

Universidad Nacional
“José Faustino Sánchez Carrión”

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



TESIS
Para Optar el Título de
INGENIERO METALURGICO

**METODOLOGIA PARA LA CALIFICACION DE UN
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN EL CODIGO ASME
SECCION VIII DIV.1 PARA LA CONSTRUCCION DE UN TANQUE A
PRESIÓN EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALICAS
S.A.C.**

Autor

LEONEL ULISES CAQUI PASCACIO

Asesor

Mg. Israel NARVASTA TORRES

CIP: 146766

Huacho - Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios, porque es la máxima expresión de mi fe y la luz que ilumina mi camino que me ha permitido lograr mi objetivo y a mis padres por el apoyo constante que me han brindado para hacer realidad mi objetivo de ser Profesional.

Leonel Ulises Caqui Pascacio

AGRADECIMIENTO

A Dios por se la luz que ilumina mi vida a mis Padres por el esfuerzo y sacrificio que han realizado para llegar a ser profesional al servicio de la sociedad.

A mi asesor por el apoyo recibido en el desarrollo de la tesis.

Leonel Ulises Caqui Pascacio

RESUMEN

En el presente trabajo se indica la metodología que se debe aplicar para la calificación de un procedimiento de soldadura según los requisitos exigidos por el Código ASME Sección VIII Div. 1 durante la fabricación de tanques a presión fabricados en la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.

En el capítulo I, se describe la realidad problemática que genera una mala ejecución del proceso de soldadura y los efectos perjudiciales que pueden presentarse por una mala práctica; a la vez se define los objetivos que conlleva el trabajo, la justificación de porque se realiza el trabajo y la delimitación con la que cuenta como también su viabilidad.

El capítulo II contiene los antecedentes de la investigación y el marco teórico donde que se adoptaron las principales teorías utilizada en el presente trabajo de investigación. Se formulan la hipótesis general y específicas bases para el inicio de la investigación.

El diseño metodológico se define en el capítulo III, donde se determina los tipos de investigación, el nivel y enfoque que se da al presente trabajo de investigación. Se limita la población y muestra que se va a abarcar; se describe las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos necesarios para realizar el presente trabajo.

En el capítulo VI, se detalla y presenta los resultados obtenidos durante el tiempo que se realizó el trabajo de investigación, mediante cuadros, gráficas y la realización de las interpretaciones de las mismas.

En el capítulo V, se realizó la discusión que se generaron al realizar el análisis de los resultados obtenidos; se determina las conclusiones y se da las recomendaciones necesarias en base a los resultados obtenidos.

Las fuentes bibliográficas que se usaron y fueron de apoyo durante la realización del presente trabajo se detalla en el capítulo VI; como parte final se anexa datos que son relevantes durante la ejecución del trabajo.

Palabras claves: *Calificación de procedimiento, Soldadura, Código ASME, Tanques a presión.*

ABSTRACT

In the present work the methodology that must be applied for the qualification of a welding procedure according to the requirements demanded by the ASME Code Section VIII Div. 1 during the manufacturing of pressure tanks manufactured in the company Construcciones Metálicas S.A.C.

In chapter I, the problematic reality that generates a bad execution of the welding process and the harmful effects that can be presented by a bad practice is described; At the same time, the objectives of the work are defined, the justification of why the work is done and the delimitation with which it counts as well as its viability.

Chapter II contains the background of the research and the theoretical framework in which the main theories used in this research work were adopted. The general hypothesis and specific bases for the initiation of the investigation are formulated.

The methodological design is defined in chapter III, where the types of research are determined, the level and approach given to the present research work. The population is limited and shows that it will be included; The techniques and instruments used to collect the data necessary to carry out the present work are described.

In chapter VI, the results obtained during the time of the research work are detailed and presented by means of tables, graphs and the realization of the interpretations of them.

In chapter V, the discussion that was generated when performing the analysis of the results obtained was carried out; the conclusions are determined and the necessary recommendations are given based on the results obtained.

The bibliographic sources that were used and were supportive during the realization of this work are detailed in chapter VI; As a final part, data that is relevant during the execution of the work is attached.

Keywords: *Procedure qualification, Welding, ASME Code, Pressure tanks.*

INTRODUCCIÓN

El mercado emergente de almacenamiento y transporte de combustibles gaseoso hacen que más empresas metalmecánicas en el Perú comiencen a fabricar tanques a presión cumpliendo los estándares de calidad bajo las exigentes normativas internacionales, como por ejemplo el Código ASME.

Durante la etapa de fabricación mediante procesos de soldadura de los tanques sometidos a presión, presentan zonas que pueden ser susceptibles a defectos, como son las juntas soldadas realizadas para la unión del cuerpo, los casquetes, accesorios y conexiones que presenta el tanque. Estas zonas pueden presentar discontinuidades debido a parámetros mal aplicados o controlados durante los procesos de soldadura.

Para un aseguramiento de calidad durante la fabricación del tanque se deben de seguir lineamientos de la calidad a los actores involucrados durante el proceso. Los procedimientos de soldadura representan documentos donde se evidencian y se consideran la aplicación de los parámetros involucrados en la fabricación del tanque en cumplimiento a lo exigido en el Código de referencia; por tanto, para la calificación de dichos documentos se deben auxiliar bajo ensayos mecánicos y ensayos no destructivos realizados a cupones o probetas de pruebas, determinando las condiciones en la que se encuentran las juntas soldadas. Esto garantiza la sanidad de la junta soldada y la garantía para la aplicación del proceso durante la fabricación del tanque.

INDICE GENERAL

Portada.	1
Dedicatoria.	2
Agradecimiento.	3
Resumen.	4
Abstract.	6
Introducción.	8
Índice general.	9
Índice de figuras.	13
Índice de tablas.	15
Índice de anexos.	16
CAPITULO I: Planteamiento del Problema.	
1.1. Descripción de la realidad problemática.	17
1.2. Formulación del problema.	18
1.2.1. Problema general.	18
1.2.2. Problemas específicos.	18
1.3. Objetivos.	19
1.3.1. Objetivo general.	19
1.3.2. Objetivos específicos.	19
1.4. Justificación de la investigación.	19
1.4.1. Justificación técnica.	19
1.4.2. Justificación económica.	20
1.5. Delimitación del estudio.	20
1.5.1. Delimitación temporal.	20
1.5.2. Delimitación espacial.	20
1.5.3. Delimitación académica.	21
1.6. Viabilidad del estudio.	21
1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.	21
1.6.2. Viabilidad de recurso humano.	21
1.6.3. Viabilidad de recurso temporal.	22

1.6.4. Viabilidad de recurso financiero.	22
CAPITULO II: Marco Teórico.	
2.1. Antecedentes de la investigación.	23
2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.	23
2.1.2. Otras publicaciones.	27
2.2. Bases Teóricas.	29
2.2.1. Recipientes a presión.	29
2.2.2. Calidad de soldadura.	30
2.2.3. Procesos de soldadura.	31
2.2.3.1. Clasificación de los procesos de soldadura.	31
2.2.3.1.1. Proceso de soldadura SMAW.	32
2.2.3.1.2. Proceso de soldadura GMAW.	33
2.2.3.1.3. Proceso de soldadura GTAW.	34
2.2.3.2. Posiciones de soldadura.	35
2.2.3.3. Tipos de juntas.	38
2.2.3.4. Tipos de soldadura.	39
2.2.4. Códigos.	41
2.2.5. Código ASME.	42
2.2.6. Calificación de los procesos de soldadura.	42
2.2.6.1. Precalificación.	43
2.2.6.2. Calificación.	43
2.2.7. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS).	45
2.2.8. Registro de calificación de procedimiento (PQR).	46
2.2.9. Variables.	46
2.2.9.1. Variables esenciales.	47
2.2.9.2. Variables esenciales suplementarias.	47
2.2.9.3. Variables no esenciales.	48
2.2.10. Ensayos No Destructivos.	48
2.2.10.1. Ensayo de tracción.	48
2.2.10.2. Ensayo de impacto.	49
2.2.10.3. Ensayo de doblez.	50

2.2.10.3.1. Doblado de cara.	51
2.2.10.3.2. Doblado de raíz.	52
2.2.10.3.3. Doblado de lado.	52
2.3. Definiciones conceptuales.	53
2.4. Formulación de hipótesis.	57
2.4.1. Hipótesis general.	57
2.4.2. Hipótesis específicas.	57

CAPITULO III: Metodología.

3.1. Diseño metodológico.	58
3.1.1. Tipo de investigación.	59
3.1.2. Nivel de investigación.	59
3.1.3. Diseño de investigación.	59
3.1.4. Enfoque de la investigación.	59
3.2. Población y muestra.	60
3.2.1. Población.	60
3.2.2. Muestra.	60
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.	60
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.	61
3.4.1. Técnicas a emplear.	61
3.4.2. Descripción de los instrumentos.	62
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.	62

CAPITULO IV: Resultados

4.1. Elaboración del procedimiento de soldadura (WPS).	64
4.1.1. Preparación de probeta.	65
4.1.2. Aplicación de soldadura en la probeta.	66
4.1.3. Ensayo mecánico para determinar la calificación.	71
4.1.3.1. Ensayo de tracción.	72
4.1.3.2. Ensayo de doblez.	75
4.1.4. Calificación del proceso de soldadura.	76

CAPITULO V: Discusión, conclusiones y recomendaciones.	
5.1. Discusión.	77
5.2. Conclusiones.	79
5.3. Recomendaciones.	80
CAPITULO VI: Fuentes de información.	
6.1. Fuentes bibliográficas.	82
Anexos.	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Tanque a presión.	29
Figura 2:	Clasificación de los tanques a presión.	30
Figura 3:	Clasificación de los procesos de soldadura.	31
Figura 4:	Esquema del proceso de soldadura SMAW.	32
Figura 5:	Esquema del proceso de soldadura GMAW.	34
Figura 6:	Esquema del proceso de soldadura GTAW.	35
Figura 7:	Posiciones de soldadura para placas en ranura.	36
Figura 8:	Posiciones de soldadura para tubería en ranura.	36
Figura 9:	Posiciones de soldadura para placas en filete.	37
Figura 10:	Posiciones de soldadura para tubería en filete.	37
Figura 11:	Tipos básicos de uniones.	38
Figura 12:	Soldadura tipo cordón.	39
Figura 13:	Esquema de una soldadura de filete.	39
Figura 14:	Esquema de soldadura de tapón.	40
Figura 15:	Esquema Soldadura de ranura, junta con bisel en V.	40
Figura 16:	Influencia del aporte térmico y de la temperatura de precalentamiento en el ciclo térmico de soldeo.	47
Figura 17:	Probetas soldadas ensayadas por tracción.	49
Figura 18:	Probetas soldadas ensayadas por impacto.	50
Figura 19:	Probetas soldadas – Ensayo de doblez de cara.	51
Figura 20:	Probetas soldadas – Ensayo de doblez de raíz.	52
Figura 21:	Probetas soldadas – Ensayo de doblez de lado.	53
Figura 22:	Esquema de reparación de junta.	65
Figura 23:	Preparación de junta.	65
Figura 24:	Probetas de prueba.	66
Figura 25:	Proceso de soldadura – 6G.	68
Figura 26:	Cordón de raíz.	69
Figura 27:	Cordón de cobertura.	69
Figura 28:	Verificación de amperaje.	70
Figura 29:	Extracción de probetas para ensayos mecánicos.	72
Figura 30:	Diagrama esfuerzo – deformación. Probeta 1.	73
Figura 31:	Ensayo de tracción probeta 1.	73
Figura 32:	Diagrama esfuerzo – deformación. Probeta 2.	74

Figura 33:	Ensayo de dobléz.	75
Figura 34:	Probetas ensayadas.	75
Figura 35:	Ítem QW-153.1.	77
Figura 36:	Ítem QW-163.	78

INDICE DE TABLAS

Tabla	1: Ejemplo de Normas y códigos de proyectos.	41
Tabla	2: Variables e Indicadores.	61
Tabla	3: Valores de las partes de la junta soldada.	66
Tabla	4: Variables aplicadas en la calificación del WPS.	67
Tabla	5: Parámetros de proceso medidos.	71
Tabla	6: Datos de ensayo de tracción – probeta 1.	72
Tabla	7: Datos de ensayo de tracción – probeta 2.	74
Tabla	8: Datos de ensayo de dobléz.	76
Tabla	9: Resultados del ensayo de dobléz.	76

INDICE DE ANEXOS

Anexo	1:	Memoria de Cálculo del Tanque.	86
Anexo	2:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-253	87
Anexo	3:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-253.1	88
Anexo	4:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-255	89
Anexo	5:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-255.1	91
Anexo	6:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-256	92
Anexo	7:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-256.1	94
Anexo	8:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-451	95
Anexo	9:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-462.1	96
Anexo	10:	Extracto Código ASME IX Tabla QW/QB-422	98
Anexo	11:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-462.2	99
Anexo	12:	Extracto Código ASME IX Tabla QW-462.3	100

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

Durante la fabricación de tanques a presión, es indispensable que las uniones de las piezas y sus componentes sean lo más seguro y de alta calidad; al ser los procesos de soldadura el método más usado para la realización de este tipo de trabajo, es necesario el control de la calidad de las juntas soldadas desde su preparación y ejecución. Es responsabilidad de las empresas fabricantes de tanques a presión el comprobar que estos cumplan con los requerimientos del cliente y los lineamientos de los códigos y especificaciones establecidos para los procesos de soldadura aplicados.

Uno de los problemas mas frecuente que se presentan en las empresas dedicadas a la fabricación de elementos soldados están en la calidad de la junta soldada que se realizan, esto debido a muchos factores que se deben de controlar, como son los parámetros de soldadura, el recurso humano, los procedimientos de soldadura, etc., que determinan las condiciones finales de la unión soldada pudiendo presentarse discontinuidades y/o defectos por un mal control de los parámetros anteriormente mencionados. La aplicación de una metodología para la calificación de un procedimiento de soldadura permite asegurar la calidad de las juntas soldadas realizadas durante la construcción del tanque a presión, garantizando la idoneidad y compatibilidad del metal de aporte depositado con el

metal base utilizado, así mismo determinar que las juntas soldadas fueron realizadas por personal calificado bajo el cumplimiento de los procedimientos de soldadura idóneos, y el cumplimiento de los requisitos estipulados en el Código ASME Sección VIII Div. 1.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema General.

¿En qué medida la aplicación de la metodología para calificación de un procedimiento de soldadura según el Código ASME Sección VIII Div. 1 influye en la construcción de un tanque a presión en la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.?

1.2.2. Problemas Específicos.

- ¿En qué medida la elaboración de un procedimiento de soldadura nos permite obtener los lineamientos para la fabricación de un tanque a presión?
- ¿En qué medida la definición de las variables de los procesos de soldadura nos permite obtener mejores resultados durante la construcción del tanque a presión?
- ¿En qué medida la selección y aplicación de los ensayos requeridos nos ayuda en la evaluación de las variables de los procesos de soldadura?

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo General.

Aplicar la metodología para la calificación de un procedimiento de soldadura según el Código ASME Sección VIII Div. 1 en la construcción de un tanque a presión en la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Elaboración de un procedimiento de soldadura para obtener los lineamientos de fabricación de un tanque a presión.
- Definir las variables de los procesos de soldadura para la obtención de mejores resultados durante la construcción del tanque a presión.
- Seleccionar y aplicar los ensayos requeridos para la evaluación de las variables de los procesos de soldadura.

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación técnica.

La metodología para la calificación de un procedimiento de soldadura según el Código ASME Sección VIII Div. 1 aplicada durante la construcción de un tanque

a presión asegura una adecuada calidad durante la ejecución de las juntas soldadas, y el cumplimiento de los requisitos que estipula el Código aplicado, garantizando la seguridad del tanque durante su tiempo de servicio.

1.4.2. Justificación económica.

Un mal procedimiento de calificación de soldadura conlleva a la existencia de juntas soldadas deficientes que no cumplen con los lineamientos exigidos por el Código aplicado, teniendo que estas ser removidas para su reparación y una posterior reinspección, generando costos operativos elevados y atraso en el tiempo de entrega y ejecución del proyecto, que se refleja en altas pérdidas económicas para la empresa.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1. Delimitación temporal.

El presente trabajo de investigación comprende el periodo de fabricación del tanque a presión por parte de la empresa Construcciones Metálicas S.A.C. en el periodo de junio a diciembre del 2018.

1.5.2. Delimitación espacial.

El presente trabajo de investigación se realiza dentro de las instalaciones de la empresa Construcciones Metálicas S.A.C. en la ciudad de Lima, Perú.

1.5.3. Delimitación académica.

El informe de investigación cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión detallado en la resolución que hace referencia al grado de investigación y el esquema de presentación para el trabajo de tesis, esto se sustenta en bibliografías, textos, informes, reportes y estudios que proporcionan conceptos y teorías sobre la aplicación de metodología para la calificación de procedimientos de soldadura en tanques a presión.

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.

El tema de investigación del estudio “METODOLOGIA PARA LA CALIFICACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN EL CODIGO ASME SECCION VIII DIV.1 PARA LA CONSTRUCCION DE UN TANQUE A PRESIÓN EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALICAS S.A.C.”; cuenta con el suficiente acceso de información primaria tanto en libros, revistas, código, normas, internet, etc.

1.6.2. Viabilidad de recurso humano.

El estudio es viable, los recursos que el trabajo de investigación requiere es asumido por el tesista conjuntamente con apoyo del personal encargado de la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.

1.6.3. Viabilidad de recurso temporal.

El presente trabajo de investigación se realizó en un corto plazo de aproximadamente siete meses dentro del año 2018, por la ejecución de todos los procesos de investigación tales como: el planteamiento del problema, marco teórico, diseño de la investigación, metodología aplicada, adecuaciones a las variables exigidas, tabulaciones, conclusiones y recomendaciones.

