)^{\frac{1}{2}} * \frac{H_n}{2 * h * \rho * C_p * (T_p - T_0)} \quad (12)$$

Para determinar la longitud inicial (r_i) y final (r_f) de la ZAT en el pase de raíz con el proceso GMAW STT con respecto al eje del cordón de soldadura, se sustituyeron los valores de la tabla 7 en la ecuación 12. Para la temperatura pico inicial y final de la ZAT se tomó la temperatura de solidificación y la temperatura eutectoide del material A537 Cl 1, que por medio de la fig. 65 se observó: $T_{pi} = 1492 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{pf} = 727 \text{ } ^\circ\text{C}$

Figura 66. Diagrama esquemático que ilustra el inicio y final de la ZAT del pase de raíz con soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

$$r_i = \left(\frac{2}{\pi * e} \right)^{1/2} * \frac{792000 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (1492 - 15) \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$r_i = 0,00097 \text{ m}$$

$$r_f = \left(\frac{2}{\pi * e} \right)^{1/2} * \frac{792000 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (727 - 15) \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$r_f = 0,002 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Ancho de la ZAT} &= r_f - r_i \\ &= (2 - 0,97) \text{ mm} \\ &= 1,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

El ancho de la ZAT calculado para el pase de raíz con el proceso GMAW STT desde el eje del cordón de soldadura fue 1,03 mm.

Para la determinación del ancho de la ZAT en el proceso de soldadura GMAW más SAW TANDEM se realizó el mismo procedimiento anterior tomando en cuenta el calor suministrado por ambos procesos de soldadura así:

$$r_i = \left(\frac{2}{\pi * e} \right)^{1/2} * \frac{1411200 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (1492 - 15) \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$r_i = 0,0017 \text{ m}$$

$$r_f = \left(\frac{2}{\pi * e} \right)^{1/2} * \frac{1411200 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (727 - 15) \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$r_f = 0,0035 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Ancho de la ZAT} &= r_f - r_i \\ &= (3,5 - 1,7) \text{ mm} \\ &= 1,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

El ancho de la ZAT calculado para el pase de raíz con el proceso GMAW STT más SAW TANDEM desde el eje del cordón de soldadura fue 1,8 mm.

La forma de la transferencia de calor en las juntas soldadas estudiadas fue bidimensional por lo que las curvas del ciclo térmico al que es sometido cada punto del metal base se formaron a partir de la ecuación 11

En la figura 66 se muestra los ciclos térmicos del inicio y final de la ZAT (con los valores calculados), además las curvas donde ocurren las principales transformaciones de fase, a las que el acero es sometido durante el ciclo de calentamiento. Estas transformaciones de fase para el acero de bajo carbono A537, de acuerdo al diagrama Fe-C, ocurren a las siguientes temperaturas:

T_1 , Temperatura de líquidus = 1518 °C

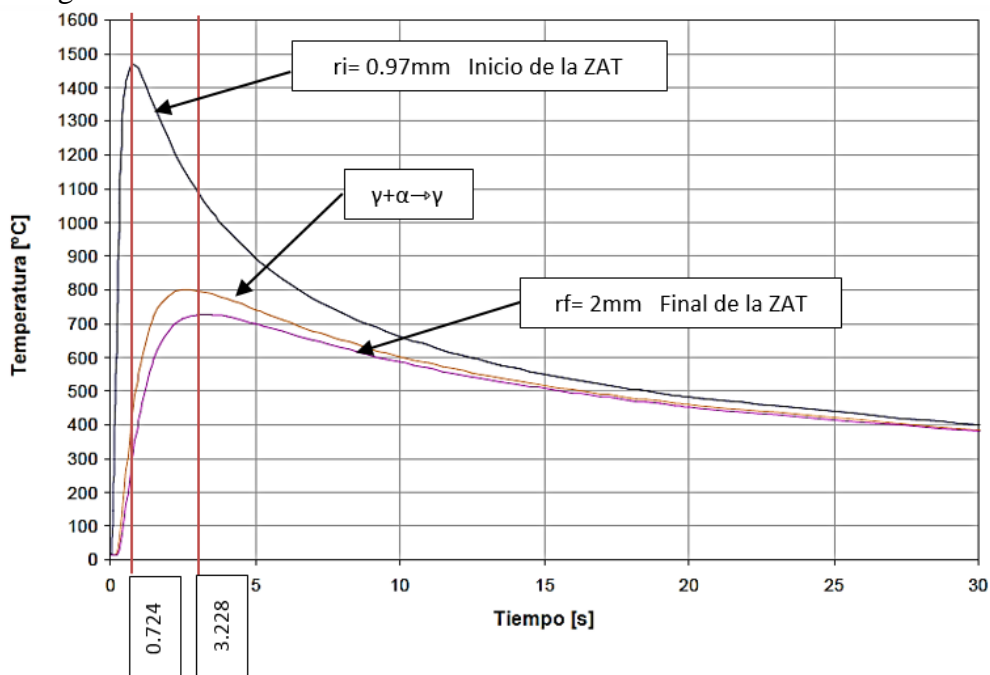
T_1 , Temperatura de sólidus = 1492 °C

$T_{\alpha\gamma}$, Temperatura de transformación α - γ = 800 °C

$T_{\alpha\gamma}$, Temperatura eutectoide = 727 °C

Estas temperaturas deben considerarse referenciales debido a que durante la soldadura la velocidad de calentamiento es muy superior a las condiciones de equilibrio, por lo tanto habrá que esperar que las transformaciones ocurran a temperaturas superiores a las indicadas. La fig. 67 se muestra las curvas características del ciclo térmico de la soldadura de pase de raíz GMAW STT en placas de acero A537 CL 1 (0,24% C) de 38 mm de espesor.

Figura 67. Ciclo térmico de la soldadura GMAW STT. Acero A537 CL 1



Fuente: Autor

Se observó que en el inicio de la ZAT está a 0,97 mm desde el eje del cordón de soldadura alcanzando la temperatura de fusión de 1492 °C en 0,72 s; el final de la ZAT se encontró a 2 mm, su temperatura pico es 727 °C que se logra en 3,22 s.

Los resultados para los puntos donde se producen las transformaciones de fases se presentan en la Tabla 8.

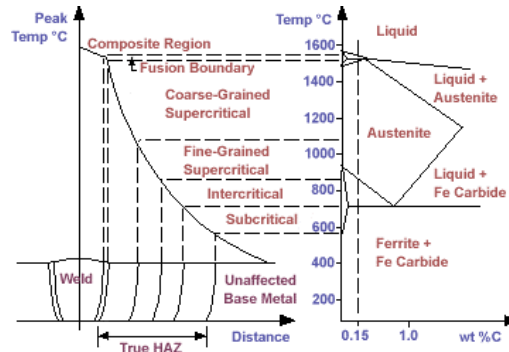
Los valores de los tiempos a los cuales se alcanza las diferentes transformaciones de fase en el calentamiento se determinaron mediante un proceso iterativo, reemplazando los valores de r, calculados para las diferentes temperaturas de transformación presentados anteriormente, en la ecuación 12

Tabla 8. Transformaciones de fase. Acero A537 CL1

Transformación de fase durante el calentamiento	Temperatura [°C]	Distancia [mm]	Tiempo [s]
$\alpha \rightarrow \gamma$	727	2,00	3,22
$\gamma + \alpha \rightarrow \gamma$	800	1,87	2,85
$\gamma \rightarrow \gamma + L$	1492	0,97	0,72

Fuente: Autor

Figura 68. Esquema de microestructura de la ZAT en acero de bajo carbono



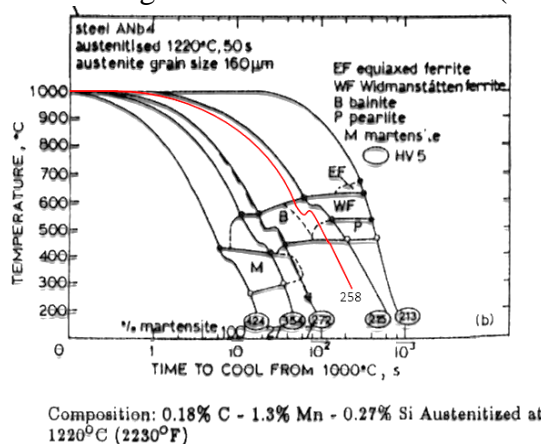
Fuente: Estructura y composición del acero de bajo carbono (CASTRO, 2009)

Para el análisis de las microestructuras finales que se desarrollaron a partir de la fase de austenita en el ciclo de enfriamiento se utilizó el diagrama CCT de un acero C-Mn-Si con un tamaño de grano de 160 μm y una temperatura de austenización de 1220 °C. Tomando en cuenta la dureza vickers se pudo determinar las microestructuras presentes en la ZAT.

La velocidad de enfriamiento se calculó por:

$$V_{8-5} = \frac{\Delta T_{8-5}}{\Delta t_{8-5}} \quad (13)$$

Figura 69. Diagrama CCT acero C-Mn-Si (A 537)

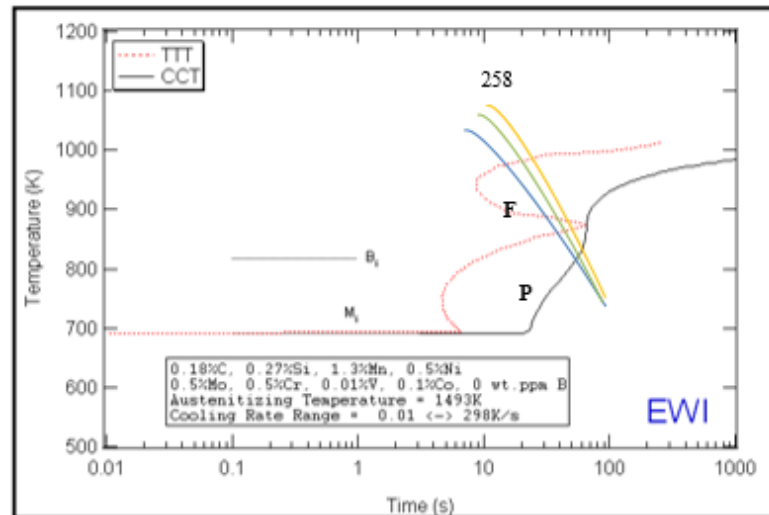


Composition: 0.18% C - 1.3% Mn - 0.27% Si Austenitized at 1220°C (2230°F)

Fuente: Introducción a la Metalurgia de la soldadura (PÁSTOR, 2004).

