

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

IMPLEMENTACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)
SEGÚN EL CODIGO AWS D1.1/D1.1M: 2015 EN LA EMPRESA
METALLURGICAL TRAINING AND INSPECTIONS S.A.C. - 2018

Autor

RULAN CHAYITO CORCINO MORALES

Asesor

Dr. José Vicente NUNJA GARCIA

CIP. 51874

Huacho - Perú

2019

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo y María quienes con su, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Rulan Chayito Corcino Morales

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Unidad Educativa Cristiana Verbo, por confiar en mí, abrimme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

De igual manera mis agradecimientos a la universidad José Faustino Sánchez Carrión, a la Facultad de Ingeniería Metalúrgica, quien, con sus buenos docentes, nos brindan las enseñanzas necesarias para ser parte de la competencia que se nos presentan en nuestros sueños a seguir.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a todas las personas que fui conociendo en el transcurso de mi etapa universitaria; sé que aportaron de alguna u otra forma para que se logre este sueño; gracias a todos.

Rulan Chayito Corcino Morales

INDICE GENERAL

Portada.	1
Dedicatoria.	2
Agradecimiento.	3
Índice general.	4
Índice de figuras.	8
Índice de tablas.	9
Índice de anexos.	10
Resumen.	11
Abstrarct.	13
Introducción.	15
CAPITULO I: Planteamiento del Problema.	
1.1. Descripción de la realidad problemática.	16
1.2. Formulación del problema.	17
1.2.1. Problema general.	17
1.2.2. Problemas específicos.	17
1.3. Objetivos.	18
1.3.1. Objetivo general.	18
1.3.2. Objetivos específicos.	18
1.4. Justificación de la investigación.	19
1.4.1. Justificación técnica.	19
1.4.2. Justificación económica.	19
1.4.3. Justificación social.	19
1.5. Delimitación del estudio.	20
1.5.1. Delimitación temporal.	20
1.5.2. Delimitación espacial.	20
1.5.3. Delimitación académica.	20
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 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.	26
2.2. Bases Teóricas.	29
2.2.1. Procesos de soldadura.	29
2.2.1.1. Soldadura manual por arco eléctrico con electrodos revestido.	29
2.2.1.1.1. Parámetros de soldeo.	31
2.2.1.1.2. Ventajas y limitaciones del proceso.	35
2.2.1.1.3. Aplicaciones.	36
2.2.1.2. Soldadura por arco con electrodo metálico y protección de gas.	37
2.2.1.2.1. Variables del proceso.	38
2.2.1.2.2. Ventajas y limitaciones del proceso.	41
2.2.1.2.3. Aplicaciones.	42
2.2.1.3. Soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente.	43
2.2.1.3.1. Variables del proceso.	44
2.2.1.3.2. Ventajas y limitaciones del proceso.	44
2.2.1.3.3. Aplicaciones.	45
2.2.2. Código AWS.	45
2.2.2.1. Código AWS D1.1/D1.1M:2015.	46
2.2.3. Procedimiento de soldadura – WPS.	48
2.2.3.1. Propósito de las especificaciones de procedimientos de soldaduras.	49
2.2.4. Efectos de las variables de soldadura.	50
2.2.5. Calificación de WPS.	56
2.2.5.1. Posiciones de soldaduras.	56
2.2.5.2. Tipo de ensayo de calificación.	61
2.2.5.3. Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS.	61
2.3. Definiciones conceptuales.	62
2.4. Formulación de hipótesis.	65

2.4.1.	Hipótesis general.	66
2.4.2.	Hipótesis específicas.	66
CAPITULO III: Metodología.		
3.1.	Diseño metodológico.	67
3.1.1.	Tipo de investigación.	67
3.1.1.1.	Investigación Exploratoria.	68
3.1.1.2.	Investigación Descriptiva.	68
3.2.	Población y muestra.	69
3.2.1.	Población.	69
3.2.2.	Muestra.	69
3.3.	Operacionalización de variables e indicadores.	69
3.4.	Técnica e instrumentos de recolección de datos.	70
3.4.1.	Técnicas a emplear.	70
3.4.2.	Descripción de los instrumentos.	71
3.5.	Técnicas para el procesamiento de la información.	71
CAPITULO IV: Resultados.		
4.1.	Calificación del WPS.	73
4.1.1.	Situación actual de la empresa.	73
4.1.2.	Alcance.	73
4.1.3.	Desarrollo para calificación del procedimiento de soldadura (WPS).	74
4.1.4.	Calificación del WPS.	76
4.1.4.1.	Descripción del trabajo a realizarse.	76
4.1.4.2.	Selección del código.	77
4.1.4.3.	Definición de las variables.	77
4.1.4.4.	Elaboración de WPS.	77
4.1.4.5.	Proceso de soldadura.	78
4.1.4.6.	Inspección visual.	79
4.1.4.6.1.	Resultado de la inspección visual.	80
4.1.4.7.	Aplicación de ensayos mecánicos.	80