1.6.4. Viabilidad de recurso financiero.

Si es viable, por medio de recursos económicos propios del tesista y de parte de la empresa auspiciadora, de manera que el proyecto es cofinanciado haciendo más viable debido al costo que genera sobre la aplicación de metodología para la calificación de procedimientos de soldadura en tanques a presión.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.

- a) Según Barazorda Villegas C. (2016) en el trabajo de investigación: ***Establecimiento de un Procedimiento de Calificación de Soldadores en la Empresa Skanska del Perú***; concluye que el “Establecimiento de un Procedimiento de Calificación de Soldadores” logro generar un orden en el proceso que la empresa venía desarrollando en independientemente en cada una de sus obras. La elaboración del procedimiento ayudo a definir a los responsables directos y participantes del proceso de calificación de soldadores. Los mismos que ahora cuentan con registros prácticos para efectuar el requisito del personal. Cabe resaltar que los registros se deberán ir alineándose a las nuevas actualizaciones de las normas mencionadas en el capítulo 2. Debemos tener en cuenta que el punto de partida de todo proceso de calificación son los datos, la información y las especificaciones de los puestos, pues su finalidad es proporcionar mayor objetividad y precisión en la calificación del personal. Bajo esta premisa, el orden generado se reflejó en el trabajo de campo, pues al contar con los soldadores en los tiempos solicitados, el proceso productivo no se vio afectado, y se cumplió con lo planificado por las obras.

Respecto al segundo objetivo “Se logró utilizar a los mismos soldadores en diferentes proyectos de la empresa, ahorrando tiempo y recursos recalificaciones”, La implementación del registro “RE-CON-CS-10; Carnet De Soldador” y de los formatos de calificación de soldadores, definió una única manera de identificar a los soldadores en la empresa. De esta manera cuando un soldador era enviado a otro proyecto de la empresa, podía trabajar de inmediato, sin necesidad de un nuevo examen de calificación. Cabe aclarar que esto siempre debía ser aprobado por la supervisión del cliente. Que en la mayor parte de los casos aceptaba a los nuevos soldadores. Haciendo referencia a las conclusiones 1 y 2, podemos indicar que se produjo unas significativas mejoras al reclutamiento de soldadores, debido a la reducción de pruebas innecesarias, a la unificación de conceptos, a la definición de responsables y la generación de registros únicos que tenían valides en todos los proyectos. Además del ahorro de recursos económicos tales como espacios a tener mejor planificado el tipo de prueba y la cantidad de personal a requerir, ahorro de horas hombre de supervisores de mando medio que evaluaban y generaban la documentación. (Barazorda Villegas, 2016)

- b) Según Zambrano Flores J. (2015), en el trabajo de investigación: ***Elaboración de una Guía de Inspección de Soldadura y Calificación de Soldadores Aplicado a las Normas ASME BPVC y API 1104***; concluye que se ha cumplido con el objetivo del presente trabajo, una guía de calificación de soldadores bajo los parámetros de las dos normas más usadas en nuestro país como son la API 1104 y el ASME BPVC. La soldadura es un proceso tecnológico de gran importancia el cual se encuentra regido por normas,

códigos y especificaciones, el cumplimiento de los mismos garantiza que el mismo se ejecute bajo los estándares de calidad necesarios. Existe una clara diferencia entre los criterios de aceptación de discontinuidades entre las normas API 1104 y ASME BPVC, debido a que son códigos para elementos que están sujetos a condiciones de servicio diferentes. Los ensayos no destructivos son de gran ayuda para verificar la integridad de equipos y estructuras, los mismos que deben ser realizados por personal debidamente calificado y bajo procedimientos estandarizados como los que se encuentran en el ASME boiler and pressure vessel code – Sección V.

La calificación de soldadores es un paso primordial previo a realizar un trabajo de soldadura, con lo cual se garantiza que el trabajo se realiza por personal calificado para el mismo. Los parámetros de calificación de soldadores de acuerdo a esta guía, cumplen con los procedimientos y requisitos de normas americanas, con lo cual se garantiza su efectividad para aplicarlo dentro del país. Los rangos de calificación del soldador varían dependiendo de variables fundamentales, las cuales tienen correspondencia con un rango de dificultad que está delimitado por cada norma. (Zambrano Flores, 2015)

- c) Según Barrera García D. y Rojano Gámez D. (2015) en el trabajo de investigación: ***Elaboración de un Procedimiento Específico de Soldadura (WPS) para la Construcción de Poliductos en Tuberías de Acero al Carbono Instalado Bajo la Técnica de Perforación Horizontal Dirigida para la Empresa Montecz S.A.***; concluyen que se elaboró un procedimiento de soldadura (WPS) con su registro de calificación (PQR) de acuerdo a las

condiciones establecidas en el estándar API1104, para la construcción de poliductos para la Empresa Montecz S.A.. La calificación de dicho procedimiento se llevó a cabo en las instalaciones de Montecz S.A., por parte del Autor, así como la inspección visual, la cual tuvo un resultado satisfactorio, así como la experiencia de la calificación. Los ensayos de rotura Nick, evidencian claramente que el procedimiento no cumple con el estándar API 1104. El análisis exhaustivo del resultado del ensayo Nick, muestra una tendencia clara de la falta de habilidad del soldador, debido a la presencia de escoria entre pases y lo más evidente, la falta de fusión registrada. A pesar de que los ensayos de doblamiento cumplieron con el estándar API 1104, un análisis del resultado evidencia de las ocho probetas ensayadas, tres presentaron discontinuidades menores, lo que aumenta la tendencia a que la habilidad del soldador compromete de manera negativa el resultado de los ensayos. Igual que los ensayos de doblez, las tracciones que se obtuvieron estuvieron por encima del valor mínimo exigido por el estándar API 1104, lo cual respalda el diseño del procedimiento en cuanto a resistencia a la tracción.

Además, se vuelve a evidenciar inclusiones de escoria y porosidad, que, a pesar de cumplir con las condiciones mínimas del estándar, sigue demostrando que la habilidad del soldador y la sanidad entre pases no fue la ideal en la calificación del procedimiento. Debido al resultado obtenido, no es posible comparar los resultados del WPS que implementa la Empresa Montecz S.A. para la unión soldada de la línea regular, frente a la línea que debe ser instalada bajo la técnica PHD. Finalmente, luego de analizar la tendencia de los resultados, es importante resaltar que en cuanto a las

propiedades mecánicas que respalda el informe emitido por West Arco, el procedimiento propuesto cumple con las expectativas para el cual fue diseñado, evidentemente el resultado final aplicando API 1104, rechaza dicho procedimiento debido a los defectos representados en el mismo informe, pero gracias a la experticia adquirida en la materia, dichos defectos nos llevan a concluir que la falta de habilidad y sanidad del soldador, los resultados no fueron eficaces. (Barrera Garcia & Rojano Gámez, 2015)

2.1.2. Otras publicaciones.

- a) Según Alonso Laguna D. (2017); en la publicación de su trabajo de investigación titulado: ***Elaboración del Procedimiento Escrito de Ejecución y Control de Calidad de una Unión Soldada de Virolas de Acero***; concluye que el acero ocupa un 95% de la industria metalúrgica. Por eso es de vital importancia comprender como soldarlo para conseguir los resultados deseados. Durante la realización de los diferentes cupones se ha confirmado que las técnicas de soldadura TIG y MAG ofrecen excelentes resultados para la soldadura de este tipo de material. Al tratarse de un acero con un elevado contenido en carbono su soldadura puede generar dificultades. Por ello es necesario el uso de un precalentamiento y una temperatura entre pasadas superior a los 200°C, además de las ya mencionadas técnicas de soldeo y soldadores con una gran experiencia. El material es totalmente válido para la construcción de depósitos. Además, la soldadura realizada como se indica en el procedimiento escrito de soldadura cumple con todos los requisitos necesarios planteados, tanto físicos, químicos y microestructurales.

Además de las tecnológicas y de calidad. El equipamiento eléctrico utilizado para la realización de uniones soldadas es de gran complejidad, sobre todo a nivel electrónico. Esto permite modificar un gran número de variables para conseguir las mejores calidades. Además, pequeñas variaciones en cualquiera de las variables de soldeo como en el diseño de la junta pueden afectar en gran manera al resultado de la unión. Las diferentes metodologías de control de calidad utilizadas permiten, mediante una correcta utilización, asegurar el nivel de calidad requerido en las uniones soldadas. (Alonso Laguna, 2017)

- b) Según Porta Mas E. (2014); en la publicación de su trabajo de investigación titulado: ***Diseño y Fabricación de un Mecanismo de Doble para Calificación de Soldadores y Operadores de Soldadura para Estructuras según el Código de Soldadura Estructural AWS D1.1 - 2010***; concluye que el aseguramiento de la calidad en las uniones soldadas, en este mercado metal mecánico, nos exige trabajar bajo estándares de fabricación internacionales (ASME, AWS, API, etc.), donde la calificación de soldadores y operarios de soldadura es algo mandatorio, y mediante este mecanismo, se realizarán de la manera correcta respetando, en este caso, las consideraciones y especificaciones requeridas por el Código de Soldadura Estructural AWS D1.1 – 2010. Tener presente que la fabricación de este mecanismo, si bien se realizó para la calificación de soldadores, cumple con todos los requerimientos especificados en la norma ASTM E190, y también puede ser utilizado para los en alcance de esta norma, con la cual también trabajan, otros códigos de fabricación y de referencia. Al estar sometido a

esfuerzos de fricción y compresión con otros metales, el tiempo de vida útil de este mecanismo se verá reducido considerablemente, proporcionalmente al uso que se le brinde.

2.2. BASES TEORICAS.

2.2.1. Recipientes a presión.

Un recipiente a presión es un recipiente cerrado, diseñado para soportar gases o líquidos a una presión sustancialmente diferente de la presión ambiental, ya sea por presión interna o presión externa, independientemente de su forma y dimensiones. Cuando el diseño interno de un contenedor excede 15 PSI, este será conocido como un recipiente a presión. (Castillo Rodriguez, 2018)



Figura 1. Tanque a presión.

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:

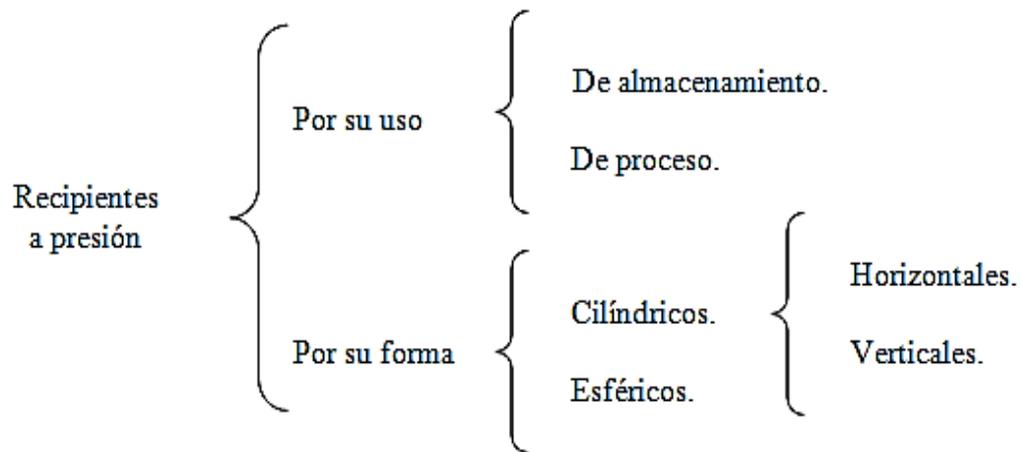


Figura 2. Clasificación de los tanques a presión.

2.2.2. Calidad de soldadura.

Una buena soldadura depende de una serie de factores, entre los que se puede mencionar: la selección apropiada de electrodos, corriente y voltaje, propiedades del metal base y de aportación, posición de la soldadura, entre otros. Un requisito fundamental de todas las soldaduras es la completa fusión de la soldadura y el metal base y de las capas consecutivas de metal de soldadura. Además de ello, las soldaduras no deben ser debilitadas por cráteres, socavaciones, traslpos, porosidades o agrietamientos. En caso de la existencia de cualquiera de estas irregularidades, las mismas deben limpiarse y llenarse en toda la sección transversal de la soldadura, a través del depósito del metal de soldadura para restaurar la superficie original. (Capa Guachón, 2009)

2.2.3. Procesos de soldadura.

La soldadura es un proceso para la unión de dos metales por medio de calor y/o presión y se define como la liga metalúrgica entre los átomos del metal a unir y el de aporte.

2.2.3.1. Clasificación de los procesos de soldadura.

Los diferentes procesos de soldadura existente pueden ser clasificados mediante las características de unión del proceso.

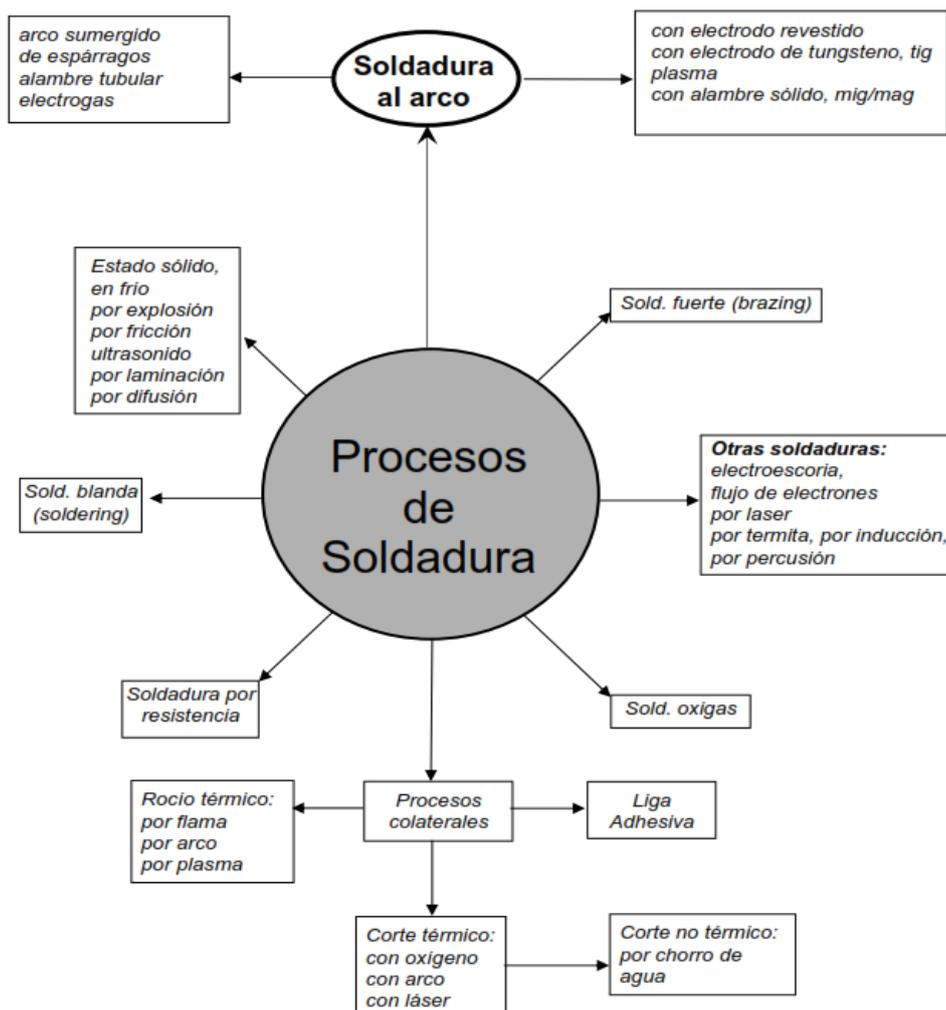


Figura 3. Clasificación de los procesos de soldadura.

2.2.3.1.1. Proceso de soldadura SMAW.

La soldadura por electrodos revestidos, Shield Metal Arc Welding (SMAW), se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto. Por tanto, la energía térmica necesaria para llevar a cabo la unión soldada proviene del arco eléctrico. (Alonso Laguna, 2017)



Figura 4. Esquema del proceso de soldadura SMAW.