Mediante el análisis asistido por computadora con el programa EWI Modeling Result se determinó las curvas de enfriamiento del proceso de soldadura GMAW STT como se muestra en la fig. 70

Figura 70. Determinación de la CCT y TTT de la ZAT con el proceso de soldadura GMAW STT en acero A537 C1 1

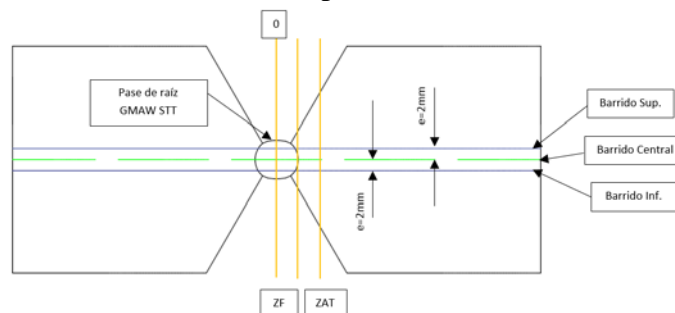


Fuente: Programa de Análisis y modelado (EWI, 2015)

4.7 Medición de la Microdureza

Las medidas de la dureza Vickers fueron tomadas en las muestras transversales extraídas desde el eje vertical de soldadura a lo largo de la zona afectada térmicamente. Se basó en la norma ASTM E-92 para el método de prueba de dureza por micro-indentación. El penetrador utilizado fue una pirámide de diamante con un ángulo de 136° a una carga de 300 gf para aceros. El barrido se realizó en tres secciones: en la parte central del eje del cordón de soldadura, en el eje superior e inferior del cordón de soldadura a 2 mm de distancia del eje central como se muestra en la fig.71.

Figura 71. Ejes de aplicación del método de micro-dureza Vickers en el pase de raíz GMAW STT (placas A537 C1 1)



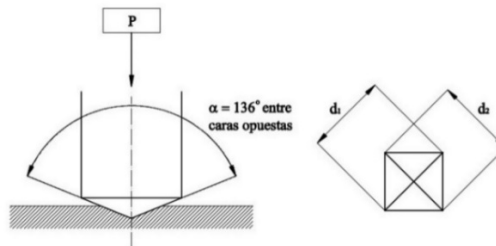
Fuente: Autor

La ecuación aplicada para la determinación de la dureza Vickers fue:

$$HV = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}$$
$$HV = \frac{2P \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$
$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (14)$$

Con las diagonales d1 y d2 obtenidas del ensayo de microdureza, se realizó el promedio de estos valores para aplicar en la ecuación 14 y encontrar los valores de dureza en la zona de fusión entre el metal base y el metal de aporte y la ZAT. Para el eje central se aplicó el ensayo vickers cada 1 mm de distancia entre huellas aplicadas. Para el barrido superior e inferior se tomó cada 2 mm. Con los datos obtenidos se realizó los diagramas Microdureza vs distancia en el programa Excel como se observa en las fig.72-73 y 74

Figura 72. Esquema de indentador de ensayo Vickers para acero



Fuente: Mechanical Testing (ASTM, 2004)

El ensayo de dureza se realizó en el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica con el equipo Micro Hardness Tester Buenler.

Figura 73. Ensayo de microdureza Vickers en placas de pase de raíz GMAW STT Acero A537 Cl 1



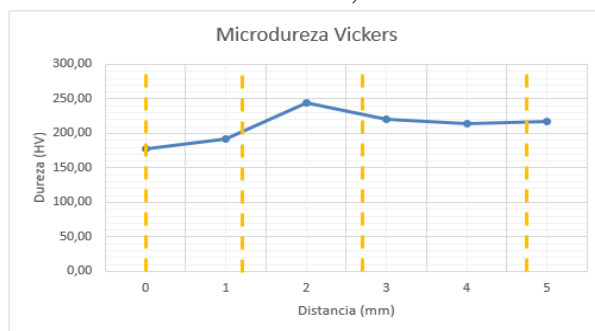
Fuente: Autor

Tabla 9. Dureza Vickers soldadura GMAW STT, barrido central

Distancia al eje de soldadura [mm]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Dureza [HV]
0	57,50	54,50	56,00	177,36
1	55,50	52,00	53,75	192,52
2	46,00	49,50	47,75	243,94
3	49,50	51,00	50,25	220,27
4	50,00	52,00	51,00	213,84
5	51,00	50,00	50,50	218,10

Fuente: Autor

Figura 74. Diagrama Microdureza vs distancia, barrido central soldadura GMAW STT



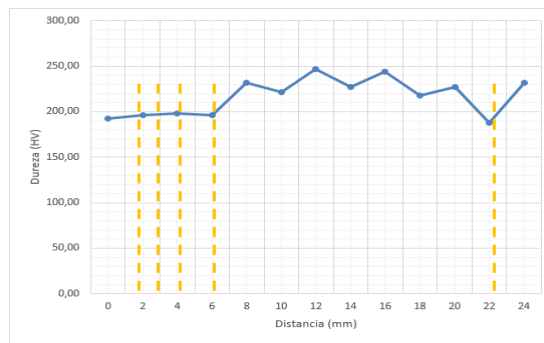
Fuente: Autor

Tabla 10. Dureza Vickers soldadura GMAW STT, barrido superior

Distancia al eje de soldadura [mm]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Dureza [HV]
0	54,50	53,00	53,75	192,52
2	52,50	54,00	53,25	196,15
4	52,00	54,00	53,00	198,01
6	54,00	52,50	53,25	196,15
8	49,00	49,00	49,00	231,65
10	51,20	49,00	50,10	221,59
12	47,00	48,00	47,50	246,52
14	49,00	50,00	49,50	227,00
16	48,00	47,50	47,75	243,94
18	50,00	51,00	50,50	218,10
20	51,00	48,00	49,50	227,00
22	54,00	55,00	54,50	187,26
24	50,00	48,00	49,00	231,65

Fuente: Autor

Figura 75. Diagrama Microdureza vs distancia, barrido superior soldadura GMAW STT



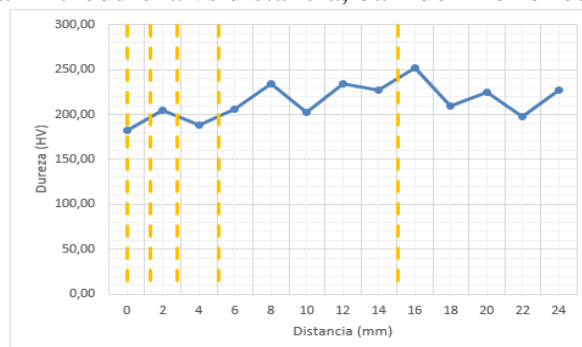
Fuente: Autor

Tabla 11. Dureza Vickers soldadura GMAW STT, barrido inferior soldadura GMAW STT

Distancia al eje de soldadura [mm]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Dureza [HV]
0	56,00	54,50	55,25	182,21
2	51,00	53,30	52,15	204,51
4	53,20	55,50	54,35	188,29
6	51,00	53,00	52,00	205,70
8	47,50	50,00	48,75	234,04
10	54,00	51,00	52,50	201,80
12	49,00	48,50	48,75	234,04
14	48,00	51,00	49,50	227,00
16	48,00	46,00	47,00	251,79
18	51,20	52,00	51,60	208,90
20	50,40	49,00	49,70	225,17
22	53,00	53,00	53,00	198,01
24	49,00	50,00	49,50	227,00

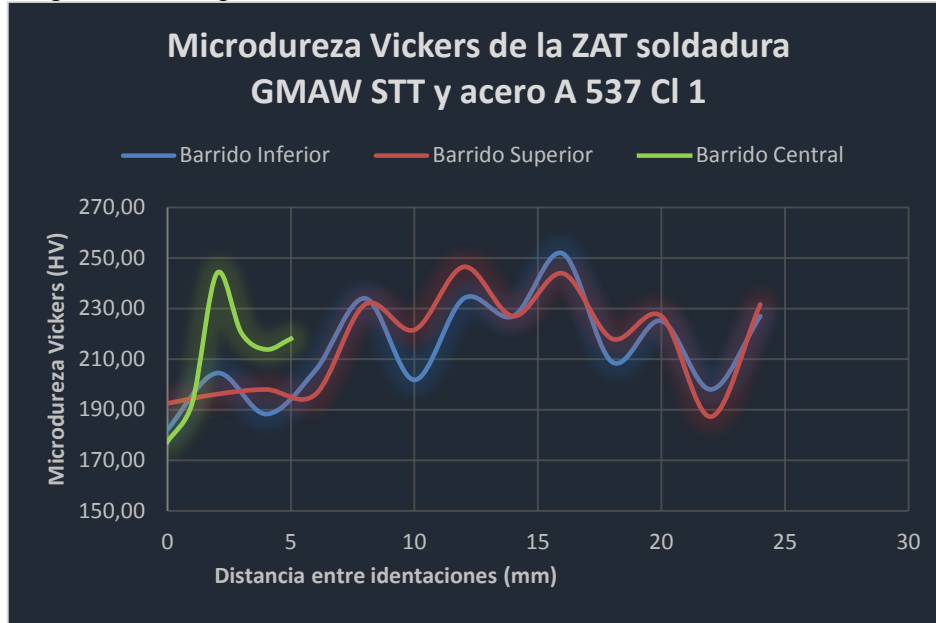
Fuente: Autor

Figura 76. Diagrama Microdureza vs distancia, barrido inferior soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Figura 77. Diagrama Microdureza vs distancia soldadura GMAW STT



Fuente: Autor

Se tomó los gráficos de dureza realizados en el pase de raíz con el proceso de soldadura SMAW y SAW utilizados anteriormente por la empresa para hacer una comparación cuantitativa con el proceso GMAW STT.

Al ser las condiciones de soldadura distintas en los procesos, la ZAT tuvo una variación considerable debido al calor suministrado a las placas. En la tabla 12 se muestran los datos de los procesos de soldadura SMAW y SAW para la determinación de la medida de la ZAT. Utilizando la ecuación 12 se obtuvo los valores de distancia de la ZAT para realizar la comparación de las gráficas de la microdureza.