4.1.4.7.1. Ensayo de doblez.	81
4.1.4.7.2. Resultado del ensayo de doblez.	82
4.1.4.7.3. Ensayo de tracción.	83
4.1.4.7.4. Resultado del ensayo de tracción.	84
4.1.4.7.5. Aprobación del WPS.	85
4.2. Implementación del procedimiento de soldadura.	85
4.2.1. Capacitación.	86
4.2.1.1. Ítem para el desarrollo de la capacitación del WPS.	86
4.2.1.2. Objetivos de la capacitación del WPS.	86
4.2.1.3. Temas a desarrollarse en la capacitación.	87
CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones.	
5.1. Conclusiones.	88
5.2. Recomendaciones.	89
CAPITULO VI: Fuentes de información.	
5.1. Fuentes bibliográficas.	91
Anexos.	94

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Esquema proceso de soldadura SMAW.
- Figura 2: Efecto de los principales parámetros de soldeo en el cordón.
- Figura 3: Penetración obtenida en función de la polaridad.
- Figura 4: Esquema proceso de soldadura GMAW.
- Figura 5: Esquema proceso de soldadura FCAW.
- Figura 6: Esquema de posiciones de soldadura en Filete.
- Figura 7: Esquema de posiciones de soldadura a tope.
- Figura 8: Posiciones para pruebas de soldadura a Tope.
- Figura 9: Posiciones para pruebas de soldadura en filete.
- Figura 10: Desarrollo de la calificación del WPS.
- Figura 11: Ejecución de las juntas soldadas.
- Figura 12: Verificación de preparación de junta.
- Figura 13: Verificación del pase de raíz.
- Figura 14: Probeta para ensayo de dobléz.
- Figura 15: Ensayo de dobléz.
- Figura 16: Probetas ensayadas.
- Figura 17: Probetas para ensayo de tracción.

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1: Comparativa de las características de soldeo en CC y CA.
- Tabla 2: Variables e Indicadores.
- Tabla 3: Parámetros del ensayo de dobléz.
- Tabla 4: Resultados de tensión.

INDICE DE ANEXOS

Anexo	1:	Matriz de consistencia.	95
Anexo	2:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.1.	96
Anexo	3:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 9.9.	97
Anexo	4:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS.	98
Anexo	5:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas- ESW y EGW.	101
Anexo	6:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas de más de 3/8 pulgadas [10 mm] de espesor.	102
Anexo	7:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas 3/8 pulgadas [10 mm] y menor espesor.	103
Anexo	8:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de doblado de cara y raíz.	104
Anexo	9:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de doblado lateral.	105
Anexo	10:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de tracción de sección reducida.	106
Anexo	11:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de tracción de metal de soldadura.	107
Anexo	12:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.5.	108
Anexo	13:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.6.	111
Anexo	14:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 3.1.	112
Anexo	15:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.8.	116
Anexo	16:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.9.	117
Anexo	17:	Especificación del Proceso de Soldadura – WPS.	122
Anexo	18:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.11.	124
Anexo	19:	Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.12 y Tabla 4.13.	125
Anexo	20:	Calificación del Procedimiento de Soldadura – PQR.	126

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se detalla la implementación de procedimiento de soldadura (WPS) según lo estipulado en el código de soldadura estructural y acero AWS D1.1/D1.1M: 2015 realizada a los procesos de soldadura para la fabricación de estructura soldadas que realiza la empresa Metallurgical Training and Inspections S.A.C.

En el capítulo I, se sustenta la realidad problemática motivo por el cual se basa el siguiente trabajo de investigación; se define los objetivos del estudio, la justificación y la delimitación con la que se enmarca el estudio y la viabilidad del trabajo de investigación.