Con el calor producido por el arco se funde el electrodo y se quema el revestimiento produciéndose la atmósfera adecuada para la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión. El electrodo forma parte del arco y durante el proceso se funde. (Alonso Laguna, 2017)

El material de aportación que se usa en el proceso SMAW se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica recubierta de un revestimiento concéntrico de flux extruido y seco. La parte central se conoce como alma y la exterior como revestimiento. En función de cada electrodo se formará un tipo de gota durante el proceso de soldeo. (Alonso Laguna, 2017)

2.2.3.1.2. Proceso de soldadura GMAW.

El proceso GMAW (Mig-Mag) con sus siglas en inglés “Gas Metal Arc Welding” en español conocido como “Soldadura por Arco Metálico con Gas Protector” utiliza un hilo (alambre) para soldar que se alimenta automáticamente, a una velocidad constante, como un electrodo. Se genera un arco entre el metal base y el hilo, y el calentamiento resultante funde este proporcionando la unión de las placas base. Este método se conoce como proceso de soldadura por arco semiautomático porque el hilo se alimenta automáticamente a una velocidad constante y el soldador mueve la pistola. (Arboleda Lagos, 2015)

El proceso GMAW opera en corriente directa, usualmente con el alambre como electrodo positivo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50 Amperios hasta 600 Amperios en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre. (Arboleda Lagos, 2015)

Las ventajas que da el proceso GMAW son que puede soldarse en todas las posiciones, es un proceso de electrodo consumible que permite soldar todos los metales y sus aleaciones, no tiene restricción de tamaño del electrodo, presenta una alimentación continua del electrodo generando mayores tasas de deposición de material de aporte, casi no necesita limpieza porque no genera mucha escoria. (Arboleda Lagos, 2015)

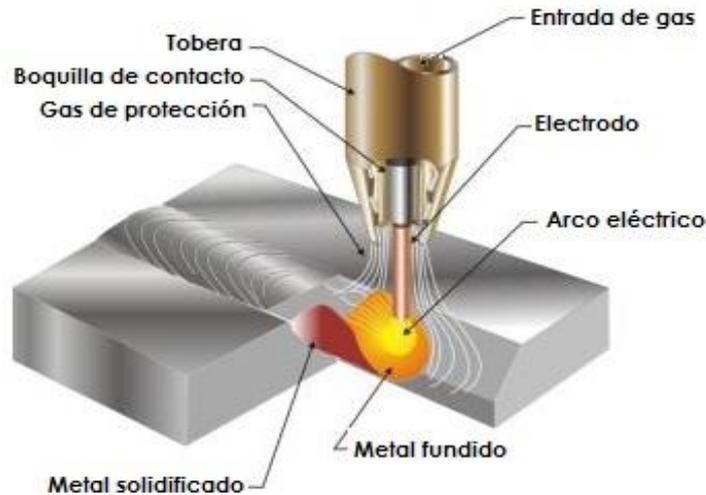


Figura 5. Esquema del proceso de soldadura GMAW.

2.2.3.1.3. Proceso de soldadura GTAW.

La American Welding Society define la soldadura GTAW por arco bajo gas protector con electrodo de Tungsteno como un proceso de soldadura de arco que utiliza el arco eléctrico que salta entre un electrodo de tungsteno y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. (Arboleda Lagos, 2015)

El arco produce el calor necesario para fundir el material. El gas protector mantiene el oxígeno del aire apartado del baño de fusión y el tungsteno caliente. Los tipos de corriente más utilizados son la corriente continua de polaridad continua, eso es el electrodo conectado al polo negativo y la corriente alterna. El tungsteno se utiliza para el electrodo debido a su alta temperatura de fusión y a sus buenas características eléctricas. (Arboleda Lagos, 2015)

El gas Argón es el que más comúnmente se Utiliza como gas protector por que produce muy buena cobertura de la zona de soldadura y es más económico que

el Helio, la adición de metal de aportación en varilla o alambre proporciona el refuerzo de la soldadura y cambia la química de esta, proporcionándole las propiedades físicas deseadas. (Arboleda Lagos, 2015)

La GTAW se le considera uno de los más versátiles de todos los procesos de soldadura. Se puede utilizar para hacer soldaduras de alta calidad en casi cualquier metal, cualquier posición y en casi cualquier espesor de chapa, placa o tubo. Este proceso tiene varias ventajas sobre la mayoría de los otros procesos de soldadura, ya que es un proceso muy limpio, versátil, no deja escoria, puede usarse en cualquier metal de cualquier espesor y en cualquier posición. (Arboleda Lagos, 2015)

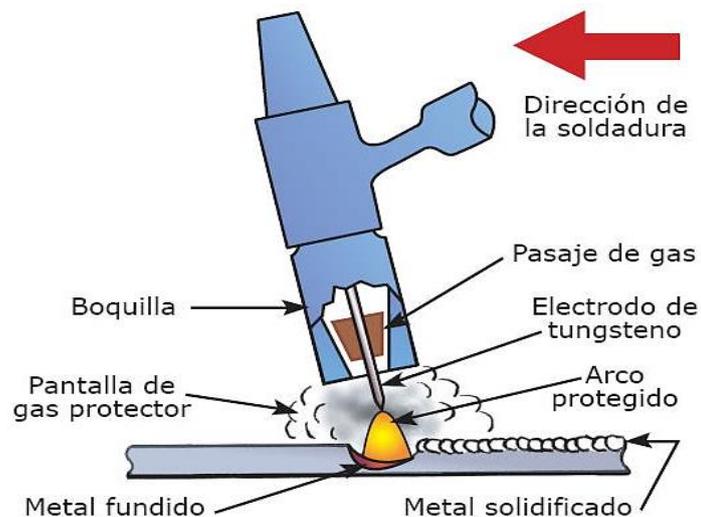


Figura 6. Esquema del proceso de soldadura GTAW.

2.2.3.2. Posiciones de soldadura.

La soldadura se hace a menudo en las estructuras en la posición en que se encuentran. Se han desarrollado técnicas para permitir la soldadura en cualquier

posición. Algunos procesos de soldadura pueden ser realizados en cualquier posición, mientras que otros pueden ser utilizados en sólo una o dos posiciones. Todas las soldaduras se pueden clasificar de acuerdo con la posición de la pieza de trabajo o la posición de la unión soldada en las placas o secciones que se está soldando. (Pardo Ordoñez & Valdiviezo Vilema, 2016)

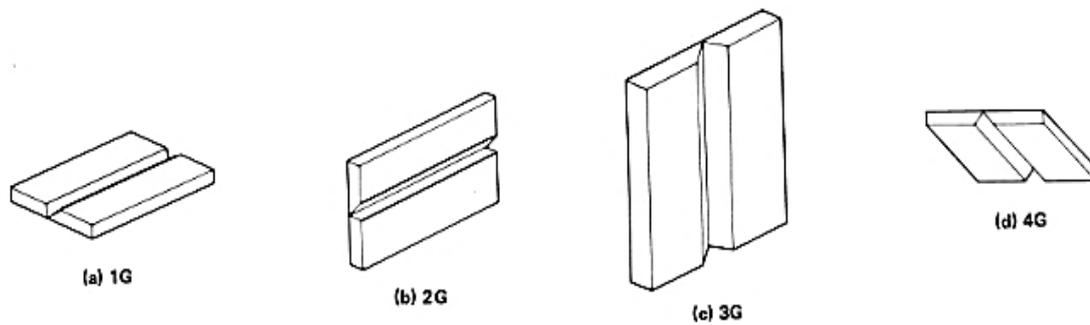


Figura 7. Posiciones de soldadura para placas en ranura.

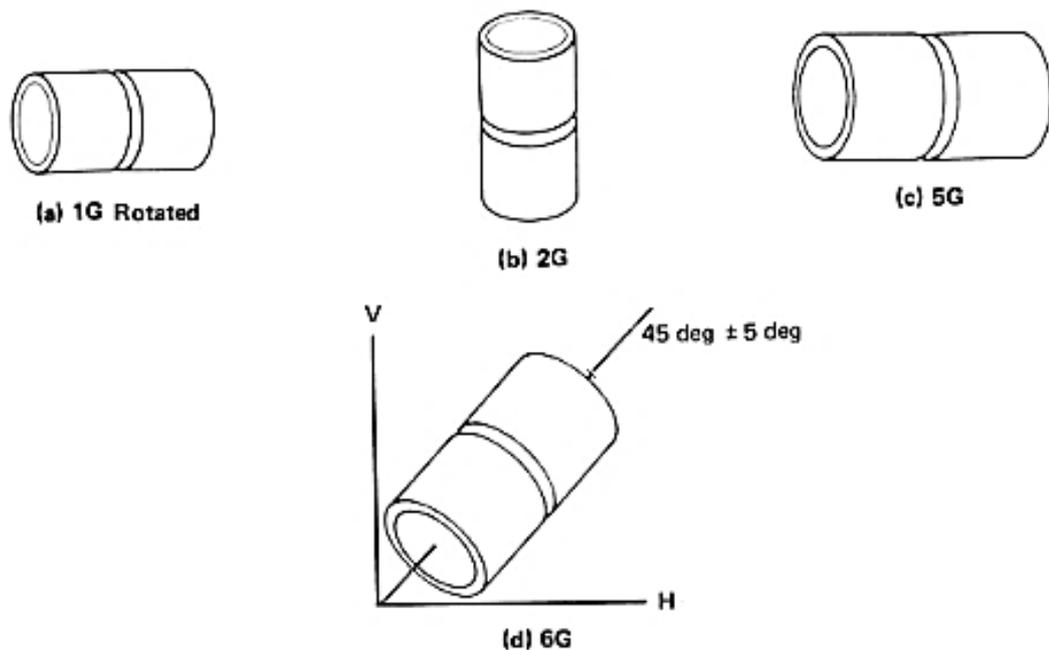


Figura 8. Posiciones de soldadura para tubería en ranura.

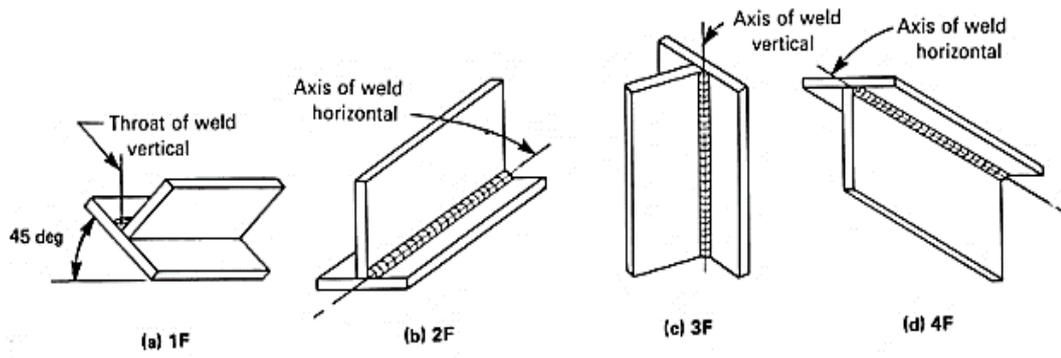


Figura 9. Posiciones de soldadura para placas en filete.

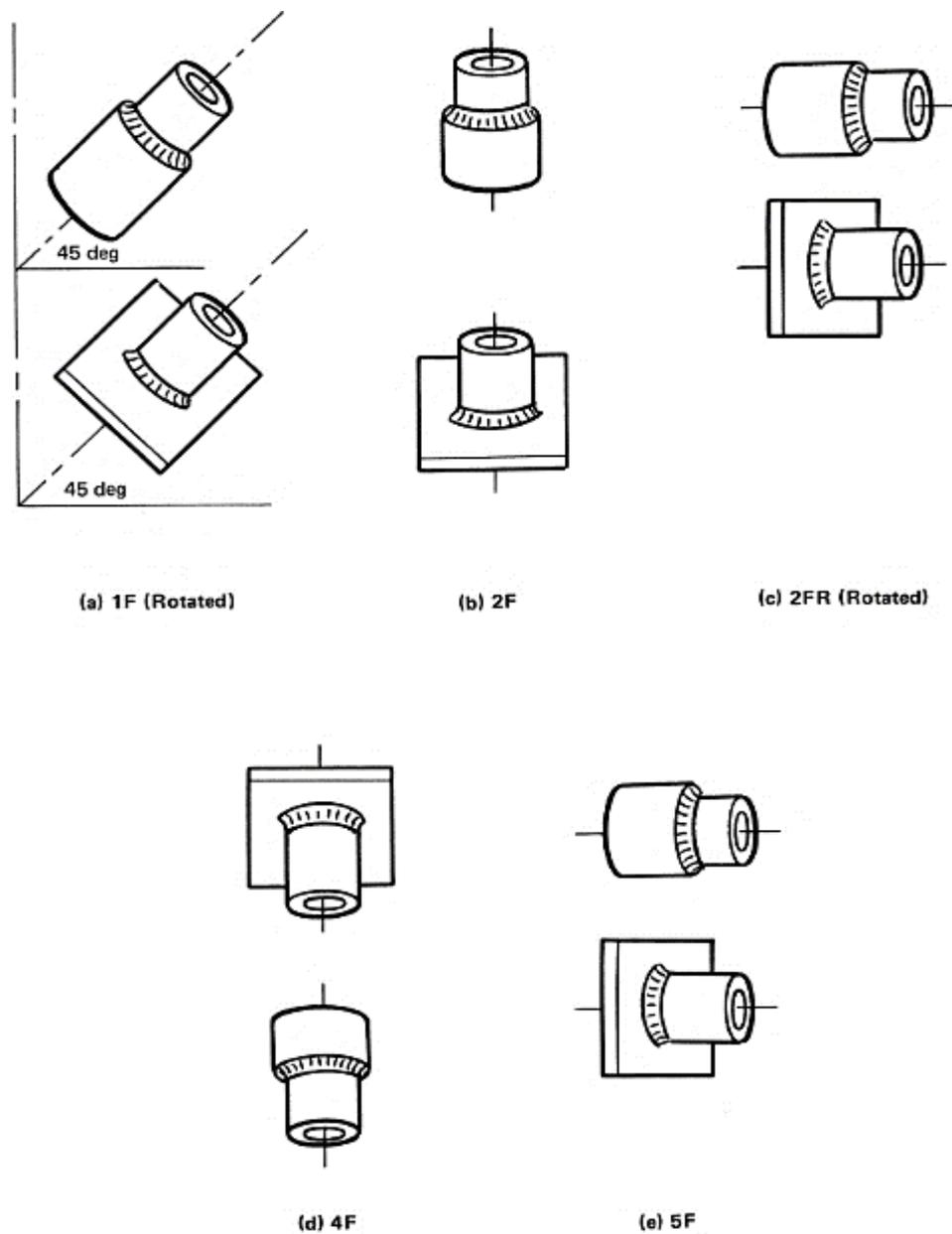


Figura 10. Posiciones de soldadura para tubería en filete.

2.2.3.3. Tipos de juntas.

Las uniones de las partes o juntas, se definen como la orientación en la que dos o más miembros se van a unir. Hay cinco tipos básicos de juntas para integrar dos partes de una junta: (Pardo Ordoñez & Valdiviezo Vilema, 2016)

- **Junta a tope.** En este tipo de junta, las partes se encuentran en el mismo plano y se unen en sus bordes.
- **Junta de esquina.** Las partes en una junta de esquina forman un ángulo recto. Las piezas se colocan de manera tal de que sólo se toquen sobre un borde.
- **Junta superpuesta o traslapada.** Esta junta consiste en dos partes que se superponen.
- **Junta de borde.** Las partes en una junta de borde están paralelas con al menos uno de sus bordes en común y la unión se hace en el borde común.
- **Junta en T.** En la junta en T, una parte es perpendicular a la otra en una forma parecida a la letra.

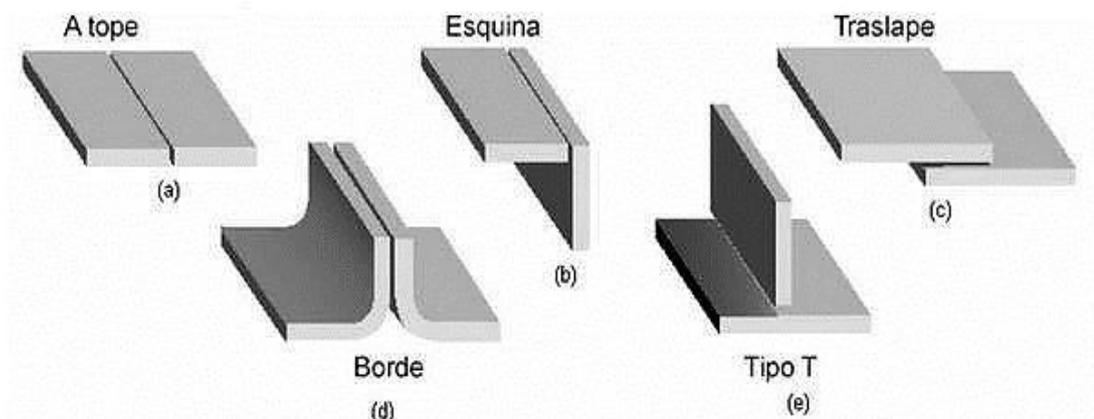


Figura 11. Tipos básicos de uniones.

2.2.3.4. Tipos de soldadura.

Uno de los aspectos del diseño de juntas es el correspondiente al tipo de soldadura que se utiliza en la junta. Existen cuatro tipos básicos de soldadura: (Corrales Begazo, 2009)

- **De cordón.** Estos son soldaduras compuestas de uno o más cordones depositados sobre una superficie ininterrumpida para obtener propiedades o dimensiones deseadas. Se utiliza generalmente para reconstruir superficies o reemplazar metal en superficies desgastadas. (Pardo Ordoñez & Valdiviezo Vilema, 2016)

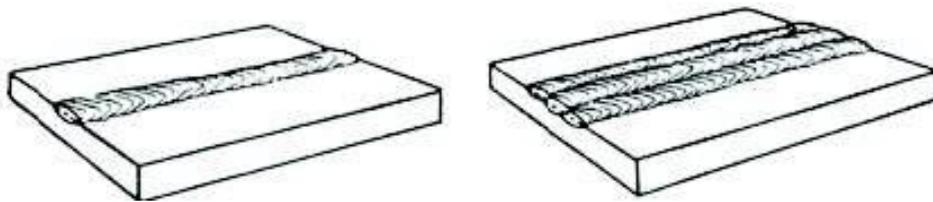


Figura 12. Soldadura tipo cordón.