Tabla 12. Tabla de valores para pase de raíz utilizando los procesos de soldadura SMAW y SAW en placas de acero A537 Cl 1

Valores	Unidad	SMAW	SAW
Eficiencia [η]	adimensional	0.85	0.9
Voltaje [V]	Voltios	28	32
Intensidad [I]	Amperios	200	500
Velocidad avance [v]	mm/min	250	410
Calor suministrado [H_n]	J/m	$11,42 \times 10^5$	$21,07 \times 10^5$
Long. ZAT inicial [r_i]	mm	2.8	5.3
Long. ZAT final [r_f]	mm	5.98	11
Ancho ZAT [$r_f - r_i$]	mm	3.18	5.7

Fuente: Autor

Determinación del ancho de la ZAT en el proceso de soldadura SMAW para el pase de raíz en acero A537 Cl 1:

$$r_i = \left(\frac{2}{\pi * e}\right)^{1/2} * \frac{1142400 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (1492 - 15)^\circ\text{C}}$$

$$r_i = 0,0028 \text{ m}$$

$$r_f = \left(\frac{2}{\pi * e}\right)^{1/2} * \frac{1142400 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (727 - 15)^\circ\text{C}}$$

$$r_f = 0,00598 \text{ m}$$

Determinación del ancho de la ZAT en el proceso de soldadura SAW para el pase de raíz en acero A537 Cl 1:

$$r_i = \left(\frac{2}{\pi * e}\right)^{1/2} * \frac{2107000 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (1492 - 15)^\circ\text{C}}$$

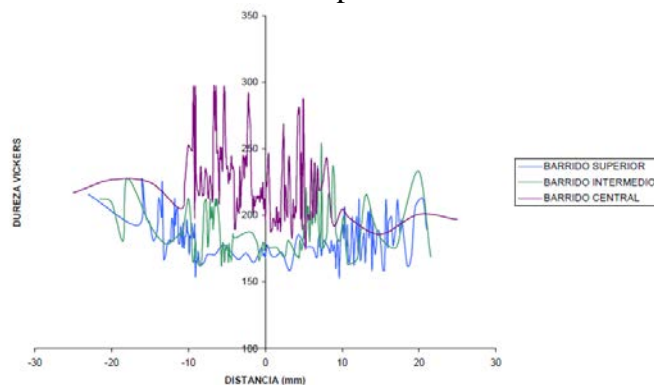
$$r_i = 0,0053 \text{ m}$$

$$r_f = \left(\frac{2}{\pi * e}\right)^{1/2} * \frac{2107000 \text{ J/m}}{2 * 0,038 \text{ m} * 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 8131 \text{ Kg/m}^3 * (727 - 15)^\circ\text{C}}$$

$$r_f = 0,011 \text{ m}$$

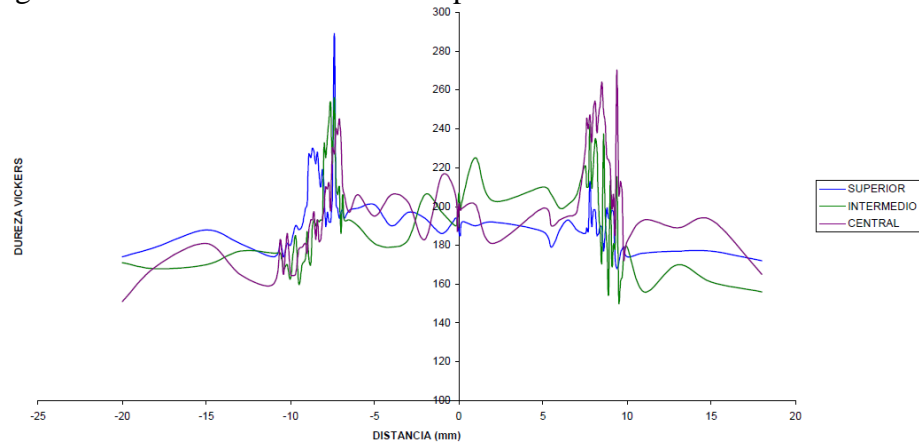
Calculado el ancho de la ZAT en las soldaduras SMAW y SAW se procedió a la observación de los valores máximos y mínimos para la comparación de los procesos de soldadura en la Tabla 13.

Figura 78. Microdureza Vickers en pase de raíz con soldadura SMAW



Fuente. Aplicación del código AASHTO/AWS D 1.5 (ANDRADE, 2002)

Figura 79. Microdureza Vickers en pase de raíz con soldadura SAW



Fuente. Aplicación del código AASHTO/AWS D 1.5 (ANDRADE, 2002)

Tabla 13. Valores máximos y mínimos de microdureza en la zona de fusión de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW

Zona de fusión		Microdureza Vickers [HV]		
		GMAW STT	SMAW	SAW
Barrido central	valor max.	182	270	219
	valor min.	176	180	184
Barrido superior	valor max.	194	175	203
	valor min.	193	166	185
Barrido inferior	valor max.	185	172	225
	valor min.	180	164	204

Fuente: Autor

Tabla 14. Valores máximos y mínimos de microdureza en la zona afectada térmicamente de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW

ZAT		Microdureza Vickers [HV]		
		GMAW STT	SMAW	SAW
Barrido central	valor max.	245	281	267
	valor min.	182	183	165
Barrido superior	valor max.	198	185	290
	valor min.	194	162	178
Barrido inferior	valor max.	205	182	254
	valor min.	185	171	150

Fuente: Autor

Se realizó un promedio de los valores máximos y mínimos de las durezas de los tres procesos de soldadura y se determinó que en la zona de fusión en el pase de raíz de soldadura GMAW STT, la microdureza es menor con respecto a las soldaduras SMAW y SAW. Entonces se puede deducir que en el proceso de soldadura GMAW existe mayor

tenacidad y por ende su resistencia, ductilidad y maleabilidad serán favorables al momento de la construcción y rolado en frío.

Tabla 15. Tabla de valores promedio de microdureza en la zona de fusión de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW

Promedio	Microdureza Vickers [HV]		
	GMAW STT	SMAW	SAW
max.	187,00	205,67	215,67
min.	183,00	170,00	191

Fuente: Autor

En la ZAT se observó que la microdureza aumentó con respecto a la zona de fusión, efecto del choque térmico al momento de realizar la soldadura. Se observó también que en los procesos GMAW STT y SMAW, la microdureza es casi similar a diferencia de la soldadura SAW y que podría ser un proceso opcional factible para realizar el pase de raíz.

Tabla 16. Tabla de valores promedio de microdureza en la zona afectada térmicamente de los procesos de soldadura GMAW STT, SMAW y SAW

Promedio	Microdureza Vickers [HV]		
	GMAW STT	SMAW	SAW
max.	216,00	216,00	270,33
min.	187,00	172,00	164,33

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente trabajo se realizó un proceso sistemático para la elaboración del procedimiento de soldadura GMAW STT para el pase de raíz utilizando placas de acero A537 Cl 1 y su evaluación mediante el análisis metalográfico de las muestras tomadas, obteniéndose las siguientes conclusiones:

El ensayo de líquidos penetrantes realizado con la soldadura GMAW STT indica que las discontinuidades y defectos observados son imperceptibles y al ser evaluados de acuerdo al código ASME sección V, son aceptables. Al hacer la comparación con la probeta ensayada con el proceso de soldadura SMAW que se utilizaba anteriormente por la Industria Acero de los Andes se observó que esta presenta discontinuidades y defectos en las inter-caras de la soldadura a diferencia de la soldadura GMAW STT.

El ensayo de ultrasonidos realizado con el método “phased array” en la soldadura GMAW STT para el pase de raíz indicó que las placas soldadas no presentaban discontinuidades considerables en el sondeo mayores al 20% de la amplitud cromática de la placa según el criterio de aceptación del código ASME sección V apéndice P artículo 5.

Las probetas ensayadas a tracción con el proceso de soldadura GMAW STT cumplen con los requerimientos del código ASME sección IX QW/QB-422. Para el acero A537 Cl 1 con espesores menores a 38 mm, la resistencia mínima es de 485 MPa. Los valores obtenidos de las dos probetas ensayadas son 521,1 y 543,2 MPa por lo tanto el proceso de soldadura aplicado es aceptable.

El ensayo de doblado se realizó en cuatro probetas: dos de cara y dos de raíz con el cordón de soldadura y la zona afectada térmicamente dentro de la zona ensayada. Según el criterio de aceptación del código ASME sección IX ítem QW-163 el ensayo es aceptable al no encontrarse discontinuidades en las probetas N°1, N°3 y N°4. En la probeta N°2 se encontró una discontinuidad de 1,5 mm que según el criterio de aceptación también está dentro del rango admisible.

Con los ensayos destructivos y no destructivos realizados en las placas de ACERO A537 Cl 1 de 38 mm de espesor se determinó que la soldadura GMAW STT es idónea para el pase de raíz en cilindros a presión. Se registró una excelente soldabilidad operativa, evaluada bajo los criterios de aceptación del código ASME sección V, sección VIII y sección IX.

El procedimiento de soldadura (WPS) elaborado para el proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz en placas de 38 mm de espesor cumple con los requerimientos establecidos por el código ASME sección IX para cilindros a presión.

El registro de calificación del procedimiento (PQR) elaborado con los datos reales y ensayos destructivos realizados para el proceso de soldadura GMAW STT para el pase de raíz en placas de 38 mm de espesor cumple con los requerimientos establecidos por el código ASME sección IX para cilindros a presión.

Los resultados del análisis metalográfico permitieron determinar la microestructura de la zona afectada térmicamente y el metal base. Se observó que la matriz que impera en la ZAT es ferrítico-perlítica, típica de los aceros de bajo carbono lo que facilita la soldabilidad. El tipo de ferrita encontrado fue de forma acicular con carburos de manganeso que podrían haberse producido por la misma composición química del metal base A537 Cl 1 (acero C-Mn-Si).

Este estudio demostró que además de la resistencia mecánica y la inspección cualitativa por los ensayos no destructivos, es indispensable asegurar que las microestructuras presentes en el acero, ya sea en la zona de soldadura como fuera de ella sean debidamente para evitar la presencia de fases frágiles de baja ductilidad, las mismas que ejercen una fuerte influencia sobre la formación de fisuras y que podrían, bajo condiciones de operación, ser el origen de la fractura y fallas críticas.

Se determinó que la longitud de la zona afectada térmicamente generada por el pase de raíz con la soldadura GMAW STT es menor a la ZAT generada tanto por la soldadura SMAW como por la soldadura SAW debido al calor suministrado al metal base. Al tener menor longitud de la ZAT se reduce los cambios en las propiedades químicas, físicas y mecánicas que pueden afectar en el diseño y construcción de los cilindros a presión.

El ensayo de microdureza vickers determinó que el proceso de soldadura GMAW STT tiene valores menores comparados con los procesos de soldadura SMAW y SAW con lo cual se puede estimar que la soldadura de pase de raíz tiene mayor tenacidad y por ende su ductilidad, maleabilidad y soporte a la ruptura acrecientan en este tipo de soldadura.

5.2 Recomendaciones

En el caso que se necesite realizar un cambio en las variables esenciales y suplementarias en el WPS y PQR de la soldadura GMAW STT se debe volver a realizar los ensayos de calificación del proceso de soldadura.

Sería conveniente continuar esta investigación desarrollando los diagramas de enfriamiento del acero A537 Cl 1 para realizar una especificación minuciosa de la microestructura encontrada en la zona de fusión y la zona afectada térmicamente.

Se podría complementar el ensayo de microdureza vickers con el ensayo de impacto de las placas soldadas con los procesos GMAW STT, SMAW y SAW para determinar la tenacidad de las juntas tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada térmicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, Marcos. 2011.** *Manual de prácticas de soldadura*. 1era. 2011.
- ANDRADE, Manuel. 2002.** Aplicación del código AASHTO/AWS D 1.5 en soldadura de puentes vehiculares. [En línea] 2002.
- ASM. 2004.** *Metal Handbook*. 2004. pág. 2733. Vol. 9.
- ASME. 2013.** *BPVC IX Welding, Brazing, and fusing Qualifications*. New York, USA : s.n., 2013.
- ASTM. 2004.** *Mechanical Testing*. 2004. pág. 9.
- ASTM. 2004.** *Volume 01.04 Steel--Structural, Reinforcing, Pressure Vessel, Railway*. New York, USA : s.n., 2004.
- AVNER, Sydney H. 2012.** *Introducción a la Metalurgia Física*. 2da. D.F, MÉXICO : s.n., 2012. ISBN: 0-07-002499-5.
- AWS. 2001.** *Welding Handbook volume 1*. USA: s.n., 2001. ISBN: 978-0-87171-657-6.
- CASTRO, Guillermo. 2009.** Estructuras y composición del Acero de bajo carbono. 2da. 2009. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A.
- CUETO, José. 2008.** *Manual de Soldadura MIG - MAG*. 3ra. Madrid, ESPAÑA : S.L EDICIONES CEYSA, 2008. ISBN: 9788496960535.
- DÁVILA, Leopoldo. 2006.** *Manual de tecnología de soldadura para ingenieros*. 2006.
- EPN. 2015.** *Informe Técnico*. Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones. Quito : s.n., 2015. pág. 2. Orden N°0002775.
- EWI. 2015.** *Determinación de CCT y TTT de la ZAT*. s.l. : Modeling Results, 2015.
- FEDERACIÓN DE ENSSEÑANZA CC. OO. 2006.** Materiales de Aporte en la soldadura. [En línea] 2006. ISSN: 1989-4023.
- FOSCA, Luis. 2002.** *Metalurgia de la Soldadura*. 2002. Pontificia Universidad Católica.
- GIACHINO, José. 2011.** *Técnica y práctica de la Soldadura*. 2da. Madrid : s.n., 2011. ISBN 987-84-291-6053-6.
- HELZER , Scott. 2005.** *Modern Welding Technology*. New Jersey, USA : s.n., 2005. ISBN: 0-13-113029-3.
- JEFFUS, Larry. 2010.** *Soldadura, principios y aplicaciones*. 2010. pág. 449. ISBN: 978-84-283-2937-8.
- LINCOLN ELECTRIC. 2011.** <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/select-a-migmag-equipment.aspx>. [En línea] 2011.

MARTÍNEZ, Marina. 2002. *Metalurgia general práctica*. Madrid, ESPAÑA : s.n., 2002. ISBN: 9788477235309.

NEELY, John E. 2000. *Metalurgia y Materiales industriales*. 2000. Ensayos aplicados a la Soldadura. ISBN: 9789681858926.

ORDOÑEZ, Jose Luis. 2006. *Estandarización de procesos de Soldadura*. 2006. Registro de calificación de procedimiento (PQR).

PÁSTOR, Mario. 2004. *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Riobamba, Ecuador : s.n., 2004.

ROWE, Richard. 2008. *Manual de soldadura GMAW*. Madrid, ESPAÑA : Paraninfo, 2008. ISBN: 978-0-8273-7608-3.

RUÍZ, Andrea. 2000. *Calidad en la soldadura*. 2000. Inspección y detección con ensayos no destructivos.

SALGADO, David. 2010. *Tecnología y Técnica de los procesos de Soldadura*. 1era. 2010. pág. 162. ISBN: 9788496486959.

SAUNDERS, H. L. 1997. *MIG/MAG Welding Guide, for Gas Metal Arc Welding*. Ohio, USA : s.n., 1997.

TORRES, Alfredo. 2008. Control de Procesos de Soldadura. [En línea] 2008.

URIBE, Carolina. 2012.
http://www.metalactual.com/revista/10/procesos_soldadura.pdf. [En línea] 2012.

ZALAZAR, Oscar. 2013. Soldabilidad de los Aceros. [En línea] 2013. Cuaderno Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.

ANEXOS

Anexo A

Tabla de propiedades de materiales

Material	Calor específico volumétrico $rc_p [J m^{-3} K^{-1}]$	Difusividad térmica $a [m^2 s^{-1}]$	Conductividad térmica $k [J m^{-1} s^{-1} K^{-1}]$	Temperatura de fusión $[K]$
Aluminio	2.7×10^6	$8.5-10 \times 10^{-5}$	229.0	933
Acero al carbono	4.5×10^6	9.1×10^{-6}	41.0	1800
Acero 9% Ni	3.2×10^6	1.1×10^{-5}	35.2	1673
Acero austenítico	4.7×10^6	5.3×10^{-6}	24.9	1773
Inconel 600	3.9×10^6	4.7×10^{-6}	18.3	1673
Aleación de Ti	3.0×10^6	9.0×10^{-6}	27.0	1923
Cobre	4.0×10^6	9.6×10^{-5}	384.0	1336
Monel 400	4.4×10^6	8.0×10^{-6}	35.2	1573

Anexo B

Tabla de efectos causados por las variables de los procesos de soldadura

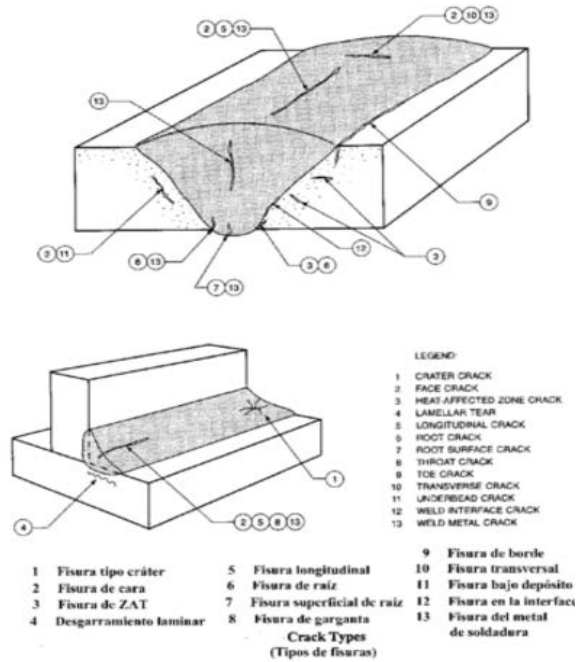
WELDING VARIABLES TO CHANGE	DESIRED CHANGES							
	PENETRATION		DEPOSITION RATE		BEAD SIZE		BEAD WIDTH	
	INCREASE	DECREASE	INCREASE	DECREASE	INCREASE	DECREASE	INCREASE	DECREASE
CURRENT AND WIRE FEED SPEED	INCREASE	DECREASE	INCREASE	DECREASE	INCREASE	DECREASE	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT
VOLTAGE	NO EFFECT	NO EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	INCREASE	DECREASE
TRAVEL SPEED	NO EFFECT	NO EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	DECREASE	INCREASE	DECREASE	INCREASE
ELECTRODE EXTENSION	DECREASE	INCREASE	INCREASE ^(A)	DECREASE ^(A)	INCREASE	DECREASE	DECREASE	INCREASE
WIRE DIAMETER	DECREASE	INCREASE	DECREASE	INCREASE	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT
SHIELD GAS %	INCREASE	DECREASE	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	INCREASE	DECREASE
GUN ANGLE	DRAG	PUSH	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	LITTLE EFFECT	PUSH	DRAG

(A) WILL RESULT IN DESIRED CHANGE IF CURRENT LEVELS ARE MAINTAINED BY ADJUSTMENT OF WIRE FEED SPEED

Anexo C

Variables esenciales del material base para el proceso de soldadura GMAW STT

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS



LÍMITES DE ESESORES PARA PROBETAS SEGÚN EL CÓDIGO ASME

Table QW-451.1 Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests							
Thickness <i>T</i> of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal, Qualified, in. (mm) <small>[Note (1)] and [Note (2)]</small>		Maximum Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) <small>[Note (1)] and [Note (2)]</small>	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) <small>[Note (2)]</small>			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
	Less than $\frac{1}{8}$ (1.5)	<i>T</i>		2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	—
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{16}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{16}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i> when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>	2 <i>T</i> when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	2 <i>t</i> when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33 <i>T</i>	2 <i>t</i> when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—
Over 6 (150) [Note (6)]	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33 <i>T</i>	1.33 <i>T</i> when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	—	—

NOTES:

(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.

(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.