- **De filete.** Esta es una soldadura de sección transversal aproximadamente triangular que une dos superficies en ángulo aproximadamente recto entre sí, como en una junta de solape o "T". (Pardo Ordoñez & Valdiviezo Vilema, 2016)

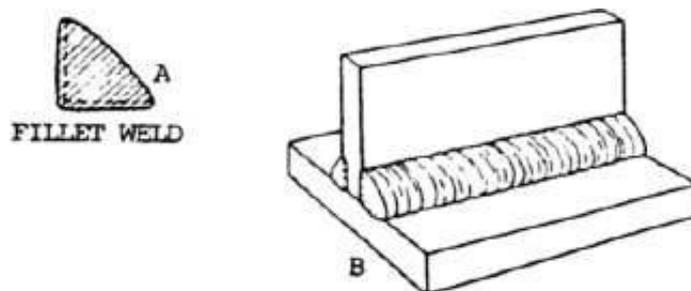


Figura 13. Esquema de una soldadura de filete.

- **De tapón.** Estas son soldaduras circulares realizadas a través de una de las piezas uniendo ese miembro a otro. La soldadura puede o no puede hacerse a través de un agujero en el primer miembro; si se utiliza un agujero, las paredes pueden ser o no ser paralelas y el agujero de llenado pueden ser parcial o completamente con metal de soldadura. Tales soldaduras se utilizan a menudo en lugar de remaches. (Pardo Ordoñez & Valdiviezo Vilema, 2016)

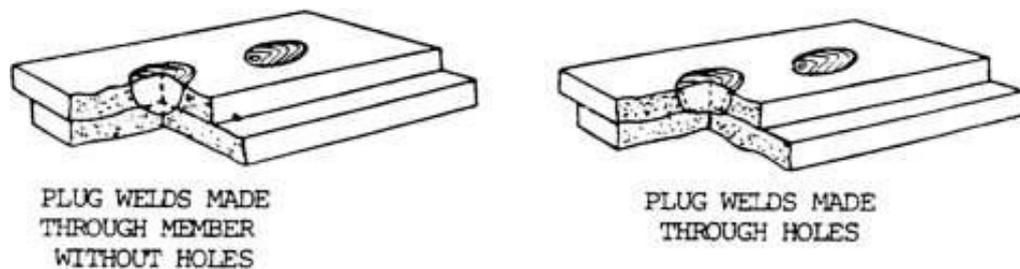


Figura 14. Esquema de soldadura de tapón.

- **De ranura.** Consiste en un cordón de soldadura depositado en una ranura entre dos miembros a unir, generalmente requieren la preparación de la junta para facilitar la penetración. (Pardo Ordoñez & Valdiviezo Vilema, 2016)

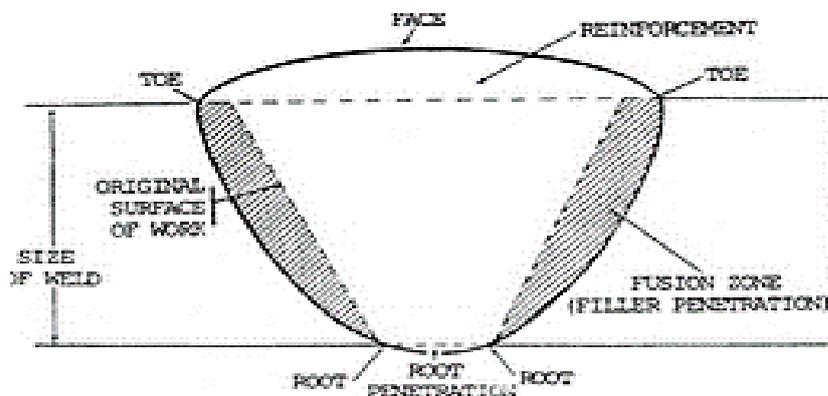


Figura 15. Esquema Soldadura de ranura, junta con bisel en V.

2.2.4. Códigos.

Conjunto de leyes, de un grupo de industrias, arreglados sistemáticamente para facilidad de uso y referencia rápida. Los códigos se establecen para equipos o conjuntos específicos. Los códigos pueden convertirse en normas. Los códigos pueden ser: (Corrales Begazo, 2009)

- **Código de fabricación**, es el documento inicial y básico, se apoyará en otros documentos, como normas, otros códigos, especificaciones, recomendaciones, etc. (Corrales Begazo, 2009)
- **Código de referencia**, es el documento citado o referenciado por algún código de fabricación, otro código de referencia, etc. (Corrales Begazo, 2009)

Tabla 1
Ejemplo de Normas y códigos de proyectos

Normas/Códigos del Proyecto		Código de Calificación
ASME I	Calderas	ASME IX
ASME III	Componentes Nucleares	ASME IX
ASME VIII Div.1/Div.2	Recipientes de Presión	ASME IX
ASME B31.1	Tuberías de Vapor	ASME IX
ASME B31.3	Tuberías de Proceso	ASME IX
ASME B31.4	Tuberías de Transporte de Petróleo	ASME IX y API 1104
ASME B31.8	Tubería de Transmisión y Distribución de Gas	ASME IX y API 1104
API 620	Tanque de Almacenamiento	ASME IX
API 650	Tanque de Almacenamiento de Petróleo	ASME IX

2.2.5. Código ASME.

El código ASME es el líder internacional en desarrollar códigos y estándares asociados a la ciencia y práctica de la ingeniería mecánica para diferentes tipos de prácticas como en la construcción de tanques de presión. En la sección IX del código se especifica como calificar un procedimiento de soldadura, soldador, operador de soldadura, etc., en donde se menciona los pasos que se deben seguir para obtener cordones de calidad que puedan ser utilizados en la construcción de tanques de presión y sean aceptados por inspectores ASME. Además, en la sección VIII División 1 se puede encontrar requerimientos de diseño y construcción para este tipo de tanques y así lograr un producto que cumpla con los objetivos para los cuales se construyó. (Romero Calderón , 2014)

La calificación de un procedimiento de soldadura se realiza mediante varios análisis y pasos que permiten obtener resultados aceptables y que se pueden utilizar en un proceso de construcción común de una industria petrolera. (Romero Calderón , 2014)

2.2.6. Calificación de los procesos de soldadura.

Un Procedimiento de Soldadura debe demostrar su capacidad de producir uniones soldadas que cumplan los requerimientos mínimos de calidad exigidos por el estándar de construcción. Un Procedimiento de Soldadura tiene diferentes formas de demostrar su capacidad. (Corrales Begazo, 2009)

- Precalificación.
- Calificación.

2.2.6.1. Precalificación.

Son WPSs con determinados procesos de soldadura y en determinados tipos de junta, que han sido ensayados y tienen un largo historial de buenos resultados. Un WPS precalificado puede ser utilizado en obra sin necesidad de ser calificado por ensayos destructivos y no-destructivos. (Corrales Begazo, 2009)

El uso de un WPS precalificado no implica que su uso generará uniones que cumplan los requerimientos o condiciones de calidad exigidas por el código. Es responsabilidad del constructor verificar que las variables seleccionadas sean adecuadas para la aplicación específica. (Corrales Begazo, 2009)

Para que un procedimiento sea precalificado, todas, absolutamente todas las variables, deben cumplir con los requerimientos exigidos en la sección precalificación del estándar de construcción. Un WPS precalificado también es un documento escrito. (Corrales Begazo, 2009)

2.2.6.2. Calificación.

En la calificación del procedimiento se siguen los detalles establecidos por un WPS propuesto, se suelda un cupón. Luego de aprobados la inspección visual y los ensayos no destructivos requeridos por el estándar de construcción en el cupón

soldado, se cortan especímenes y se ensayan mecánicamente. (Corrales Begazo, 2009)

El tipo, número de especímenes, forma de removerlos del cupón y resultados mínimos requeridos (criterios de aceptación) vienen especificados en el estándar de construcción. (Corrales Begazo, 2009)

Los valores reales de todas las variables utilizados en la soldadura del cupón, así como el número, tipo y resultados de los ensayos realizados, son registrados en un documento llamado Registro de la Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR - Procedure Qualification Record). (Corrales Begazo, 2009)

Si los criterios de aceptación de todos los ensayos requeridos (inspección visual, ensayos no destructivos y ensayos destructivos) son satisfechos, la calificación es exitosa y se pueden establecer WPSs basados en el PQR exitoso. Por lo tanto, un procedimiento de soldadura pasa por tres estados durante el proceso de calificación: (Corrales Begazo, 2009)

- WPS propuesto.
- Calificación – PQR.
- WPS.

Un PQR exitoso puede sustentar varios WPSs. Procedimientos de soldadura suficientemente similares a aquél que fue ensayado, pueden ser sustentados por el mismo PQR. (Corrales Begazo, 2009)

2.2.7. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS).

Un WPS es un procedimiento de soldadura calificado escrito preparado para proporcionar la dirección para la ejecución de soldaduras de producción según los requerimientos. El WPS completo describirá todas las variables esenciales, no esenciales, y cuando se requiera, las variables esenciales suplementarias para cada proceso de soldadura usado en el WPS. (Corrales Begazo, 2009)

El WPS hará referencia al registro de calificación del procedimiento (PQR). Un procedimiento de soldadura es una combinación de variables utilizada para construir una unión soldada. Se puede decir que es una "receta" cuyos "ingredientes" son llamados "variables". (Corrales Begazo, 2009)

Un procedimiento de soldadura es una solución óptima a un problema, desde el punto de vista técnico y económico. Para que sea una "buena solución" en su elaboración debe participar un equipo. Es una herramienta de comunicación; debe ser claro y disponible para todos los que lo necesiten. (Corrales Begazo, 2009)

- Debe ser un documento escrito.
- No tiene formatos obligatorios; sólo debe poder dar toda la información necesaria.
- La ejecución del mismo es responsabilidad del constructor.

Finalmente podemos decir que el propósito de la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y el Registro de Calificación del Procedimiento

(PQR) es determinar que la soldadura propuesta para la construcción es capaz de tener las propiedades requeridas para su aplicación pretendida. Se presupone que el soldador u operador de soldadura que ejecuta la calificación del procedimiento de soldadura es una persona hábil. (Corrales Begazo, 2009)

2.2.8. Registro de calificación de procedimiento (PQR).

Un PQR es un registro de los datos de soldadura usados para soldar un cupón de ensayo. El PQR es un registro de las variables registradas durante la soldadura de los cupones. También contiene los resultados de los ensayos de las probetas. Las variables registradas caen normalmente dentro de un rango pequeño de los valores reales que serán usados en soldaduras de producción. (Corrales Begazo, 2009)

El PQR completo documentara todas las variables esenciales y cuando no se requiera las esenciales suplementarias para cada proceso de soldadura usado durante la soldadura de los cupones de ensayo. Todas las variables, si son registradas, serán los valores reales usados durante la soldadura de los cupones. (Corrales Begazo, 2009)

2.2.9. Variables.

Los valores. particulares de cada variable pueden tener influencia en las propiedades mecánicas y/o microestructura, sanidad, productividad, etc. Existen tres tipos de variables: (Corrales Begazo, 2009) (Anexos 2, 3, 4, 5, 6 y 7)

- Variables esenciales.
- Variables esenciales suplementarias.
- Variables no esenciales.

2.2.9.1. Variables esenciales.

Son aquellas que tienen directa influencia sobre las propiedades mecánicas de la unión soldada. El estándar de construcción establecido en los documentos de contrato, establece cuáles son las variables esenciales. (Corrales Begazo, 2009)

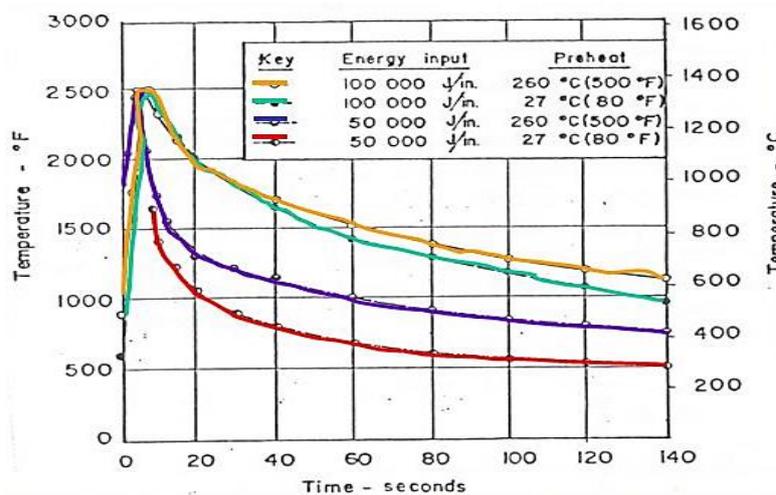


Figura 16. Influencia del aporte térmico y de la temperatura de precalentamiento en el ciclo térmico de soldeo.

2.2.9.2. Variables esenciales suplementarias.

Tipo de variables existente en los diversos códigos, son aquellas que tienen directa influencia sobre la resistencia al impacto de la unión soldada. El estándar de construcción establecido en los documentos de contrato, establece cuáles son las variables esenciales suplementarias. (Corrales Begazo, 2009)

2.2.9.3. Variables no esenciales.

Son aquellas que no tienen directa influencia sobre las propiedades mecánicas de la unión soldada. El estándar de construcción establecido en los documentos de contrato, establece cuáles son las variables no esenciales. (Corrales Begazo, 2009)

2.2.10. Ensayos No Destructivos.

Los ensayos destructivos son métodos de examinación directa cuyo propósito es analizar las propiedades mecánicas, químicas y metalúrgicas de la soldadura, para esto se sueldan probetas de soldadura de las cuales se extraen ciertos especímenes los cuales son seleccionados y dimensionados de acuerdo a la norma de soldadura que se esté utilizando, a estos especímenes se los rompe, deforma o se los ataca químicamente. Se los utiliza para verificar la validez del procedimiento de soldadura, calificar la habilidad de soldadores y operadores, y verificar la calidad de las juntas soldadas. (Zambrano Flores, 2015)

2.2.10.1. Ensayo de tracción.

Los ensayos de tracción sirven para determinar la resistencia a la fluencia, la resistencia a la rotura, elongación y reducción de la sección transversal de los especímenes de soldadura, sometidos a tensión hasta llegar a su rotura en una máquina universal de tracción, de acuerdo a la especificación de la norma a utilizarse, por ejemplo, en la norma ASME IX para calificar un procedimiento de

soldadura se necesita que el ensayo de tracción de la soldadura tenga una resistencia a la tracción mayor o igual al del material base. (Zambrano Flores, 2015)



Figura 17. Probetas soldadas ensayadas por tracción.

2.2.10.2. Ensayo de impacto.

Los metales pueden fracturarse de una manera dúctil o de una manera frágil. Cuando los metales presentan deformación plástica al momento de fracturarse se considera fractura dúctil. Sin embargo, metales dúctiles pueden presentar fracturas sin deformación cuando están sometidos a condiciones críticas de servicio, a lo cual se conoce como fractura frágil, existen tres factores que influyen en el comportamiento de los metales como son: (Zambrano Flores, 2015)

- Presencia de concentradores de esfuerzos.
- Temperatura a la cual el metal está trabajando.
- Esfuerzos aplicados y esfuerzos residuales en el metal.

El ensayo de impacto sirve para medir la tenacidad que presenta el material a ser analizado dentro de un rango de temperaturas a las cuales va a estar en servicio el material, y de esta manera determinar el cambio de comportamiento dúctil a frágil. Para el caso de la soldadura se utiliza el ensayo de Charpy con abertura en V. (Zambrano Flores, 2015)



Figura 18. Probetas soldadas ensayadas por impacto.

2.2.10.3. Ensayo de dobléz.

Los ensayos de doblado sirven para determinar la ausencia de imperfecciones en la junta de soldadura, comprobar que exista una fusión completa, y ductilidad en la junta soldada. Usualmente se identifican discontinuidades, que se manifiestan en forma de fisuras, las cuales se consideran defectos cuando sobrepasan el límite dimensional de acuerdo a la especificación de la norma que se esté utilizando. (Zambrano Flores, 2015)

Usualmente los especímenes se remueven de juntas soldadas a tope, en la cual el cordón se encuentra perpendicular al eje del espécimen, a estos se los denomina ensayos de doblado transversales, también se los puede preparar con el cordón de soldadura longitudinal a las probetas, a estos se los denomina ensayos de doblado longitudinales, la diferencia entre los dos es que cuando los materiales a soldar tienen propiedades mecánicas similares se utilizan los ensayos transversales, y cuando se suelda materiales con diferentes propiedades mecánicas se realizan ensayos de doblado longitudinal. (Zambrano Flores, 2015)

2.2.10.3.1. Doblado de cara.

El ensayo de doblado de cara consiste en determinar la ductilidad en la cara del cordón de soldadura, así como también la ausencia de defectos, para lo cual el punzón de doblado debe estar en contacto con la raíz del cordón. (Zambrano Flores, 2015)

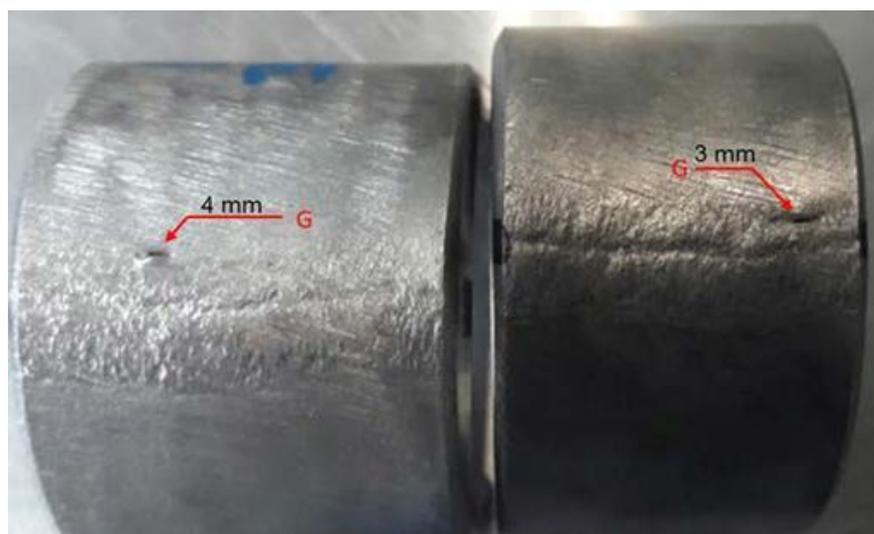


Figura 19. Probetas soldadas – Ensayo de doblez de cara.