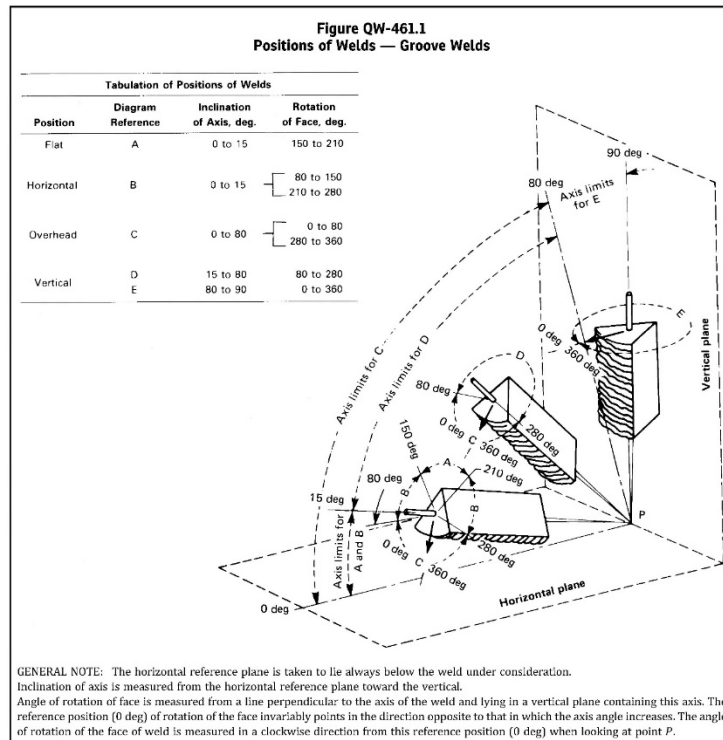
(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or 2*T*, or 2*t*, whichever is applicable.

(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).

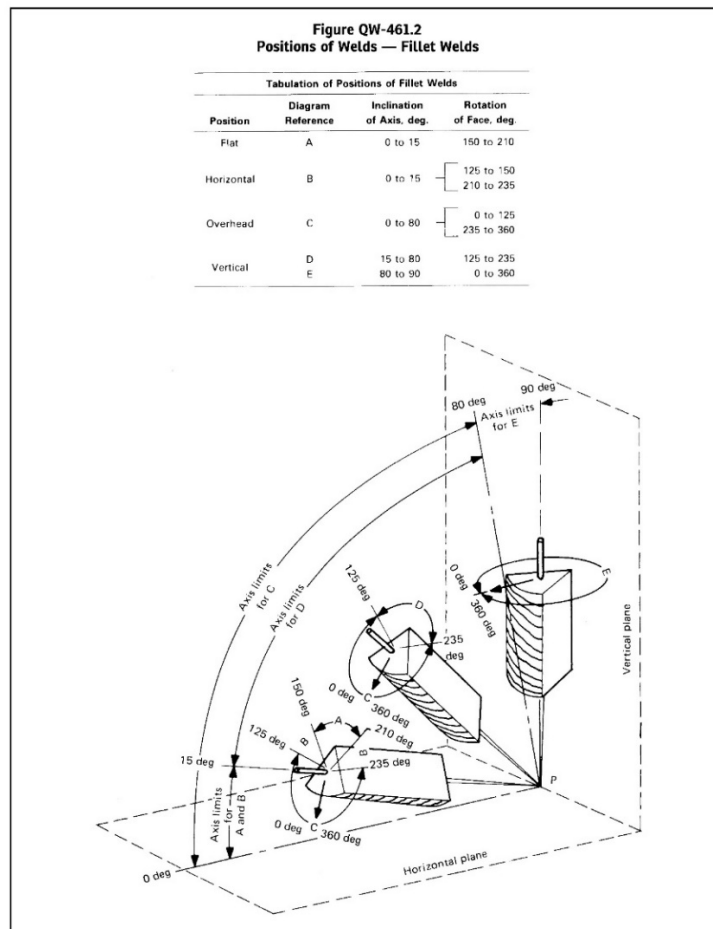
(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is $\frac{3}{16}$ in. (10 mm) and over.

(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

POSICIÓN DE SOLDADURA PARA RANURAS



POSICIÓN DE SOLDADURA EN FILETE



DESIGNACIÓN DE NÚMERO P PARA ACEROS ASTM

Table QW/QB-422
Ferrous/Nonferrous P-Numbers
Grouping of Base Metals for Qualification (Cont'd)

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		ISO 15608 Group	Nominal Composition	Product Form
				P-No.	Group No.	P-No.	Group			
Ferrous (Cont'd)										
A/SA-522	Type 1	K81340	100 (690)	11A	1	101	9.3	9Ni		Forgings
A/SA-524	II	K02104	55 (380)	1	1	101	1.1	C-Mn-Si		Smls. pipe
A/SA-524	I	K02104	60 (415)	1	1	101	1.1	C-Mn-Si		Smls. pipe
A/SA-533	Type A, Cl. 1	K12521	80 (550)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo		Plate
A/SA-533	Type A, Cl. 2	K12521	90 (620)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo		Plate
A/SA-533	Type A, Cl. 3	K12521	100 (690)	11A	4	101	3.1	Mn-0.5Mo		Plate
A/SA-533	Type D, Cl. 1	K12529	80 (550)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.25Ni		Plate
A/SA-533	Type D, Cl. 2	K12529	90 (620)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.25Ni		Plate
A/SA-533	Type D, Cl. 3	K12529	100 (690)	11A	4	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.25Ni		Plate
A/SA-533	Type B, Cl. 1	K12539	80 (550)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.5Ni		Plate
A/SA-533	Type B, Cl. 2	K12539	90 (620)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.5Ni		Plate
A/SA-533	Type B, Cl. 3	K12539	100 (690)	11A	4	101	3.2	Mn-0.5Mo-0.5Ni		Plate
A/SA-533	Type C, Cl. 1	K12554	80 (550)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.75Ni		Plate
A/SA-533	Type C, Cl. 2	K12554	90 (620)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.75Ni		Plate
A/SA-533	Type E, Cl. 1	K12554	80 (550)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.75Ni		Plate
A/SA-533	Type E, Cl. 2	K12554	90 (620)	3	3	101	3.1	Mn-0.5Mo-0.75Ni		Plate
A/SA-533	Type C, Cl. 3	K12554	100 (690)	11A	4	101	3.2	Mn-0.5Mo-0.75Ni		Plate
A/SA-537	Cl. 1	K12437	65 (450)	1	2	101	1.2	C-Mn-Si		Plate > 2½ in. - 4 in. (64 mm - 102 mm), ind.
A/SA-537	Cl. 1	K12437	70 (485)	1	2	101	1.2	C-Mn-Si		Plate, 2½ in. (64 mm) & under
A/SA-537	Cl. 2	K12437	70 (485)	1	3	101	1.2	C-Mn-Si		Plate > 4 in. - 6 in. (102 mm - 152 mm), incl.
A/SA-537	Cl. 2	K12437	75 (515)	1	3	101	1.2	C-Mn-Si		Plate > 2½ in. - 4 in. (64 mm - 102 mm), ind.
A/SA-537	Cl. 2	K12437	80 (550)	1	3	101	1.2	C-Mn-Si		Plate, 2½ in. (64 mm) & under
A/SA-537	Cl. 3	K12437	70 (485)	1	3	101	1.2	C-Mn-Si		Plate > 4 in. (102 mm)
A/SA-537	Cl. 3	K12437	75 (515)	1	3	101	1.2	C-Mn-Si		Plate, 2½ in. < t ≤ 4 in. (64 mm) < t ≤ 102 mm)
A/SA-537	Cl. 3	K12437	80 (550)	1	3	101	1.2	C-Mn-Si		Plate ≤ 2½ in. (64 mm)
A/SA-541	1	K03506	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Si		Forgings
A/SA-541	1A	K03020	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si		Forgings
A/SA-541	11, Cl. 4	K11572	80 (550)	4	1	102	5.2	1.25Cr-0.5Mo-Si		Forgings
A/SA-541	3, Cl. 1	K12045	80 (550)	3	3	101	4.1	0.5Ni-0.5Mo-V		Forgings

Anexo D

Variables esenciales del material de aporte para soldadura GMAW STT

CORRIENTE DE TRANSICIÓN GLOBULAR PARA ELECTRODOS SELECCIONADOS

WIRE ELECTRODE TYPE	SHIELDING GAS	WIRE DIAMETER		SPRAY ARC CURRENT, A
		mm	in.	
LOW-CARBON STEEL	98AR-2O ₂	0.58	0.023	135
		0.76	0.030	150
		0.89	0.035	165
		1.14	0.045	220
		1.57	0.062	275
	95AR-5O ₂	0.89	0.035	155
		1.14	0.045	200
		1.57	0.062	265
	92AR-8CO ₂	0.89	0.035	175
		1.14	0.045	225
		1.57	0.062	290
	85AR-15CO ₂	0.89	0.035	180
		1.14	0.045	240
		1.57	0.062	295
	80AR-20CO ₂	0.89	0.035	195
1.14		0.045	255	
1.57		0.062	345	
STAINLESS STEEL	99AR-1O ₂	0.89	0.035	150
		1.14	0.045	195
		1.57	0.062	265
	AR-HE-CO ₂	0.89	0.035	160
		1.14	0.045	205
		1.57	0.062	280
	AR-H ₂ -CO ₂	0.89	0.035	145

ASM HANDBOOK SECTION 6 WELDING, BRAZING AND SOLDERING PAG 573

MATERIAL DE APORTE PROCESO DE SOLDADURA GMAW STT

CE MIG (GMAW) WIRE

SuperArc® LA-75

Low Alloy, Copper Coated • AWS ER80S-Ni1 & ENi1K

Key Features

- ▶ Capable of producing weld deposits with 550 MPa (80 ksi) tensile strength
- ▶ High toughness at low temperatures with a nominal 1% Ni or less
- ▶ MicroGuard® Ultra provides superior feeding and arc stability
- ▶ Supports short-circuiting, globular, axial spray and pulsed spray transfer

Conformances

AWS A5.28/A5.28M: 2005	ER80S-Ni1
ASME SFA-A5.28:	ER80S-Ni1
AWS A5.17/A5.17M: 1997	ENi1K
ABS:	ER80S-Ni1
CWB/CSA W48-06:	ER55S-Ni1 (ER80S-Ni1)
EN ISO 14341-B:	G 55A 4 A SN2

Welding Positions

All

Typical Applications

- ▶ ASTM A588 weathering steel requiring good atmospheric corrosion resistance
- ▶ NACE applications

Shielding Gas

75-95% Argon / Balance CO₂
 95-98% Argon / Balance O₂
 Flow Rate: 30 - 50 CFH

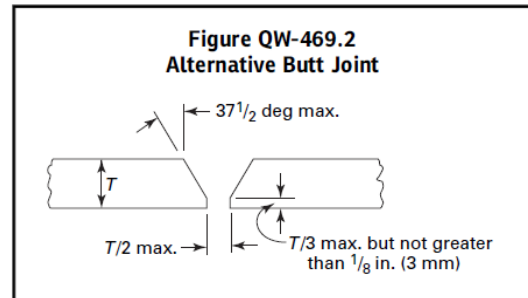
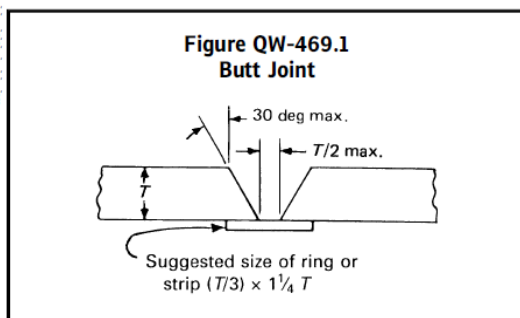
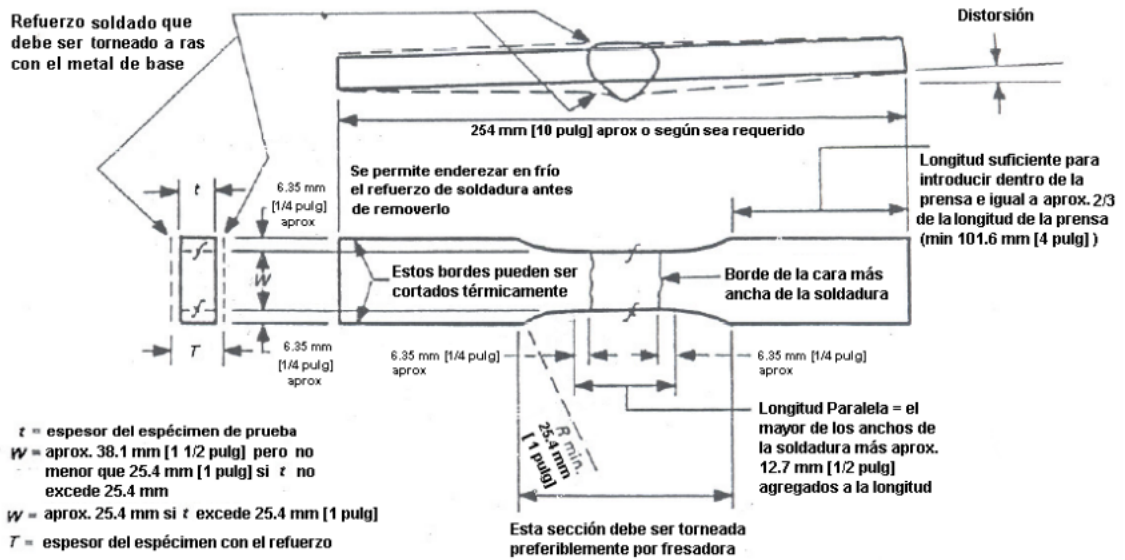
DESIGNACIÓN DE NÚMERO F PARA MATERIAL DE APORTE

Table QW-432
F-Numbers
Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification

F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
Steel and Steel Alloys			
1	SFA-5.1	EXX20	...
1	SFA 5.1	EXX22	...
1	SFA-5.1	EXX24	...
1	SFA 5.1	EXX27	...
1	SFA-5.1	EXX28	...
1	SFA-5.4	EXXX(X)-26	...
1	SFA-5.5	EXX20-X	...
1	SFA-5.5	EXX27-X	...
2	SFA-5.1	EXX12	...
2	SFA-5.1	EXX13	...
2	SFA 5.1	EXX14	...
2	SFA-5.1	EXX19	...
2	SFA 5.5	E(X)XX13-X	...
3	SFA 5.1	EXX10	...
3	SFA-5.1	EXX11	...
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X	...
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X	...
4	SFA-5.1	EXX15	...
4	SFA 5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA 5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
4	SFA 5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
4	SFA-5.5	E(X)XX15-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX16-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M1	...
4	SFA-5.5	E(X)XX45	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
6	SFA-5.2	All classifications	...
6	SFA-5.9	All classifications	...
6	SFA-5.17	All classifications	...
6	SFA 5.18	All classifications	...
6	SFA-5.20	All classifications	...
6	SFA-5.22	All classifications	...
6	SFA 5.23	All classifications	...
6	SFA-5.25	All classifications	...
6	SFA 5.26	All classifications	...
6	SFA-5.28	All classifications	...
6	SFA-5.29	All classifications	...
6	SFA 5.30	INMs-X	...
6	SFA-5.30	IN5XX	...
6	SFA 5.30	IN3XX(X)	...

Anexo E

Requerimientos para elaboración de probetas para ensayo de tracción según el código ASME



Anexo F

Variables de soldadura para el procedimiento GMAW STT

**VARIABLES DE SOLDADURA PARA EL PROCEDIMIENTO GMAW STT
PARTE I**

Table QW-255 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)				
Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	φ Groove design		X
	.4	- Backing		X
	.10	φ Root spacing		X
	.11	± Retainers		X
QW-403 Base Metals	.5	φ Group Number		X
	.6	T Limits		X
	.8	φ T Qualified	X	
	.9	t Pass > 1/2 in. (13 mm)	X	
	.10	T limits (S. cir. arc)	X	
	.11	φ P-No. qualified	X	
QW-404 Filler Metals	.4	φ F-Number	X	
	.5	φ A-Number	X	
	.6	φ Diameter		X
	.12	φ Classification		X
	.23	φ Filler metal product form	X	
	.24	± or φ Supplemental	X	
	.27	φ Alloy elements	X	
	.30	φ t	X	
	.32	t Limits (S. cir. arc)	X	
	.33	φ Classification		X
QW-405 Positions	.1	+ Position		X
	.2	φ Position		X
	.3	φ ↑ ↓ Vertical welding		X
QW-406 Preheat	.1	Decrease > 100°F (55°C)	X	
	.2	φ Preheat maint.		X
	.3	Increase > 100°F (55°C) (IP)		X
QW-407 PWHT	.1	φ PWHT	X	
	.2	φ PWHT (T & T range)		X
	.4	T Limits	X	
QW-408 Gas	.1	± Trail or φ comp.		X
	.2	φ Single, mixture, or %	X	
	.3	φ Flow rate		X
	.5	± or φ Backing flow		X
	.9	- Backing or φ comp.	X	
	.10	φ Shielding or trailing	X	
QW-409 Electrical Characteristics	.1	> Heat input		X
	.2	φ Transfer mode	X	
	.4	φ Current or polarity		X
	.8	φ I & E range		X

VARIABLES DE SOLDADURA PARA EL PROCEDIMIENTO GMAW STT

PARTE II

Table QW-255
Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)
(Cont'd)

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW 410 Technique	.1 ϕ String/weave			X
	.3 ϕ Orifice, cup, or nozzle size			X
	.5 ϕ Method cleaning			X
	.6 ϕ Method back gouge			X
	.7 ϕ Oscillation			X
	.8 ϕ Tube-work distance			X
	.9 ϕ Multiple to single pass/side		X	X
	.10 ϕ Single to multiple electrodes		X	X
	.15 ϕ Electrode spacing			X
	.25 ϕ Manual or automatic			X
.26 \perp Peening			X	
.64 Use of thermal processes		X		

Legend:
 + Addition > Increase/greater than \uparrow Uphill \leftarrow Forehand ϕ Change
 - Deletion < Decrease/less than \downarrow Downhill \rightarrow Backhand

Anexo G

Formato de elaboración de WPS y PQR

FORMATO PARA ELABORACIÓN DE WPS PARTE I

2013 SECTION IX

(13)

FORM QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Organization Name _____ By _____
 Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Supporting POR No.(s) _____
 Revision No. _____ Date _____

Welding Process(es) _____ Type(s) _____
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

JOINTS (QW-402) Details

Joint Design _____
 Root Spacing _____
 Backing: Yes _____ No _____
 Backing Material (Type) _____
(Refer to both backing and retainers)

Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.

Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)]

***BASE METALS (QW-403)**

P-No. _____ Group No. _____ to P-No. _____ Group No. _____
 OR
 Specification and type/grade or UNS Number _____
 to Specification and type/grade or UNS Number _____
 OR
 Chem. Analysis and Mech. Prop. _____
 to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____

Thickness Range:
 Base Metal: Groove _____ Fillet _____
 Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13 mm) (Yes) _____ (No) _____
 Other _____

*FILLER METALS (QW-404)	1	2
Spec. No. (SFA) _____		
AWS No. (Class) _____		
F-No. _____		
A-No. _____		
Size of Filler Metals _____		
Filler Metal Product Form _____		
Supplemental Filler Metal _____		
Weld Metal		
Deposited Thickness:		
Groove _____		
Fillet _____		
Electrode-Flux (Class) _____		
Flux Type _____		
Flux Trade Name _____		
Consumable Insert _____		
Other _____		

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

(07/13)

FORMATO PARA ELABORACIÓN DE WPS PARTE II

2013 SECTION IX

FORM QW-482 (Back)