2.2.10.3.2. Doblado de raíz.

El ensayo de doblado de raíz consiste en determinar la ductilidad en la raíz del cordón de soldadura, así como también la ausencia de defectos, para lo cual el punzón de doblado debe estar en contacto con la cara del cordón de soldadura, como se puede apreciar en la figura. Se diferencia claramente el doblado de raíz con el de cara debido a que el cordón es más pequeño en la raíz, por tanto, en el doblado de raíz se notará claramente la superficie del cordón más pequeña que en el doblado de cara. (Zambrano Flores, 2015)



Figura 20. Probetas soldadas – Ensayo de doblado de raíz.

2.2.10.3.3. Doblado de lado.

Los ensayos de doblado se los realiza cuando el material base supera los 10 mm de espesor de acuerdo a la norma ASME BPVC Sección IX, y los 12,5 mm de espesor de acuerdo a la norma API 1104. (Zambrano Flores, 2015)

Esto se debe a que cuando el espesor de los materiales es mayor a estos valores, el *jig* de doblado se verá sobrecargado, además mientras aumenta el espesor del material soldado, disminuye la ductilidad del mismo y por tanto aumentan las probabilidades de que se fisure y que el ensayo no sea válido. (Zambrano Flores, 2015)

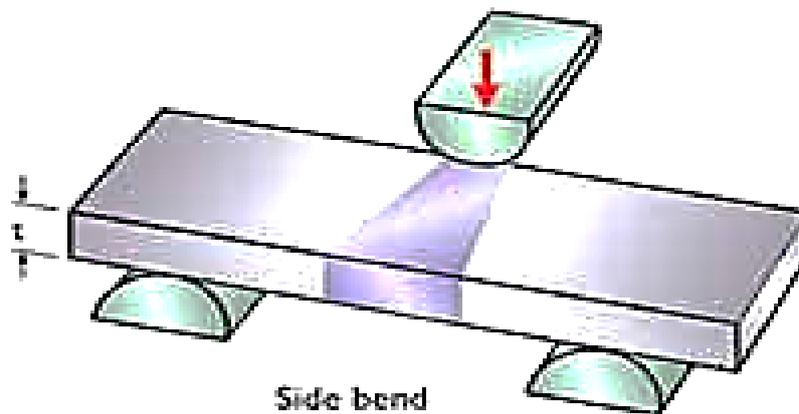


Figura 21. Probetas soldadas – Ensayo de doblado de lado.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

Las definiciones conceptuales se han tomado de la siguiente referencia bibliográfica Alonso Laguna (2017) y Arboleda Lagos (2015).

- **Aporte.** es la cantidad de material de aportación que forma parte del cordón de soldadura.
- **Arco.** Descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial.
- **AWS.** American Welding Society – Sociedad Americana de Soldadura.

- **Corriente alterna.** Corriente que cambia de polaridad cada ciclo. Por tanto, el arco se establece cada ciclo y es necesario un electrodo que favorezca su formación. Aparece como variable operativa la frecuencia de la corriente.
- **Calibración.** Proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia que proporcione valor verificable.
- **Calidad.** Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.
- **Código.** Una norma compuesta por un conjunto de condiciones y requisitos relativos a un tema en particular, que indica los procedimientos adecuados mediante los cuales se puede determinar que los requisitos han sido cumplidos.
- **Competencia.** Aptitud demostrada para aplicar los conocimientos y habilidades.
- **Corriente continua.** Corriente que trabaja en una polaridad constante. Por tanto, el arco se establece una única vez y durante el proceso sólo hay que mantenerlo.
- **Dilución.** es la cantidad de metal fundido proveniente del metal base que forma el cordón de soldadura.
- **Ensayo no destructivo.** Acción de determinar la idoneidad de un material o componente para su propósito previsto mediante técnicas que no afectan su capacidad de servicio.
- **Especificación del procedimiento de soldadura EPS (WPS).** Documento en el cual se delinear o se hace referencia a todas las variables del proceso de soldadura requeridas, para la ejecución del proceso de soldadura.

- **Estandarizar.** Proceso mediante el cual se realiza una actividad de manera estándar o previamente establecida.
- **Fusión.** Proceso físico que consiste en el cambio de estado de un material por acción del calor.
- **Gas Inerte.** Es un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.
- **GMAW.** Gas Metal Arc Welding – Soldadura por Arco Metálico con Gas Protector.
- **GTAW.** Gas Tungsten Arc Welding – Soldadura TIG.
- **Metal base.** Es el metal del cordón de soldadura no afectado por la operación de soldadura, cuya composición química y microestructura corresponden completamente a las originales de partida.
- **Polaridad directa.** El electrodo actúa como cátodo y el conjunto como ánodo. El arco se puede focalizar reduciendo su longitud. Se producen cordones estrechos y con gran penetración. Al ser un chorro plasmático más concentrado que el de la polaridad inversa se pueden utilizar longitudes de arco mayores.
- **Polaridad inversa.** El electrodo actúa como ánodo y el conjunto como cátodo. Los cordones serán más anchos y con menor penetración que en el caso de la polaridad directa. Se pretende un efecto de decapado sobre el caldo.
- **PQR.** Procedure qualification Record – Registro de la calificación del procedimiento.
- **Procedimiento de Soldadura Calificado.** Procedimiento que cumple con los requisitos de calificación especificados, basados en los ensayos de

calificación realizados en los ensambles soldados, de acuerdo con la especificación del EPS (WPS) y el registro en un RCP (PQR).

- **Procedimiento.** Forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso.
- **Proceso.** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados útiles.
- **Soldadura similar.** Unión soldada de dos o más materiales metálicos similares.
- **Soldadura disimilar.** Unión soldada de dos o más materiales metálicos no similares.
- **Variables de Calificación.** Aquellas variables de soldadura que cambian más allá de los límites especificados, obligando a recalificar el procedimiento.
- **Variables de soldadura.** Información del proceso de soldadura que se deberá registrar en el EPS (WPS) y en el RCP (PQR).
- **WPQ (WPQR).** Welder Performance Qualification – Calificación de la habilidad del soldador u operario.
- **WPS.** Welding Procedure Specification – Especificación del procedimiento de soldadura.
- **Zona Afectada Térmicamente (ZAT).** Es la zona adyacente al cordón de soldadura que no se ha fundido pero que ha sufrido transformaciones microestructurales debido a su exposición a un ciclo térmico. **Zona de Metal Fundido (ZMF).** Es la zona de la unión soldada, también conocida como cordón de soldadura, proveniente del caldo metálico, que se ha generado como consecuencia de la fusión del metal base y del material de aporte, si lo hubiera.

2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS.

2.4.1. Hipótesis general.

La aplicación de la metodología para la calificación de un procedimiento de soldadura según el Código ASME Sección VIII Div. 1 influirá en la construcción de un tanque a presión en la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- La elaboración de un procedimiento de soldadura nos permitirá obtener los lineamientos de fabricación del tanque a presión.
- La definición de las variables de los procesos de soldadura nos permitirá obtener mejores resultados durante la construcción del tanque a presión.
- La selección y aplicación de los ensayos requeridos nos permitirá realizar la evaluación de las variables de los procesos de soldadura.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. DISEÑO METODOLOGICO.

Teniendo como finalidad obtener resultados confiables durante la implementación para la calificación de un procedimiento de procesos de soldadura, es prescindible seguir ciertos lineamientos estipulados en los códigos de construcción para poder determinar una metodología de trabajo adecuada.

Los requerimientos que son necesarios para la metodología aplicada en la calificación del procedimiento de soldadura se establecen en el Código ASME IX - 2013, donde en su artículo II establece los procedimientos que se deben de seguir; la aplicación de este Código para la calificación de los procesos de soldaduras.

La presente investigación se enfocó en el análisis Cualitativa - Descriptiva, este método consiste en la evaluación de los resultados obtenidos de los Ensayos Destructivos de las probetas de prueba soldadas para determinar las condiciones de mejoramiento del proceso en base a la corrección y modificación de variables aplicados durante la construcción de los tanques a presión bajo el Código ASME Secc. VIII Div. 1. Durante la evaluación, se debe considerar los procedimientos normalizados, procedimiento de toma de muestras, así como el análisis de datos y de resultados.

3.1.1. Tipo de investigación.

En el presente trabajo de investigación se clasifica como una investigación Cualitativa – Descriptiva, por ser un trabajo donde se busca determinar las condiciones de las juntas soldadas en base el tipo de procedimiento de soldadura aplicado, donde se deben describir los procesos, medir resultados mediante criterios de aceptación y rechazo para poder determinar el nivel de calidad de las juntas soldadas del tanque a presión.

3.1.2. Nivel de investigación.

Se realizará una investigación descriptiva, donde se busca realizar una relación causal de los elementos, caracteres o propiedades para la aplicación de las variables dependientes.

3.1.3. Diseño de investigación.

El diseño a aplicarse es de investigación no experimental; el propósito de este método es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. El Diseño transversales descriptivos que tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables.

3.1.4. Enfoque de la investigación.

Se aplicará el Método correlacional, donde se basará en la observación, no obstante, se emplea una correlación de Pearson para el análisis de los datos.

3.2. POBLACION Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida por los procesos de soldadura aplicados y ejecutados en los talleres de la empresa Construcciones Metálicas S.A.C., con el objeto de obtener certeros sobre su calidad.

3.2.2. Muestra.

La muestra de nuestra investigación son las calificaciones de los procedimientos de soldadura aplicados en la construcción y fabricación de tanques a presión bajo el Código ASME Secc. VIII Div. 1.

3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.

Metodología para la Calificación de un Procedimiento de Soldadura según el Código ASME Sección VIII Div.1 para la Construcción de un Tanque a Presión en la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.

Tabla 2
Variables e Indicadores.

Variable Independiente	Indicador
Construcción de un tanque a presión.	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación del tanque. - Código de construcción. - Material base. - Tipos de juntas.
Variable Dependiente	Indicador
Metodología para la calificación de un procedimiento de soldadura según el código ASME Sección VIII Div.1.	<ul style="list-style-type: none"> - Variables esenciales. - Variables esenciales suplementarias. - Variables no esenciales. - Ensayos de evaluación. - Desarrollo de la soldadura. - Registros de calificación.

3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

Para la recolección de la información se realizará mediante la comunicación directa con los técnicos e ingenieros, para poder identificar los puntos donde se realizan las inspecciones de las estructuras, al mismo tiempo poder determinar las variables que se deben de tomar durante el trabajo de campo a realizarse en las instalaciones de la empresa.

3.4.1. Técnicas a emplear.

La técnica que se aplicará es una técnica descriptiva, debido a que la evaluación, recolección y análisis de los datos se realiza a las probetas soldadas y ensayadas.

A la vez se usará la técnica documental, para la recopilación de datos e informaciones útiles para la investigación.

- Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).
- Registro de la calificación del procedimiento (PQR).
- Calificación de la habilidad del soldador u operario (WPQR).
- Especificación del procedimiento de soldadura. (WPS).

3.4.2. Descripción de los instrumentos.

- Consulta a expertos.
- Revisión de archivos y documentos.
- Revisión de literatura.
- Trabajo de campo.
- Internet.
- Captación de información directa de la fuente.
- Informes técnicos.
- Códigos, estándares, especificaciones.
- Cámara fotográfica y grabadora.

3.5. TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.

De acuerdo con los datos observados y de los resultados que se obtendrán en las pruebas y ensayos de laboratorio, su procesamiento se ejecutará:

- De acuerdo con la técnica de ensayo se verificará la validez del formato dispuesto de acuerdo con la norma correspondiente.
- De acuerdo con el propósito específico, estas serán recolectadas y analizadas según el requerimiento previsto.
- Se verificará la correcta disposición de los puntos de toma de muestra y los instrumentos y aparatos requeridos.
- Se llevará por escrito, un control de las observaciones, en el formato referido para prueba realizada, incluyendo fotografías si así se requiere y detalles específicos.
- De acuerdo a los informes, estos serán analizados e interpretados de acuerdo con los requerimientos bajo su respectiva normalización.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

En el anexo 1 se detalla la Memoria de Calculo del Tanque en construcción, fabricado bajo las especificaciones del Código ASME VIII Div. 1, al mismo tiempo la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura se realiza bajo lo estipulado en el mismo Código. El material empleado en el cuerpo del tanque y de acuerdo a la memoria de calculo es ASTM A36 de 12.5 mm. de espesor; para las tapas o casquetes se aplicó el acero ASTM A612 de 9 mm. de espesor.

Al adoptar el Código ASME VIII Div. 1. para la fabricación del tanque y la necesidad de la calificación del procedimiento de soldadura de acuerdo a lo especificado en él código esta se debe de realizar bajo los requerimientos del Código de Calificación ASME IX.

Durante la fabricación del tanque se aplicó el proceso de soldadura SMAW para la totalidad de las juntas soldadas que se realizaron en el tanque. Mediante la calificación del proceso de soldadura según ASME IX, se busca que compatibilidad entre el material base y materiales de aporte con la finalidad que presenten propiedades mecánicas similares, estas son comprobadas mediante los ensayos de doblez, ensayo de tracción, ensayo de Charpy, etc., según indique el código.

4.1.1. Preparación de probeta.

Para la calificación del procedimiento de soldadura se prepararon probetas de material ASTM A36 de 8" x 12" x 12.5 mm., tipo de junta a tope, se realizaron los cordones con material de aporte AWS E7018.

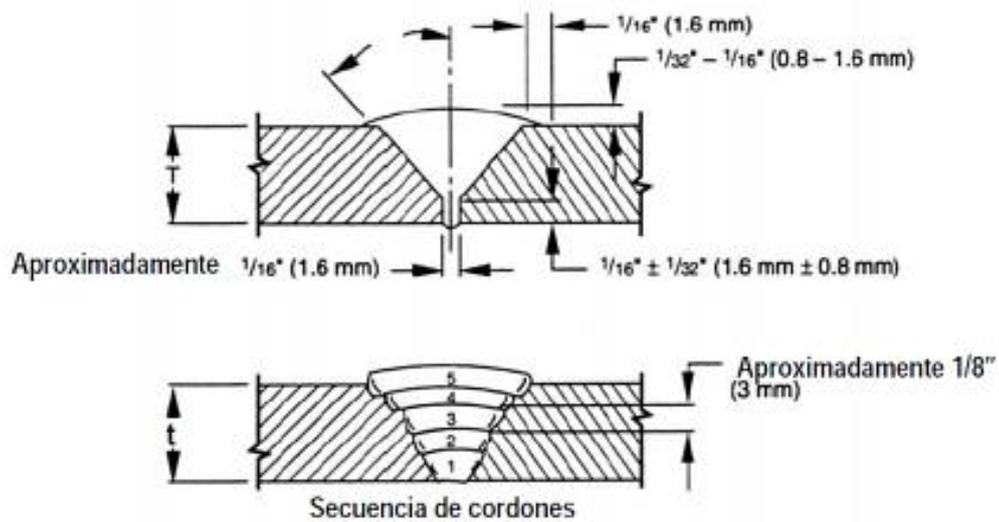


Figura 22. Esquema de reparación de junta.



Figura 23. Preparación de junta.

Tabla 3
Valores de las partes de la junta soldada

α = Angulo de bisel	: 60°
R = Abertura de raíz	: 2.5 – 3.5 mm.
F = Talón	: 2 – 3 mm.
E = Espesor	: 12.5 mm.



Figura 24. Probetas de prueba.

4.1.2. Aplicación de soldadura en la probeta.

La selección de las variables del proceso de soldadura se tomó en base a los requerimientos exigidos, código de fabricación, data de construcciones de tanques, recomendaciones de normas.

Las variables aplicadas en la calificación del procedimiento de soldadura se detallan en la tabla 4.

Tabla 4
Variables aplicadas en la calificación del WPS

Junta

- Junta en ranura con bisel en "V".
- Soldadura sin respaldo.
- Abertura de raíz 3 mm.

Material Base

- Materia base ASTM A36.
- Espesor 12.5 mm.

Metal de aporte

- AWS E6011.
- AWS E7018.
- Diámetro 1/8".

Posición

- Posición 6G.
- Progresión ascendente

Pre calentamiento / temperatura entre pases / TTPS

- No se requiere.

Características eléctricas

- Corriente continua.
- Polaridad indirecta.

Técnicas

- Técnica de oscilación: rectilíneo / oscilado.
 - Método de limpieza: escobillado y esmerilado.
 - Método de acanalado: canal en V mediante esmerilado.
 - Pasadas: múltiples.
 - Aplicación: manual.
-



Figura 25. Proceso de soldadura – 6G.

- El proceso de soldadura se realizó con penetración completa realizando tres pasadas; las capas que se aplicaron son: raíz, relleno y cobertura. En el pase de raíz se aplicó material de aporte AWS E6011 de 1/8" y para los demás pases material de aporte AWS E7018 de 1/8".
- Concluido el proceso de soldadura, se realiza la inspección por el método visual de acuerdo a la práctica recomendada por el código ASME Sección VIII Div.1, las inspecciones se realizaron en el pase de raíz, pase de relleno y la cobertura.
- Durante la inspección visual del cordón aplicado al pase de raíz no se evidenció presencia de discontinuidades en toda la longitud del cordón aplicado a la probeta. Las discontinuidades están dentro del margen del criterio de aceptación del código de calificación ASME IX.



Figura 26. Cordón de raíz.

- Determinado las condiciones aceptables del cordón de raíz, se aplico los pases de relleno y cobertura con material de aporte AWS E7018, al igual que el punto anterior, también se aplicó inspección visual, con la finalidad de detectar la existencia de discontinuidades que estén fuera del criterio de aceptación del código de calificación.



Figura 27. Cordón de cobertura.

- Determinado las condiciones aceptables del cordón de raíz, se aplicó los pases de relleno y cobertura con material de aporte AWS E7018, al igual que el punto anterior, también se aplicó inspección visual, con la finalidad de detectar la existencia de discontinuidades que estén fuera del criterio de aceptación del código de calificación.
- Se evaluaron los parámetros; como el almacenamiento de los materiales de aportes que se encuentren libres de contaminación y en buenas condiciones, verificación de amperaje y voltaje de salida de la máquina de soldar.



Figura 28. Verificación de amperaje.

- Se evaluaron los parámetros; como el almacenamiento de los materiales de aportes que se encuentren libres de contaminación y en buenas condiciones, verificación de amperaje y voltaje de salida de la máquina de soldar.

- Para poder determinar la calificación del proceso se recolectaron datos de las variables: pases de soldadura, tipo de material de aporte, amperaje, voltaje, polaridad, velocidad de avance y progresión.

Tabla 5
Parámetros de proceso medidos

N° de pases	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje	Progresión
		Tipo	Diámetro	Polaridad	Amperaje		
Raíz	SMAW	E6011	3.2 mm	CC+	110 - 85	20 - 24	Ascendente
Relleno	SMAW	E7018	3.2 mm	CC+	110 - 130	22 - 27	Ascendente
Cobertura	SMAW	E7018	3.2 mm	CC+	110 - 130	22 - 27	Ascendente

4.1.3. Ensayos mecánicos para determinar la calificación.

- Determinado las condiciones superficiales de las soldaduras aplicadas en las probetas se proceden a la extracción de los especímenes requeridos respetando lo exigido para los tipos de ensayos estipulados por el Código de Calificación el cual determina que se deben de extraer las cantidades siguientes: (anexo 08)
 - 02 probetas para el ensayo de tracción.
 - 02 probetas para el ensayo de doblez de cara.
 - 02 probetas para el ensayo de raíz.



Figura 29. Extracción de probetas para ensayos mecánicos.

4.1.3.1. Ensayos de tracción.

- Las probetas para el ensayo de tracción se preparan de acuerdo a lo especificado por el código de Calificación (figura QW-462.1, anexo 09), el método de ensayo se realizo de acuerdo a la norma ASTM A370

Tabla 6
Datos de ensayo de tracción – probeta 1

Material: ASTM A36	Identificación: Probeta 1	Ancho: 25.40 mm
Espesor: 12.50 mm	Área mm²: 317.50	Limite fluencia (N): 111614
Limite fluencia (Mpa): 470	Fuerza máxima (N): 127718	Ult/YP: 1.15
Resistencia tracción (Mpa): 548	L₀ (mm): 0.00	L_f (mm): 0.00
Elongación (%): 0.00	Temperatura: 22.1 °C	Rotura: Material base

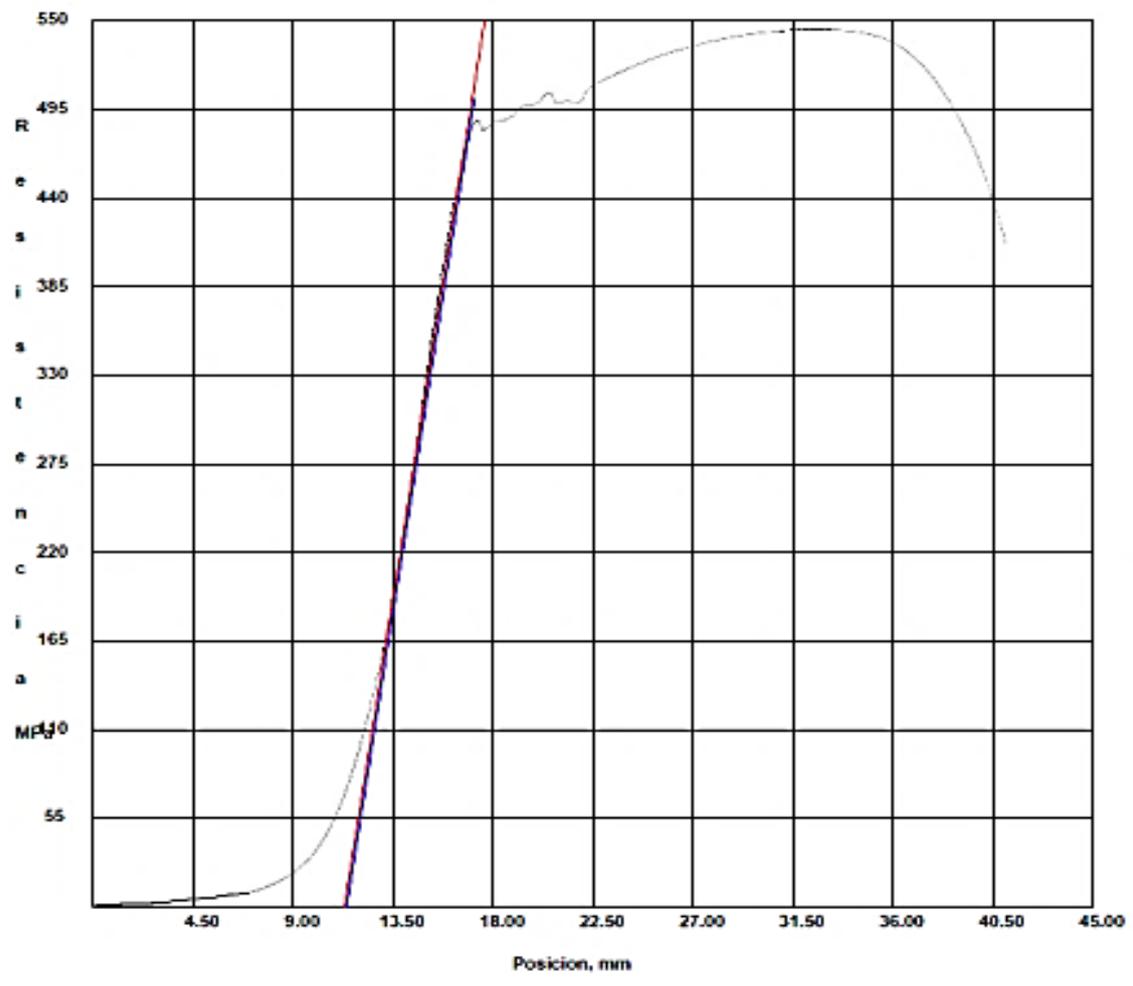


Figura 30. Diagrama esfuerzo – deformación. Probeta 1.



Figura 31. Ensayo de tracción probeta 1.

Tabla 7
 Datos de ensayo de tracción – probeta 2

Material: ASTM A36	Identificación: Probeta 2	Ancho: 25.32 mm
Espesor: 12.50 mm	Área mm²: 316.50	Limite fluencia (N): 115051
Limite fluencia (Mpa): 492	Fuerza máxima (N): 128154	Ult/YP: 1.14
Resistencia tracción (Mpa): 548	L₀ (mm): 0.00	L_f (mm): 0.00
Elongación (%): 0.00	Temperatura: 22.0 °C	Rotura: Material base

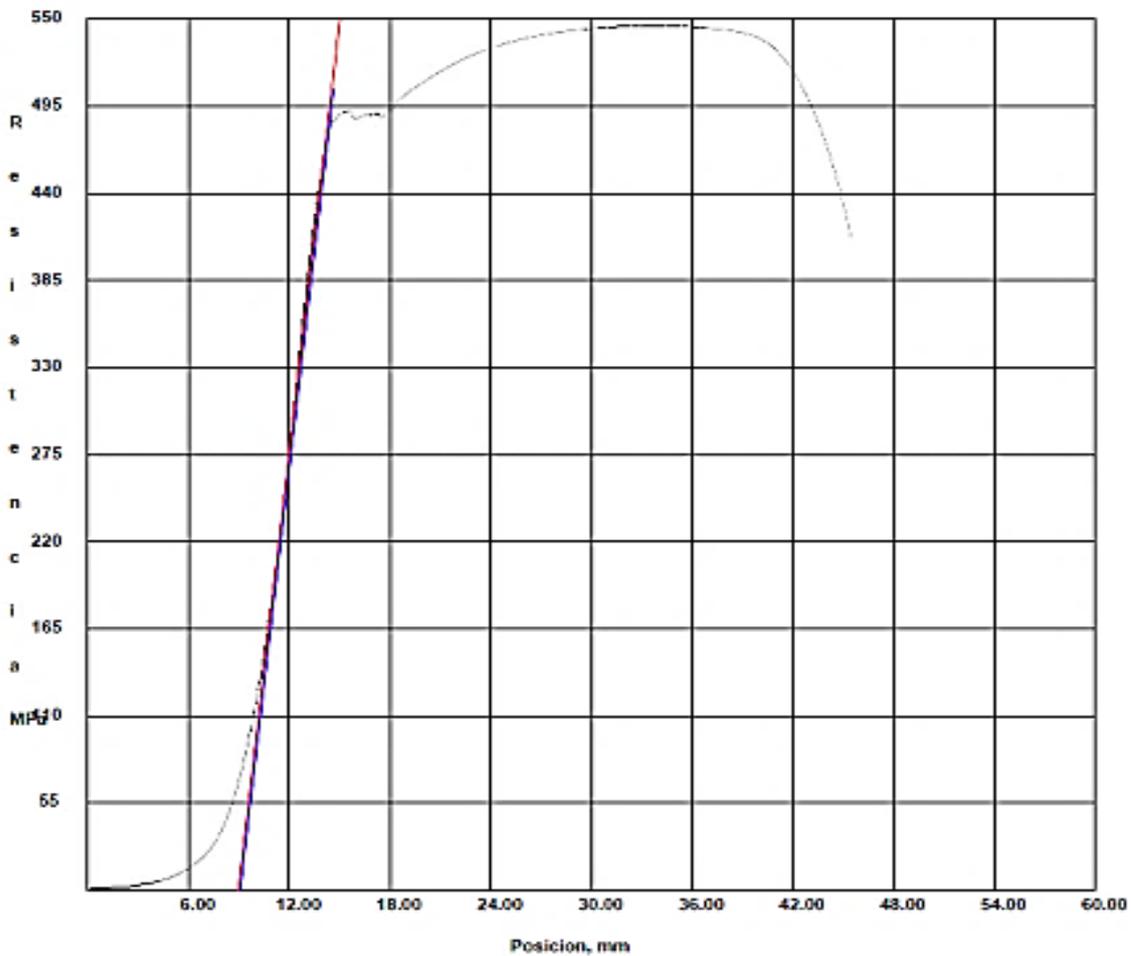


Figura 32. Diagrama esfuerzo – deformación. Probeta 2.

4.1.3.2. Ensayos de dobléz.

- Las probetas para el ensayo de dobléz se preparan de acuerdo a lo especificado por el código de Calificación figura QW-462.2 (anexo 11) y QW-462.3 (anexo 12), el método de ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM.



Figura 33. Ensayo de dobléz.



Figura 34. Probetas ensayadas.

Tabla 8
Datos de ensayo de dobléz

Material:	ASTM A36	Espesor:	12.50 mm	Proceso:	SMAW
Posición:	6G	Procedimiento de ensayo:	Según Código ASME IX 2017		
Equipo de dobléz:	Equipo Hidráulico de 6TM	Condición de ensayo:	Medio ambiente		
Metal de aporte:	AWS E6011 / AWS E7018	Norma AWS:	A5.1		

Tabla 9
Resultados del ensayo de dobléz

Probeta	Espesor	Tipo de Doblez	Resultado	Observaciones
P1C	12.5	Cara	Aceptable	No se observan discontinuidades en la ZAC
P1R	12.5	Raíz	Aceptable	No se observan discontinuidades en la ZAC
P2C	12.5	Cara	Aceptable	No se observan discontinuidades en la ZAC
P2R	12.5	Raíz	Aceptable	No se observan discontinuidades en la ZAC

4.1.4. Calificación del proceso de soldadura.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la inspección visual de las probetas de ensayo y los resultados de los ensayos mecánicos se concluye que el procedimiento de soldadura es calificado según el Código ASME para la construcción de tanques a presión.

CAPÍTULO V

DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSION

- Los resultados obtenidos del ensayo de tracción muestran valores de 470 y 492 MPa, demostrando que estos son superiores a la resistencia mínima especificada en el material base ASTM A36 el cual corresponde de acuerdo a las especificaciones técnicas a 400 MPa (anexo 10).
- La zona de fractura se presento en el metal base para el caso de las dos probetas, por tal motivo cumple con el punto (d) del ítem QW-153.1: Resistencia a la Tracción del Código de Calificación ASME IX.

QW-153 ACCEPTANCE CRITERIA — TENSION TESTS

QW-153.1 Tensile Strength. Minimum values for procedure qualification are provided under the column heading "Minimum Specified Tensile, ksi" of [Table QW/QB-422](#). In order to pass the tension test, the specimen shall have a tensile strength that is not less than

(a) the minimum specified tensile strength of the base metal; or

(b) the minimum specified tensile strength of the weaker of the two, if base metals of different minimum tensile strengths are used; or

(c) the minimum specified tensile strength of the weld metal when the applicable Section provides for the use of weld metal having lower room temperature strength than the base metal;

(d) if the specimen breaks in the base metal outside of the weld or weld interface, the test shall be accepted as meeting the requirements, provided the strength is not more than 5% below the minimum specified tensile strength of the base metal.

(e) the specified minimum tensile strength is for full thickness specimens including cladding for Aluminum Alclad materials (P-No. 21 through P-No. 23) less than $\frac{1}{2}$ in. (13 mm). For Aluminum Alclad materials $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) and greater, the specified minimum tensile strength is for both full thickness specimens that include cladding and specimens taken from the core.

Figura 35. Ítem QW-153.1

- Para el ensayo de doblez, se ensayaron cuatro probetas del material ASTM A36, de las cuales se efectuaron dos ensayos de raíz y dos ensayos de cara, no se observan en las curvas ningún tipo de discontinuidad que comprometan la integridad de la junta soldada. Las probetas ensayadas cumplen con lo especificado en el Ítem QW-163 Criterios de aceptación del Código de Calificación ASME IX.

QW-163 ACCEPTANCE CRITERIA — BEND TESTS

The weld and heat-affected zone of a transverse weld-bend specimen shall be completely within the bent portion of the specimen after testing.

The guided-bend specimens shall have no open discontinuity in the weld or heat-affected zone exceeding $\frac{1}{8}$ in. (3 mm), measured in any direction on the convex surface of the specimen after bending. Open discontinuities occurring on the corners of the specimen during testing shall not be considered unless there is definite evidence that they result from lack of fusion, slag inclusions, or other internal discontinuities. For corrosion-resistant weld overlay cladding, no open discontinuity exceeding $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm), measured in any direction, shall be permitted in the cladding, and no open discontinuity exceeding $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) shall be permitted along the approximate weld interface.

Figura 36. Ítem QW-163

- La metodología para determinar la calificación del proceso de soldadura según lo especificado en el código ASME para la construcción de un tanque a presión, se cumple en base a los resultados de los ensayos realizados a las probetas de calificación; determinando que los variables usadas durante el proceso de soldadura son las correctas para aplicarlas durante la fabricación del tanque.

5.2. CONCLUSIONES

- La necesidad de aplicar una metodología durante la calificación de procesos de soldadura es el determinar la secuencia correcta para realizar la calificación del WPS.
- Es indispensable realizar un análisis de los pasos y procedimiento que se ejecutan durante la calificación de un proceso de soldadura según el Código ASME para la obtención de resultados que se puedan aplicar en trabajos posteriores que se realicen.
- Es importante obtener un análisis previo de todos los parámetros o variables que se utilizaran durante el proceso de soldadura, para poder obtener los parámetros adecuados para la obtención de buenos resultados durante la aplicación de los ensayos realizados para la calificación del proceso.
- La cantidad necesaria de ensayos realizados a las probetas de calificación, nos puede determinar con mayor certeza que los parámetros utilizados durante el proceso de soldadura son los correctos.
- La homologación de la calificación mediante el código de calificación ASME IX, detalla los lineamientos como responsabilidades, variables de soldadura, tipo y cantidad de ensayos a realizarse a las probetas, criterios de aceptación, etc., con la finalidad que durante la fabricación de los tanques no tomen

lineamientos distintos los cuales pueden llevar a tener un mal resultado del proceso.

- Los resultados de los ensayos realizados a las probetas de calificación, nos demuestra que los parámetros utilizados durante el proceso de soldadura son los correctos para aplicarlos durante la fabricación de tanque a presión bajo el Código de fabricación ASME Sección VIII Div. 1.
- La importancia de esta investigación se basa en dar a conocer los pasos básicos aplicados para la calificación de los procesos de soldadura, con la finalidad de difundir su aplicación y hacer mas seguro los elementos que fabriquen mediante soldadura.

5.3. RECOMENDACIONES

- El estudio e interpretación, manejo y aplicación de los distintos códigos de fabricación aplicados a los procesos de soldadura, debe ser parte esencial en la formación de los inspectores de soldadura.
- Se debe de realizar una correcta preparación previa de las probetas de calificación de los procesos de soldadura para poder obtener resultados confiables.
- Es recomendable realizar prueba al personal (soldadores) para poder lograr mayores opciones de calificación positiva del procedimiento.