WPS No. _____ Rev. _____

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ Welding Progression: Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____																							
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum _____ Interpass Temperature, Maximum _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)	GAS (QW-408) <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Gas(es)</th> <th style="text-align: center;">(Mixture)</th> <th style="text-align: center;">Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	_____	_____	_____	Trailing	_____	_____	_____	Backing	_____	_____	_____	Other	_____	_____	_____
	Percent Composition																							
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																					
Shielding	_____	_____	_____																					
Trailing	_____	_____	_____																					
Backing	_____	_____	_____																					
Other	_____	_____	_____																					
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)																								
Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.																								
			Filler Metal																					
Weld Pass(es)	Process	Classifi- cation	Diameter	Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Com- ments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)														
Pulsing Current _____ Heat Input (max.) _____ Tungsten Electrode Size and Type _____ <small>(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)</small> Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ <small>(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)</small> Other _____																								
TECHNIQUE (QW-410) String or Weave Bead _____ Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____ Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____ Method of Back Gouging _____ Oscillation _____ Contact Tube to Work Distance _____ Multiple or Single Pass (Per Side) _____ Multiple or Single Electrodes _____ Electrode Spacing _____ Peening _____ Other _____																								

(07/10)

FORMATO PARA ELABORACIÓN DE PQR PARTE I

2013 SECTION IX

FORM QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)
(See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)
Record Actual Variables Used to Weld Test Coupon

Organization Name _____
 Procedure Qualification Record No. _____ Date _____
 WPS No. _____
 Welding Process(es) _____
 Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic) _____

JOINTS (QW-402)

Groove Design of Test Coupon
 (For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

<p>BASE METALS (QW-403) Material Spec. _____ Type/Grade, or UNS Number _____ P-No. _____ Group No. _____ to P-No. _____ Group No. _____ Thickness of Test Coupon _____ Diameter of Test Coupon _____ Maximum Pass Thickness _____ Other _____ _____ _____</p>	<p>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature _____ Time _____ Other _____ _____ _____</p>
---	--

<p>FILLER METALS (QW-404)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black;">1</td> <td style="width: 50%;">2</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">SFA Specification _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">AWS Classification _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Filler Metal F-No. _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Weld Metal Analysis A-No. _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Size of Filler Metal _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Filler Metal Product Form _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Supplemental Filler Metal _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Electrode Flux Classification _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Flux Type _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Flux Trade Name _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Weld Metal Thickness _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;">Other _____</td> <td>_____</td> </tr> </table>	1	2	SFA Specification _____	_____	AWS Classification _____	_____	Filler Metal F-No. _____	_____	Weld Metal Analysis A-No. _____	_____	Size of Filler Metal _____	_____	Filler Metal Product Form _____	_____	Supplemental Filler Metal _____	_____	Electrode Flux Classification _____	_____	Flux Type _____	_____	Flux Trade Name _____	_____	Weld Metal Thickness _____	_____	Other _____	_____	<p>GAS (QW-408)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Gas(es)</th> <th style="text-align: center;">(Mixture)</th> <th style="text-align: center;">Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other _____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding _____	_____	_____	_____	Trailing _____	_____	_____	_____	Backing _____	_____	_____	_____	Other _____	_____	_____	_____
1	2																																																	
SFA Specification _____	_____																																																	
AWS Classification _____	_____																																																	
Filler Metal F-No. _____	_____																																																	
Weld Metal Analysis A-No. _____	_____																																																	
Size of Filler Metal _____	_____																																																	
Filler Metal Product Form _____	_____																																																	
Supplemental Filler Metal _____	_____																																																	
Electrode Flux Classification _____	_____																																																	
Flux Type _____	_____																																																	
Flux Trade Name _____	_____																																																	
Weld Metal Thickness _____	_____																																																	
Other _____	_____																																																	
	Percent Composition																																																	
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																																															
Shielding _____	_____	_____	_____																																															
Trailing _____	_____	_____	_____																																															
Backing _____	_____	_____	_____																																															
Other _____	_____	_____	_____																																															

<p>POSITION (QW-405) Position of Groove _____ Weld Progression (Uphill, Downhill) _____ Other _____ _____</p>	<p>TECHNIQUE (QW-410) Travel Speed _____ String or Weave Bead _____ Oscillation _____ Multipass or Single Pass (Per Side) _____ Single or Multiple Electrodes _____ Other _____ _____ _____</p>
--	--

<p>PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature _____ Interpass Temperature _____ Other _____ _____</p>	
--	--

FORMATO PARA ELABORACIÓN DE PQR PARTE II

2013 SECTION IX

FORM QW-483 (Back)

Tensile Test (QW-150)

PQR No. _____

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress, (psi or MPa)	Type of Failure and Location

Guided-Bend Tests (QW-160)

Type and Figure No.	Result

Toughness Tests (QW-170)

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	Impact Values			Drop Weight Break (Y/N)
				ft-lb or J	% Shear	Mils (in.) or mm	

Comments _____

Fillet-Weld Test (QW-180)

Result — Satisfactory: Yes _____ No _____ Penetration into Parent Metal: Yes _____ No _____

Macro — Results _____

Other Tests

Type of Test _____

Deposit Analysis _____

Other _____

Welder's Name _____ Clock No. _____ Stamp No. _____

Tests Conducted by _____ Laboratory Test No. _____

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Organization _____

Date _____ Certified by _____

(Detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

Anexo H

Tablas según la Norma AWS y ASME para designación del metal base y aporte

TABLA SEGÚN NORMA AWS PARA LA DESIGNACIÓN DEL NÚMERO P

	Tipo de Material
P-1	Acero al carbono
P-3	Acero de baja aleación
P-4	Acero de baja aleación
P-5	Acero de aleación
P-6	Acero de alta aleación; predominantemente martensítico
P-7	Acero de alta aleación; predominantemente ferrítico
P-8	Acero de alta aleación; austenítico
P-9	Acero aleado al níquel
P-10	Aceros de alta aleación especiales
P-21	Aluminio y aleaciones a base de aluminio
P-31	Cobre y aleaciones de cobre
P-41	Níquel

TABLA SEGÚN LA NORMA AWS PARA DESIGNACIÓN DEL NÚMERO F PARA MATERIAL DE APORTE

A5.10	Aluminio: electrodos y varillas descubiertos
A5.3	Aluminio: electrodos cubiertos
A5.8	Metal de aportación de soldadura fuerte
A5.1	Acero, al carbono, electrodos cubiertos
A5.20	Acero, al carbono, electrodos con núcleo de fundente
A5.17	Acero, al carbono, alambres y fundentes de arco sumergido
A5.18	Acero, al carbono, electrodos de arco de metal con gas
A5.2	Acero: soldadura con gas de oxiacetileno
A5.5	Acero: electrodos cubiertos de baja aleación
A5.23	Acero: electrodos y fundentes de baja aleación, arco sumergido
A5.28	Acero: metales de aportación de baja aleación para soldadura por arco bajo gas protector
A5.29	Acero: electrodos con núcleo de fundente, de baja aleación

TABLA PARA LA DESIGNACIÓN DEL NÚMERO A DEL ANÁLISIS DEL METAL SOLDADO

Table QW-442 A-Numbers Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification							
A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)] and [Note (2)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	0.20	0.30	0.50	1.60	1.00
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	0.50	1.60	1.00
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	0.50	1.60	1.00
4	Chrome (2% to 4%)-Molybdenum	0.15	2.00-4.00	0.40-1.50	0.50	1.60	2.00
5	Chrome (4% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	4.00-10.50	0.40-1.50	0.80	1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00-15.00	0.70	0.80	2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00-30.00	1.00	0.80	1.00	3.00
8	Chromium-Nickel	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00
9	Chromium-Nickel	0.30	19.00-30.00	6.00	15.00-37.00	2.50	1.00
10	Nickel to 4%	0.15	0.50	0.55	0.80-4.00	1.70	1.00
11	Manganese-Molybdenum	0.17	0.50	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.00
12	Nickel-Chrome—Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.00

NOTES:
 (1) Single values shown above are maximum.
 (2) Only listed elements are used to determine A-numbers.

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE APORTE PARA EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW STT

MIG (GMAW) WIRE

SuperArc® LA-75
(AWS ER80S-Ni1 & ENi1K)

DIAMETERS / PACKAGING

Diameter in (mm)	33 lb (15 kg) Steel Spool
0.035 (0.9)	ED031415
0.045 (1.1)	ED031416

MECHANICAL PROPERTIES⁽¹⁾ – As Required per AWS A5.28/A5.28M: 2005

	Yield Strength ⁽²⁾	Tensile Strength	Elongation	Charpy V-Notch J (ft•lbf)		
	MPa (ksi)	MPa (ksi)	%	@ -29°C (-20°F)	@ -45°C (-50°F)	@ -62°C (-80°F)
Requirements - AWS ER80S-Ni1						
As-Welded with 98% Ar/2% O ₂	470 (68) min.	550 (80) min.	24 min.	Not Specified	27 (20) min.	Not Specified
Typical Results⁽³⁾						
As-Welded with 90% Ar/10% CO ₂	475 (69)	580 (84)	28	119 (88)	82 (60)	35 (26)
Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150° F)	450 (65)	565 (82)	32	- -	127 (93)	112 (82)
As-Welded with 75% Ar/25% CO ₂	495 (72)	595 (86)	27	49 (36)	54 (40)	- -
Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150° F)	440 (64)	560 (81)	31	127 (94)	114 (84)	54 (40)
As-Welded with 98% Ar/2% O ₂	490 (71)	580 (84)	30	- -	172 (127)	- -
Stress Relieved 1 hr. @ 621°C (1150° F)	420 (61)	540 (78)	31	- -	230 (170)	165 (122)

WIRE COMPOSITION – As Required per AWS A5.28/A5.28M: 2005

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr
Requirements - AWS ER80S-Ni1	0.12 max.	1.25 max.	0.40-0.80	0.80-1.10	0.15 max.
Typical Results⁽³⁾	0.07-0.08	0.94-1.04	0.54-0.58	0.88-0.98	≤ 0.04
	%Mo	%S	%P	%V	%Cu (Total) ⁽⁴⁾
Requirements - AWS ER80S-Ni1	0.35 max.	0.025 max.	0.025 max.	0.05 max.	0.35 max.
Typical Results⁽³⁾	≤ 0.02	0.007 - 0.010	0.005 - 0.010	< 0.01	0.16 - 0.21

TYPICAL OPERATING PROCEDURES

Diameter, Polarity Shielding Gas	CTWD ⁽⁵⁾ mm (in)	Wire Feed Speed m/min (in/min)	Voltage (volts)	Approx. Current (amps)	Melt-Off Rate kg/hr (lb/hr)
0.035 in (0.9 mm), DC+					
Short Circuit Transfer 75% Ar/25% CO ₂ ⁽⁶⁾	9-12 (3/8-1/2)	2.5 (100)	17	80	0.7 (1.6)
		3.8 (150)	18	120	1.1 (2.4)
		6.4 (250)	22	175	1.8 (4.0)
Spray Transfer 90% Ar/10% CO ₂	12-19 (1/2-3/4)	9.5 (375)	23	195	2.7 (6.0)
		12.7 (500)	29	230	3.6 (8.0)
		15.2 (600)	30	275	4.4 (9.6)
0.045 in (1.1 mm), DC+					
Short Circuit Transfer 75% Ar/25% CO ₂ ⁽⁶⁾	12-19 (1/2-3/4)	3.2 (125)	19	145	1.5 (3.4)
		3.8 (150)	20	165	1.8 (4.0)
		5.1 (200)	21	200	2.4 (5.4)
Spray Transfer 90% Ar/10% CO ₂	12-19 (1/2-3/4)	8.9 (350)	27	285	4.2 (9.2)
		12.1 (475)	30	335	5.7 (12.5)
		12.7 (500)	30	340	6.0 (13.2)

⁽¹⁾Typical of weld metal. ⁽²⁾Measured with 0.2% offset. ⁽³⁾See test results disclaimer below. ⁽⁴⁾Copper due to any coating on the electrode plus the copper content of the filler metal itself, shall not exceed the stated 0.50% max. ⁽⁵⁾CTWD (Contact Tip to Work Distance). Subtract 1/4 in (6.4 mm) to calculate Electrical Stickout. ⁽⁶⁾Procedures in the shaded areas are procedures for short circuiting mode using 75% Argon, 25% CO₂. NOTE: For 100% CO₂ procedures, add 1 to 2 volts for short circuit transfer and 2 to 3 volts for globular transfer.

Anexo I

Tabla de tiempos de permanencia del penetrador para el ensayo de líquidos penetrantes
según los requerimientos del código ASME

Table T-672 Minimum Dwell Times			
Material	Form	Type of Discontinuity	Dwell Times [Note (1)]
			Penetrant (minutes)
Aluminum, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high- temperature alloys	Castings and welds	Cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks (all forms)	5
	Wrought materials — extrusions, forgings, plate	Laps, cracks	10
Carbide-tipped tools	Brazed or welded	Lack of fusion, porosity, cracks	5
Plastic	All forms	Cracks	5
Glass	All forms	Cracks	5
Ceramic	All forms	Cracks	5

NOTE:
(1) For temperature range from 50°F to 125°F (10°C to 52°C). For temperatures from 40°F (5°C) up to 50°F (10°C), minimum penetrant dwell time shall be 2 times the value listed.

Anexo J

Informe técnico ensayo de tracción y de doblado soldadura GMAW STT

INFORME TÉCNICO ENSAYO DE TRACCIÓN Y DE DOBLADO SOLDADURA GMAW STT ACERO A537 CL 1 PARTE I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – ABR.02.15

Quito 17 de abril de 2015

TRABAJO SOLICITADO POR: INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A.

ORDEN DE TRABAJO N° 0002775 (2)

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en juntas soldadas pertenecientes a INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A. para calificación de procedimiento de soldadura. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Dos (2) juntas soldadas para ensayo de tracción y cuatro (4) juntas soldadas para ensayo de doblado bajo código ASME sección IX.

2. GENERALIDADES

A continuación se indican los datos generales de las probetas de acuerdo a información entregada por el solicitante:

Código de WPS:	IAA-MSF-C1-04-14-HT
Norma aplicable:	Código ASME sección IX
Proceso de soldadura:	GMAW
Material base:	ASTM A 537 Cl. 1

3. ENSAYO DE TRACCIÓN BAJO EL CÓDIGO ASME SECCIÓN IX

En la tabla 1 se muestran los resultados de los ensayos de tracción realizados. La resistencia mínima a la tracción del material base ASTM A 537 Cl.1 es: 70 ksi (485 MPa).

LAEV-EPN
Orden N° 0002775 (2)



INFORME TÉCNICO ENSAYO DE TRACCIÓN Y DE DOBLADO SOLDADURA GMAW STT ACERO A537 CL1 PARTE II

Tabla 1. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo

Id.	Ancho promedio	Espesor promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.	Calificación
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa		
IAA-MSF-C1-04-14-HT-T1	19,17	12,87	28.900	128.554	75,6	521,1	FJS	Aprueba
IAA-MSF-C1-04-14-HT-T2	18,99	12,72	29.500	131.222	78,8	543,2	FJS	Aprueba

* FJS: Falla en la junta soldada.

3. ENSAYO DE DOBLADO BAJO EL CÓDIGO ASME SECCIÓN IX

En la tabla 2 se muestran los resultados del ensayo de doblado realizado.

Tabla 2. Resultados del ensayo de doblado.

Identificación	Observaciones	Calificación
IAA-MSF-C1-04-14-HT-DC1	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
IAA-MSF-C1-04-14-HT-DC2	Se observa una discontinuidad de 1,5 mm en el cordón de soldadura.	Aprueba
IAA-MSF-C1-04-14-HT-DR1	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba
IAA-MSF-C1-04-14-HT-DR2	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura	Aprueba



Anexo K

Certificado de lámina de acero A537 Cl 1

No. 10430453 舞阳钢铁有限责任公司 WUYANG IRON AND STEEL CO., LTD. 舞阳钢铁有限公司
 订货单位: TO WHOM IT MAY CONCERN 证书号: 141E2242
 合同编号: 14WYSG-183 生产许可证号: 生产许可证号: 生产许可证号:
 合同技术条件: AS PER ASTM A537/A537M LATEST EDITION 号: 号: 号:
 TECHNICAL CONDITION: EDITION 号: 号: 号:
 产品名称: 热轧钢板 车号: 车号: 车号:
 PRODUCT: HOT ROLLED STEEL PLATE TRAIN NO. NO.

QR/C07E05



质量证明书
QUALITY CERTIFICATE

化学成分: 0.001% CHEMICAL COMPOSITION

钢号 STEEL GRADE	炉号 HEAT No.	批号 BATCH No.	尺寸 DIMENSIONS mm	块数 WEIGHT P C S	重量 (t)	化学成分: 0.001% CHEMICAL COMPOSITION														试样 TEST PIECE	拉力试验 TENSILE			弯曲试验 BEND TEST			冲击试验 IMPACT			硬度 HB													
						* C	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al ₁	Mo	Ti	Cu	Nb	Ni	V		N	B	Coq	Rp0.2 (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	D 结果	Angle L/A	Result		℃	J	D	Dia	V								
A537Cl1	14106250A1	CHA422533	38*3048*12200	1	11.092	0	180	230	1420	14	3	110	20	27	3	20	20	120	3	0.1	0	390	590	30.0	d=1.5m	pass	180	V	125	1/4	116												
						以下空白 BLANK																																					

合计: 1 块 PCS 11.092 吨
 TOTAL: 1 PCS 11.092 T
 超声波试验: 合格状态: 正火
 ULTRASONIC TEST: CONDITION OF SUPPLY: NORMALIZED
 *1 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *2 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *3 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *4 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *5 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *6 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *7 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *8 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *9 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 *10 化学成分分析: 熔体分析, 1 成品分析, 2 炉前分析, 3 炉后分析, 4 炉后分析, 5 炉后分析, 6 炉后分析, 7 炉后分析, 8 炉后分析, 9 炉后分析, 10 炉后分析
 1) Hot-rolled steel plate.
 2) All steel has been totally fine grained and vacuum degassed.
 3) Size tolerance as per ASTM A20/A20M
 4) MTC to be issued acc. to EN10204-2010/3.1.

1. 无产品重量证明专用章无效。Effective with quality certificate stamping.
 2. 我们特此证明: 此证书上所述的材料已按照订单和材料规范要求进行生产和检验, 其结果符合要求。
 2. We hereby certify that the material described herein has been manufactured and tested with satisfactory results in accordance with the requirements of the above material specification and the terms of order.

生产单位: 舞阳钢铁有限公司
 PRODUCTION UNIT: WUYANG IRON AND STEEL CO., LTD.
 地址: 中国河南舞阳
 ADDRESS: WUYANG HENAN CHINA
 电话(Tel): 0375-8111264
 传真(Fax): 0375-8114006
 质量检验负责人: 王金胜
 PERSON-IN-CHARGE OF QUALITY EXAMINATION: WANG JINSHENG
 开证员: 武发宇
 OPERATOR: WU FAYU
 日期: 2020年12月20日
 DATE: 20 MONTH DAY
 09011 34100 98045 23490
 中国产钢集团有限公司
 CNAS 12681



Anexo L

Ensayo de doblado del soldador WT-06

	ILPM ENGINEERING CIA LTDA Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales REGISTRO DE ENSAYOS	INFORME No. ILPM 2015-148 WPS: IAA-MSF-C1-04-14-HT
Compañía:	Industria Acero de los Andes	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Registro fotográfico Probetas</div> 
Solicitado Por:	Ing. Gabriel Molina	
WPS de Referencia No.:	IAA-MSF-C1-04-14-HT	
Temperatura	20°C	
Humedad Relativa	65%	
Nombre del Soldador	Geovanny Sigcha	
Identificación Soldador	WT-06	
Fecha de Prueba	20 de Mayo del 2015	
Probeta	Tipo de Ensayo	
WT-06 DL1	Doblado de lado	Ausencia de indicaciones
WT-06 DL2	Doblado de lado	Discontinuidad 2,95 mm dentro de tolerancia
WT-06 DL3	Doblado de lado	Discontinuidad 1,49 mm dentro de tolerancia
WT-06 DL4	Doblado de lado	Ausencia de indicaciones
RESULTADO		
APROBADO		
Las probetas analizadas satisfacen los requerimientos de ASME Sección IX para la aceptación de ensayos de doblado.		
Certificamos que los resultados contenidos en este registro son correctos, y que las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la Sección IX del Código ASME. Las probetas fueron atacadas con Nital al 10% previo a la realización del ensayo de acuerdo a ASME IX QW 472.4 y ASTM E407		
Realizado por:  Ing. Luis Sornoza ILPM Engineering	Aprobado por:   Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401	Cliente / Fiscalización: Industria Acero de los Andes

Derechos Reservados de ILPM Cía. Ltda. Prohibida su reproducción parcial o total.