- Se recomienda aplicar oportunamente ensayos no destructivos antes de realizar los ensayos destructivos exigidos por el código de calificación, para poder lograr corregir cualquier discontinuidad previa que pueda presentarse.
- Se debe mantener una capacitación constante del personal de la empresa, para poder aumentar de manera efectiva la productividad y calidad de los productos fabricados por la empresa.
- Se debe revisar y actualizar periódicamente los procedimientos de soldadura debido a lo cambiante de la información técnica referente a las normativas internacionales vigentes que abarcan todo lo referente a las calificaciones de los procedimientos de soldadura.

CAPÍTULO VI

FUENTES DE INFORMACION

6.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

Alonso Laguna, D. (2017). *Elaboración del Procedimiento Escrito de Ejecución y Control de Calidad de una Unión Soldada de Virolas de Acero*. Tesis de Pregrado, Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid, España. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://uvadoc.uva.es>

Arboleda Lagos, A. (2015). *Implementación de un Plan de Mejoramiento para el Proceso de Soldadura en la Fabricación de Unidades de Campamentos en KNO Environmental Solutions LTDA*. Tesis de Pregrado, Fundación Universitaria Los Libertadores, Ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://repository.libertadores.edu.co>

Barazorda Villegas, C. (2016). *Establecimiento de un Procedimiento de Calificación de Soldadores en la Empresa SKANSKA del Perú*. Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://repositorio.upn.edu.pe>

Barrera Garcia, D., & Rojano Gámez, D. (2015). *Elaboración de un Procedimiento Específico de Soldadura (WPS) para la Construcción de Poliductos en*

Tuberías de Acero al Carbono instaladi bajo la Técnica de Perforación Horizontal dirigida para empresa Montecz S.A. Tesis de Pregrado, Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Bogota, Colombia. Recuperado el Octubre de 2015, de <https://repository.unilibre.edu.co>

Capa Guachón, V. (2009). *Diseño de Conexiones Soldadas*. Tesis de Maestria, Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Posgrado en Ingeniería y Ciencias, Quito, Ecuador. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec>

Castillo Rodriguez, F. (2018). *Recipientes a Presión*. Universidad Nacional Autonoma de México, Departamento de Ingeniería, Cuautitlán, México. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx>

Corrales Begazo, J. (2009). *Metodología para la Calificación de Procedimientos y Operarios de Soldadura según AWS B2.1*. Tesis de Pregrado, Univrsidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Lima, Perú. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://cybertesis.uni.edu.pe>

Pardo Ordoñez, D., & Valdiviezo Vilema, H. (2016). *Desarrollo de una Metodología para Soldadura Submarina en Acero Naval ASTM A 131*. Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec>

Porta Mas, E. (2014). *Diseño y Fabricación de un Mecanismo de Doble para Calificación de Soldadores y Operadores de Soldadura para Estructuras según el Código de Soldadura Estructural AWS D1.1 - 2011*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Ambiental, Lima, Perú. Recuperado el Setiembre de 2018, de <http://repositorio.untels.edu.pe>

Romero Calderón , C. (2014). *Calificación del Proceso de Soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) según el Código ASME Sección IX con Simulaciones Térmicas*. Tesis de Pregrado, Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Quito, Ecuador. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://repositorio.usfq.edu.ec>

Zambrano Flores, J. (2015). *Elaboración de una Guía de Inspección de Soldadura y Calificación de Soldadores Aplicado a las Normas ASME BPVC y API 1104*. Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec>

ANEXOS

Anexo 01

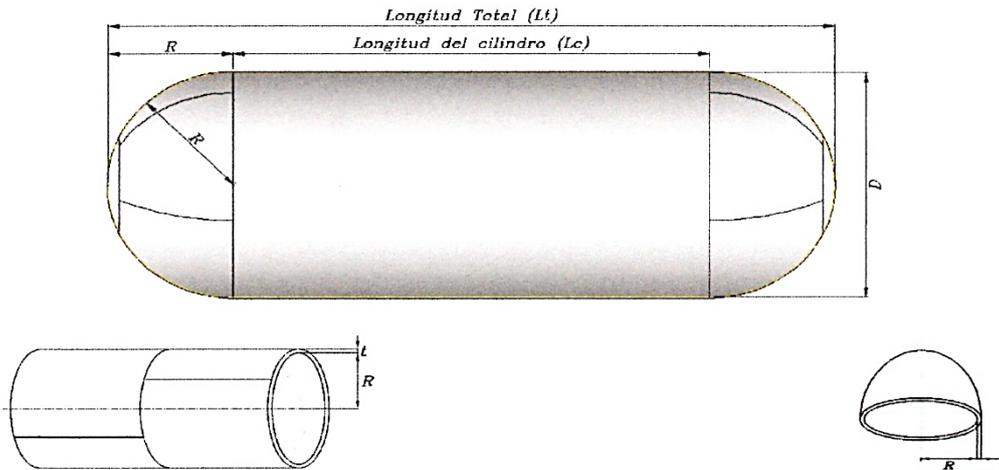
Memoria de Cálculo del Tanque

MEMORIA DE CÁLCULO

FORMULAS EXPRESADAS EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES INTERIORES

CÁLCULO PARA TANQUES CILINDRICO DE CABEZAS SEMIESFERICOS

- P = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, lb/p
- S = Valor del esfuerzo del material, lb/pulg².
- E = Eficiencia de la junta.
- R = Radio interior, (mm).
- D = Diametro interior, (mm).
- t = Espesor de pared, (mm).



DATOS

Cuerpo cilíndrico

P =	250	PSI
S =	23700	PSI
E =	1	
R =	962.5	mm
D =	1925	mm
Ec =	10.22	mm

Cabezal semiesférico

P =	250	PSI
S =	16600	PSI
E =	1	
R =	966	mm
D =	1932	mm
Et =	7.29	mm

DATOS PARA FABRICACION

Esp. Tapa real :	9.00	mm	0.35	pulg.
Esp. Cuerpo real :	12.50	mm	0.49	pulg.
Material Tapa :	ASTM A-36			
Material Cuerpo :	ASTM A-612			

Espesor de Cabeza : (Et)	0.29	pulg.	7.29	mm
Espesor de Cuerpo : (Ec)	0.40	pulg.	10.22	mm
Presión de Cabeza : (Pt)	21.71	Kg/cm ²	308.74	PSI
Presión de Cuerpo : (Pc)	21.47	Kg/cm ²	305.41	PSI
Area Superficial : (As)	36.45	m ²	392.35	ft ²

Cálculo de la capacidad Real-Teórica

©	capacidad	=	4072.84	gal.
(Vt)	Volumen de tapas	=	997.48	gal.
(Vc)	Volumen de cuerpo	=	3075.36	gal.
(Lc)	Longitud cilindro	=	4.000	m
(Lt)	Longitud total	=	5.950	m

Anexo 02

Extracto Código ASME IX Tabla QW-253 Especificaciones de Procedimiento de Variables de Soldadura (WPS) (SMAW)

Table QW-253 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Shielded Metal-Arc Welding (SMAW)					
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 impact		X	
	.8	ϕ T Qualified	X		
	.9	t Pass > 1/2 in. (13 mm)	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
	.7	ϕ Diameter > 1/4 in. (6 mm)		X	
	.12	ϕ Classification		X	
	.30	ϕ t	X		
QW-405 Positions	.33	ϕ Classification			X
	.1	+ Position			X
	.2	ϕ Position		X	
QW-406 Preheat	.3	ϕ 11 Vertical welding			X
	.1	Decrease > 100°F (55°C)	X		
	.2	ϕ Preheat maint.			X
QW-407 PWHT	.3	Increase > 100°F (55°C) (IP)		X	
	.1	ϕ PWHT	X		
	.2	ϕ PWHT (T & T range)		X	
QW-409 Electrical Characteristics	.4	T Limits	X		
	.1	> Heat input		X	
	.4	ϕ Current or polarity		X	X
QW-410 Technique	.8	ϕ I & E range			X
	.1	ϕ String/weave			X
	.5	ϕ Method cleaning			X
	.6	ϕ Method back gouge			X
	.9	ϕ Multiple to single pass/side		X	X
	.25	ϕ Manual or automatic			X
	.26	± Peening			X
.64	Use of thermal processes	X			

Legend:

+ Addition	> Increase/greater than	↑ Uphill	← Forehand
- Deletion	< Decrease/less than	↓ Downhill	→ Backhand
			ϕ Change

Anexo 03

Extracto Código ASME IX Tabla QW-253.1 Especificaciones de Procedimiento de Variables de Soldadura (WPS) (SMAW)

Table QW-253.1 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Shielded Metal-Arc Welding (SMAW)				
Special Process Variables				
Paragraph		Essential Variables		Nonessential Variables for HFO and CRO
		Hard-Facing Overlay (HFO) (QW-216)	Corrosion-Resistant Overlay (CRO) (QW-214)	
QW-402 Joints	.16	< Finished <i>t</i>	< Finished <i>t</i>	
QW-403 Base Metals	.20	ϕ P-Number	ϕ P-Number	
	.23	ϕ T Qualified	ϕ T Qualified	
QW-404 Filler Metals	.12	ϕ Classification		
	.37		ϕ A-Number	
	.38			ϕ Diameter (1st layer)
QW-405 Positions	.4	+ Position	+ Position	
QW-406 Preheat	.4	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	
QW-407 PWHT	.6	ϕ PWHT		
	.9		ϕ PWHT	
QW-409 Electrical Characteristics	.4	ϕ Current or polarity	ϕ Current or polarity	
	.22	Inc. > 10% 1st layer	Inc. > 10% 1st layer	
QW-410 Technique	.1			ϕ String/weave
	.5			ϕ Method of cleaning
	.26			± Peening
	.38	ϕ Multiple to single layer	ϕ Multiple to single layer	

Legend:
 + Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
 - Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

Anexo 04

Extracto Código ASME IX Tabla QW-255 Especificaciones de Procedimiento de Variables de Soldadura (WPS) (GMAW / FCAW)

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	
QW-405 Positions	.33	φ Classification		X
	.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

**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	± Peening			X
.64	Use of thermal processes	X			

Legend:

+ Addition
- Deletion

> Increase/greater than
< Decrease/less than

↑ Uphill
↓ Downhill

← Forehand
→ Backhand

φ Change

Anexo 05

Extracto Código ASME IX Tabla QW-255.1 Especificaciones de Procedimiento de Variables de Soldadura (WPS) (GMAW / FCAW)

Table QW-255.1				
Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)				
Special Process Variables				
Paragraph		Essential Variables		Nonessential Variables for HFO and CRO
		Hard-Facing Overlay (HFO) (QW-216)	Corrosion-Resistant Overlay (CRO) (QW-214)	
QW-402 Joints	.16	< Finished t	< Finished t	
QW-403 Base Metals	.20	ϕ P-Number	ϕ P-Number	
	.23	ϕ T Qualified	ϕ T Qualified	
QW-404 Filler Metals	.6			ϕ Nominal size of electrode
	.12	ϕ Classification		
	.23	ϕ Filler metal product form	ϕ Filler metal product form	
	.24	± or ϕ > 10% in supplemental filler metal	± or ϕ > 10% in supplemental filler metal	
	.27	ϕ Alloy elements		
	.37		ϕ A-Number	
QW-405 Positions	.4	+ Position	+ Position	
QW-406 Preheat	.4	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	
QW-407 PWHT	.6	ϕ PWHT		
	.9		ϕ PWHT	
QW-408 Gas	.2	ϕ Single, mixture, or %	ϕ Single, mixture, or %	
	.3			ϕ Flow rate
QW-409 Electrical Characteristics	.4	ϕ Current or polarity	ϕ Current or polarity	
	.26	1st layer — Heat input > 10%	1st layer — Heat input > 10%	
	.1			ϕ String/weave
QW-410 Technique	.3			ϕ Orifice/cup or nozzle size
	.5			ϕ Method of cleaning
	.7			ϕ Oscillation
	.8			ϕ Tube to work distance
	.25			ϕ Manual or automatic
	.26			± Peening
	.38	ϕ Multiple to single layer	ϕ Multiple to single layer	
	.50	ϕ No. of electrodes	ϕ No. of electrodes	

Legend:

+ Addition	> Increase/greater than	↑ Uphill	← Forehand	ϕ Change
- Deletion	< Decrease/less than	↓ Downhill	→ Backhand	

Anexo 06

Extracto Código ASME IX Tabla QW-256 Especificaciones de Procedimiento de Variables de Soldadura (WPS) (GTAW)

Table QW-256 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Tungsten-Arc Welding (GTAW)				
Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	ϕ Groove design		X
	.5	+ Backing		X
	.10	ϕ Root spacing		X
	.11	± Retainers		X
QW-403 Base Metals	.5	ϕ Group Number		X
	.6	T Limits		X
	.8	T Qualified	X	
	.11	ϕ P-No. qualified	X	
QW-404 Filler Metals	.3	ϕ Size		X
	.4	ϕ F-Number	X	
	.5	ϕ A-Number	X	
	.12	ϕ Classification		X
	.14	± Filler	X	
	.22	± Consum. insert		X
	.23	ϕ Filler metal product form	X	
	.30	ϕ t	X	
	.33	ϕ Classification		X
.50	± Flux		X	
QW-405 Positions	.1	+ Position		X
	.2	ϕ Position		X
	.3	ϕ 11 Vertical welding		X
QW-406 Preheat	.1	Decrease > 100°F (55°C)	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	
QW-409 Electrical Characteris- tics	.10	ϕ Shielding or trailing	X	
	.1	> Heat input		X
	.3	± Pulsing I		X
	.4	ϕ Current or polarity		X
	.8	ϕ I & E range		X
	.12	ϕ Tungsten electrode		X

**Table QW-256
Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Tungsten-Arc Welding (GTAW) (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
	.9 ϕ Multi to single pass/side		X	X
	.10 ϕ Single to multi electrodes		X	X
	.11 ϕ Closed to out chamber	X		
	.15 ϕ Electrode spacing			X
	.25 ϕ Manual or automatic			X
	.26 ± Peening			X
	.64 Use of thermal processes	X		

Legend:
 + Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change
 - Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

Anexo 07

Extracto Código ASME IX Tabla QW-256.1 Especificaciones de Procedimiento de Variables de Soldadura (WPS) (GTAW)

Table QW-256.1 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Tungsten-Arc Welding (GTAW)				
Special Process Variables				
Paragraph		Essential Variables		Nonessential Variables for HFO and CRO
		Hard-Facing Overlay (HFO) (QW-216)	Corrosion-Resistant Overlay (CRO) (QW-214)	
QW-402 Joints	.16	< Finished <i>t</i>	< Finished <i>t</i>	
	.20	ϕ P-Number	ϕ P-Number	
QW-403 Base Metals	.23	ϕ <i>T</i> Qualified	ϕ <i>T</i> Qualified	
	.3			ϕ Wire size
QW-404 Filler Metals	.12	ϕ Classification		
	.14	± Filler metal	± Filler metal	
	.23	ϕ Filler metal product form	ϕ Filler metal product form	
	.37		ϕ A-Number	
QW-405 Positions	.4	+ Position	+ Position	
QW-406 Preheat	.4	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	
QW-407 PWHT	.6	ϕ PWHT		
	.9		ϕ PWHT	
QW-408 Gas	.2	ϕ Single, mixture, or %	ϕ Single, mixture, or %	
	.3			ϕ Flow rate
QW-409 Electrical Characteristics	.4	ϕ Current or polarity	ϕ Current or polarity	
	.12			ϕ Tungsten electrode
	.26	1st layer — Heat input > 10%	1st layer — Heat input > 10%	
QW-410 Technique	.1			ϕ String/weave
	.3			ϕ Orifice/cup or nozzle size
	.5			ϕ Method of cleaning
	.7			ϕ Oscillation
	.15			ϕ Electrode spacing
	.25			ϕ Manual or automatic
	.26			± Peening
	.38	ϕ Multiple to single layer	ϕ Multiple to single layer	
	.50	ϕ No. of electrodes	ϕ No. of electrodes	
	.52			ϕ Filler metal delivery

Legend:

+ Addition	> Increase/greater than	↑ Uphill	← Forehand
- Deletion	< Decrease/less than	↓ Downhill	→ Backhand
			ϕ Change

Anexo 08

Extracto Código ASME IX Tabla QW-451 Límite de espesor de calificación del procedimiento y especímenes de prueba

QW-451 PROCEDURE QUALIFICATION THICKNESS LIMITS AND TEST SPECIMENS

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) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{3}{16}$ (1.5)	<i>T</i>	<i>2T</i>	<i>2t</i>	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{1}{16}$ (1.5)	<i>2T</i>	<i>2t</i>	2	[Note (5)]	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	<i>2T</i>	<i>2t</i>	2	[Note (5)]	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	<i>2T</i>	<i>2t</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)	<i>2T</i>	<i>2T</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)]	<i>2t</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>	<i>2t</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	...	...

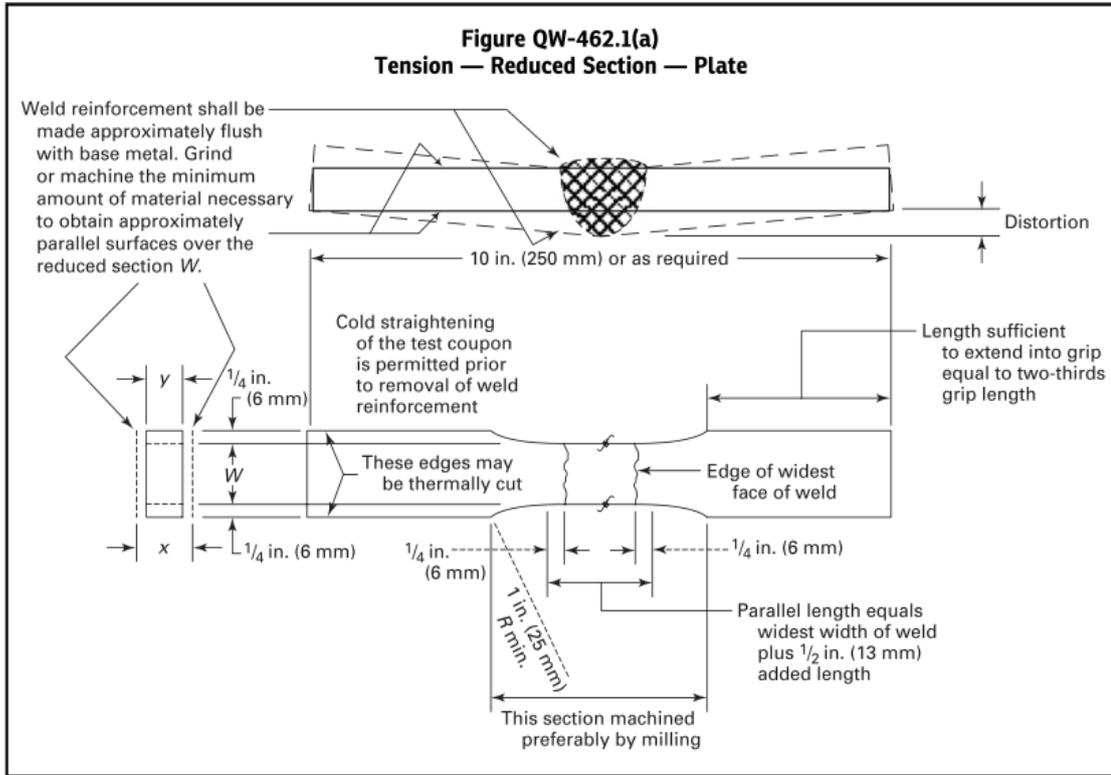
NOTES:

- (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, and QW-404.32. 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, LLBW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or *2T*, or *2t*, 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 $\frac{3}{8}$ 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.

Anexo 09

Extracto Código ASME IX Tabla QW-462.1

(17)



(17)

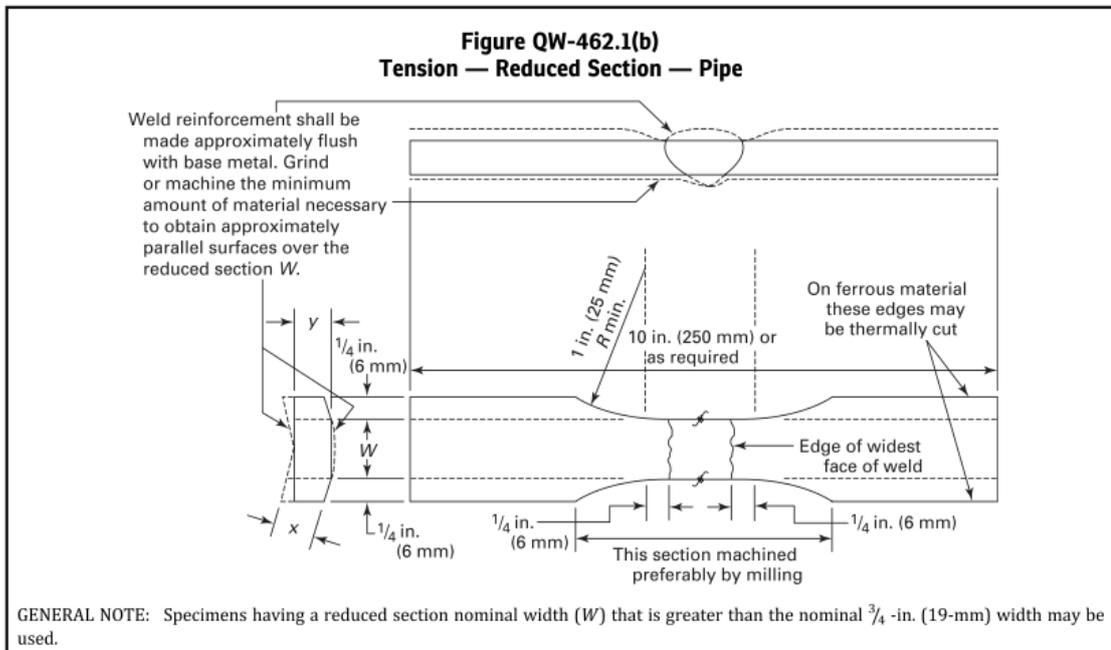
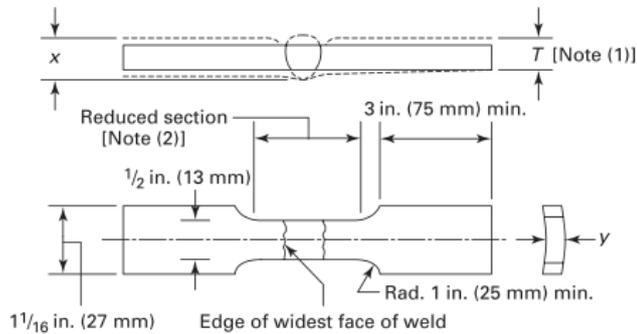


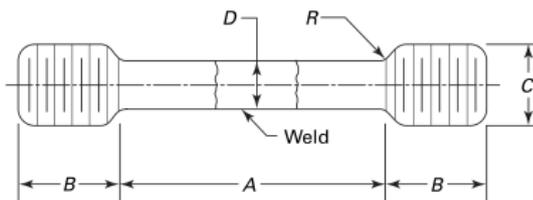
Figure QW-462.1(c)
Tension — Reduced Section Alternate for Pipe



NOTES:

- (1) The weld reinforcement shall be ground or machined so that the weld thickness does not exceed the base metal thickness T . Machine minimum amount to obtain approximately parallel surfaces.
 (2) The reduced section shall not be less than the width of the weld plus $2y$.

Figure QW-462.1(d)
Tension — Reduced Section — Turned Specimens



Standard Dimensions, in. (mm)

	(a) 0.505 Specimen	(b) 0.353 Specimen	(c) 0.252 Specimen	(d) 0.188 Specimen
A – Length of reduced section	[Note (1)]	[Note (1)]	[Note (1)]	[Note (1)]
D – Diameter	0.500 ± 0.010 (12.7 ± 0.25)	0.350 ± 0.007 (8.89 ± 0.18)	0.250 ± 0.005 (6.35 ± 0.13)	0.188 ± 0.003 (4.78 ± 0.08)
R – Radius of fillet	$\frac{3}{8}$ (10) min.	$\frac{1}{4}$ (6) min.	$\frac{3}{16}$ (5) min.	$\frac{1}{8}$ (3) min.
B – Length of end section	$1\frac{3}{8}$ (35) approx.	$1\frac{1}{8}$ (29) approx.	$\frac{7}{8}$ (22) approx.	$\frac{1}{2}$ (13) approx.
C – Diameter of end section	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{1}{2}$ (13)	$\frac{3}{8}$ (10)	$\frac{1}{4}$ (6)

GENERAL NOTES:

- (a) Use maximum diameter specimen (a), (b), (c), or (d) that can be cut from the section.
 (b) Weld should be in center of reduced section.
 (c) Where only a single coupon is required, the center of the specimen should be midway between the surfaces.
 (d) The ends may be of any shape to fit the holders of the testing machine in such a way that the load is applied axially.
 (e) When the diameter, D , of the reduced section is measured and the actual value is used to calculate the tensile stress, specimens of nominal diameters other than those shown above may be used.

NOTE:

- (1) Reduced section A should not be less than width of weld plus $2D$.

Anexo 10

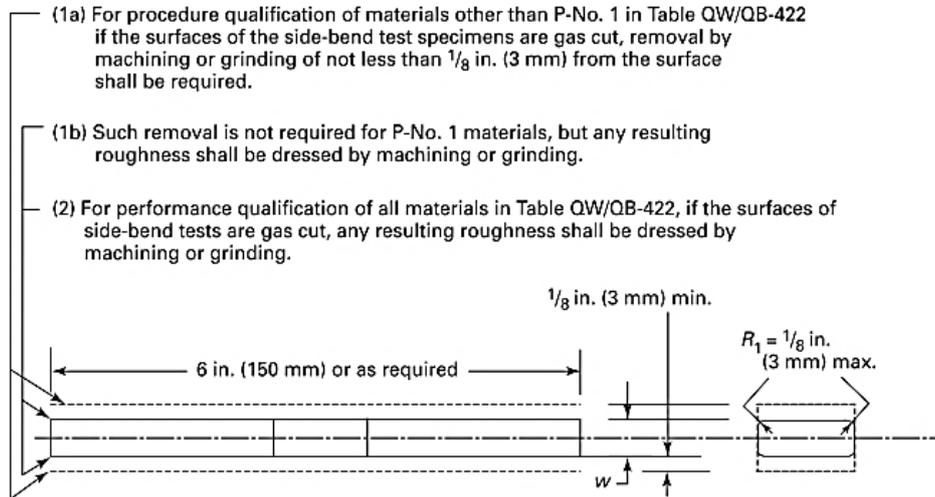
Extracto Código ASME IX Tabla QW/QB-422

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		ISO 15608 Group	Nominal Composition	Typical Product Form
				P-No.	Group	P-No.	Group			
Ferrous										
A/SA-36	...	...	58 (400)	1	1	101	11.1	C-Mn-Si	Plate, bar & shapes
A/SA-53	Type E, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	1.1	C	Resistance welded pipe	
A/SA-53	Type S, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	1.1	C	Smls. pipe	
A/SA-53	Type E, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn	Resistance welded pipe	
A/SA-53	Type F	K03005	48 (330)	1	1	101	11.1	C	Furnace welded pipe	
A/SA-53	Type S, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn	Smls. pipe	
A/SA-105	...	K03504	70 (485)	1	2	101	11.1	C	Flanges & fittings	
A/SA-106	A	K02501	48 (330)	1	1	101	1.1	C-Si	Smls. pipe	
A/SA-106	B	K03006	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn-Si	Smls. pipe	
A/SA-106	C	K03501	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si	Smls. pipe	
A108	1015	G10150	...	1	1	101	1.1	C	Bar	
A108	1018	G10180	...	1	1	101	1.1	C	Bar	
A108	1020	G10200	...	1	1	101	1.1	C	Bar	
A108	8620	G86200	...	3	3	102	4.1	0.5Ni-0.5Cr-Mo	Bar	
A/SA-134	SA283 Gr. A	K01400	45 (310)	1	1	101	1.1	C	Welded pipe	
A/SA-134	SA285 Gr. A	K01700	45 (310)	1	1	101	1.1	C	Welded pipe	
A/SA-134	SA283 Gr. B	K01702	50 (345)	1	1	101	1.1	C	Welded pipe	
A/SA-134	SA285 Gr. B	K02200	50 (345)	1	1	101	1.1	C	Welded pipe	
A/SA-134	SA283 Gr. C	K02401	55 (380)	1	1	101	1.1	C	Welded pipe	
A/SA-134	SA283 Gr. D	K02702	60 (415)	1	1	101	11.1	C	Welded pipe	
A/SA-134	SA285 Gr. C	K02801	55 (380)	1	1	101	11.1	C	Welded pipe	
A/SA-135	A	K02509	48 (330)	1	1	101	1.1	C	E.R.W. pipe	
A/SA-135	B	K03018	60 (415)	1	1	101	11.1	C	E.R.W. pipe	
A139	A	K02508	48 (330)	1	1	101	1.1	C	Welded pipe	
A139	B	K03003	60 (415)	1	1	101	11.1	C	Welded pipe	
A139	C	K03004	60 (415)	1	1	101	11.1	C	Welded pipe	
A139	D	K03010	60 (415)	1	1	101	11.1	C	Welded pipe	
A139	E	K03012	66 (455)	1	1	101	11.1	C	Welded pipe	
A167	Type 302B	S30215	75 (515)	8	1	102	8.1	18Cr-8Ni-2Si	Plate, sheet & strip	
A167	Type 308	S30800	75 (515)	8	2	102	8.2	20Cr-10Ni	Plate, sheet & strip	
A167	Type 309	S30900	75 (515)	8	2	102	8.2	23Cr-12Ni	Plate, sheet & strip	

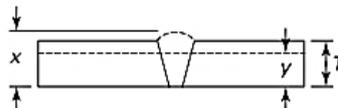
Anexo 11

Extracto Código ASME IX Tabla QW-462.2

Figure QW-462.2
Side Bend



T, in. (mm)	y, in. (mm)	w, in. (mm)	
		P-No. 23, F-No. 23, F-No. 26, or P-No. 35	All other metals
$\frac{3}{8}$ to $< 1\frac{1}{2}$ (10 to < 38)	T [Note (1)]	$\frac{1}{8}$ (3)	$\frac{3}{8}$ (10)
$\geq 1\frac{1}{2}$ (≥ 38)	Notes (1) and (2)	$\frac{1}{8}$ (3)	$\frac{3}{8}$ (10)



GENERAL NOTE: Weld reinforcement and backing strip or backing ring, if any, may be removed flush with the surface of the specimen. Thermal cutting, machining, or grinding may be employed. Cold straightening is permitted prior to removal of the reinforcement.

NOTES:

(1) When weld deposit t is less than coupon thickness T , side-bend specimen thickness may be t .

(2) When coupon thickness T equals or exceeds $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm), use one of the following:

(a) Cut specimen into multiple test specimens of thickness y of approximately equal dimensions $\frac{3}{4}$ in. to $1\frac{1}{2}$ in. (19 mm to 38 mm).

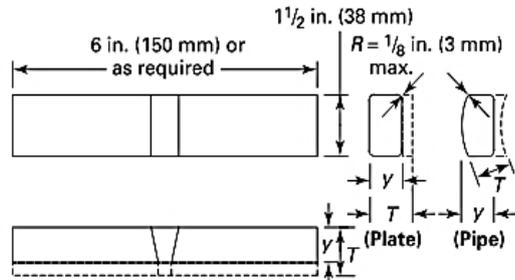
y = tested specimen thickness when multiple specimens are taken from one coupon.

(b) The specimen may be bent at full width. See requirements on jig width in QW-466.1.

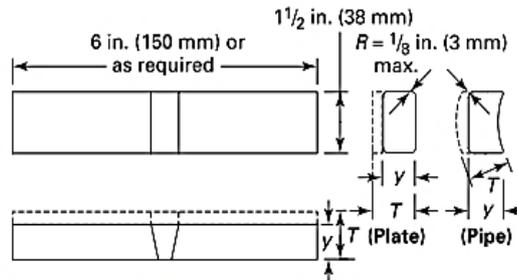
Anexo 12

Extracto Código ASME IX Tabla QW-462.3

Figure QW-462.3(a)
Face and Root Bends — Transverse



Face-Bend Specimen — Plate and Pipe



Root-Bend Specimen — Plate and Pipe

T, in. (mm)	Y, in. (mm)	
	F-No. 26, or P-No. 35	P-No. 23, F-No. 23, All Other Metals
$\frac{1}{16} < \frac{1}{8}$ (1.5 < 3)	T	T
$\frac{1}{8} - \frac{3}{8}$ (3 - 10)	$\frac{1}{8}$ (3)	T
$> \frac{3}{8}$ (10)	$\frac{1}{8}$ (3)	$\frac{3}{8}$ (10)

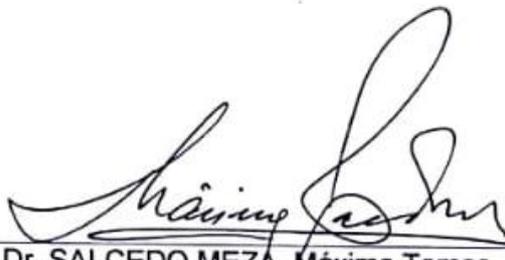
GENERAL NOTES:

- Weld reinforcement and backing strip or backing ring, if any, may be removed flush with the surface of the specimen. If a recessed ring is used, this surface of the specimen may be machined to a depth not exceeding the depth of the recess to remove the ring, except that in such cases the thickness of the finished specimen shall be that specified above. Do not flame-cut nonferrous material.
- If the pipe being tested has a diameter of NPS 4 (DN 100) or less, the width of the bend specimen may be $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) for pipe diameters NPS 2 (DN 50) to and including NPS 4 (DN 100). The bend specimen width may be $\frac{5}{8}$ in. (10 mm) for pipe diameters less than NPS 2 (DN 50) down to and including NPS $\frac{3}{8}$ (DN 10) and as an alternative, if the pipe being tested is equal to or less than NPS 1 (DN 25) pipe size, the width of the bend specimens may be that obtained by cutting the pipe into quarter sections, less an allowance for saw cuts or machine cutting. These specimens cut into quarter sections are not required to have one surface machined flat as shown in QW-462.3(a). Bend specimens taken from tubing of comparable sizes may be handled in a similar manner.

TESIS

METODOLOGIA PARA LA CALIFICACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN EL CODIGO ASME SECCION VIII DIV.1 PARA LA CONSTRUCCION DE UN TANQUE A PRESIÓN EN LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALICAS S.A.C.

JURADO DE TESIS



Dr. SALCEDO MEZA, Máximo Tomas
CIP. 15140
PRESIDENTE



Dr. RUIZ SANCHEZ, Berardo Beder
CIP. 26627
SECRETARIO



Mg. ABARCA RODRIGUEZ, Joaquín-José
CIP. 108833
VOCAL



Mg. MARVASTA TORRES, Israel
CIP. 146766
ASESOR