El capítulo II contiene los antecedentes de la investigación que se usaron como referencia, también el marco teórico donde se recopila 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 capítulo III, contiene el diseño metodológico, 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 o de información 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: *Acero, AWS, GMAW, Código, Estructural, Implementación, Procedimiento, Soldadura, WPS.*

ABSTRACT

In the present work of investigation it is detailed the implementation of procedure of welding (WPS) according to the stipulated in the code of structural welding and steel AWS D1.1 / D1.1M: 2015 realized to the processes of welding for the manufacture of structure welded carried out by Metallurgical Training and Inspections SAC

In chapter I, the problematic reality is based on which the following research work is based; the objectives of the study are defined, the justification and the delimitation with which the study is framed and the viability of the research work.

Chapter II contains the background of the research that was used as a reference, as well as the theoretical framework where the main theories used in this research work are compiled. The general hypothesis and specific bases for the initiation of the investigation are formulated.

Chapter III contains the methodological design, the types of research, the level and focus 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 bibliographical or information 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: *Steel, AWS, GMAW, Code, Structural, Implementation, Procedure, Welding, WPS.*

INTRODUCCION

La demanda de las estructuras soldadas de aceros en el Perú aplicados en distintos rubros como son el sector transporte, minería, construcción, etc. exigen a las empresas fabricantes que cumplan con los estándares de calidad asegurando las propiedades requeridas en el trabajo para el cual están destinadas.

Las juntas soldadas realizadas durante la fabricación de las estructuras de aceros son la parte más susceptible dentro del sistema, pudiéndose presentar dentro de ellas múltiples tipos de discontinuidades, generadas en su mayoría durante los procesos de soldadura que se le realizan. El control correcto de los parámetros que involucran los procesos de soldadura ayuda a evitar la presencia de discontinuidades en las juntas soldadas, haciendo que estas presenten un mayor grado de calidad.

Los WPS (Welding Procedure Specification), son documentos que contienen lineamientos que indican la forma correcta de aplicar las variables involucrados durante los procesos de soldadura para poder lograr una junta soldada sana y de calidad, bajo el cumplimiento de los criterios de los códigos y normas que gobiernan el proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Metallurgical Training And Inspections S.A.C., (METRAIN S.A.C.) es una empresa dedicada a la construcción, montaje e inspección de estructuras soldadas, los cuales deben de cumplir con los estándares de calidad que se requieren para que puedan entrar en funcionamiento garantizando su confiabilidad y seguridad.

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) es la encargada de desarrollar estándares que ayudan a determinar la calidad de las estructuras soldadas, tanto durante el diseño, construcción, preparación y elección de materiales y suministros, inspección y certificación de las mismas, con la finalidad determinar una mejora continua en los procesos que se aplican. El código AWS D1.1/D1.1M:2015 “Structural Welding Code Steel” contiene los requisitos para fabricar y montar estructuras de acero soldadas. En la sección 4 del código se contiene los requisitos para la calificación de la WPS y las pruebas de calificación de rendimiento que debe aprobar todo el personal de soldadura (soldadores, operadores de soldadura y soldadores punteadores) para realizar soldaduras de conformidad con este código.

Debido a que la empresa METRAIN S.A.C., fabrica y realiza el montaje de estructuras soldadas, entre otros, se ve en la necesidad de implementar el procedimiento de soldadura (WPS) bajo las directrices del código AWS

D1.1/D1.1M:2015, con la finalidad de cumplir con la normatividad exigida para dichos productos y lograr obtener estándares de calidad que aseguren los procesos de producción. Siendo un punto importante para la empresa el aseguramiento de calidad de sus productos y servicios, la implementación de los WPS se debe realizar teniendo en cuenta la situación del proyecto para poder desarrollar un procedimiento específico de soldadura.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General.

¿En qué medida la implementación de Procedimiento de Soldadura (WPS) según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 determina el cumplimiento de los estándares de calidad en los procesos de soldadura?

1.2.2. Problemas Específicos.

- ¿En qué medida la implementación de WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permite validar el procedimiento con la calificación de acuerdo a lo requerido en el código?
- ¿En qué medida la implementación de WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permite elaborar un plan de capacitación de manera clara y concisa del plan de calidad?

- ¿En qué medida la implementación de WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permite conocer la calidad de insumos y materiales empleados en los trabajos programados?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General.

Implementar Procedimiento de Soldadura (WPS) según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 para el cumplimiento de los estándares de calidad en los procesos de soldadura.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Implementar WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 para validar el procedimiento con la calificación de acuerdo a lo requerido en el código.
- Implementar WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 para elaborar un plan de capacitación de manera clara y concisa del plan de calidad.
- Implementar WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 para conocer la calidad de insumos y materiales empleados en los trabajos programados.

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación técnica.

La aplicación de herramientas que ayuden en la mejora continua del proceso de soldadura aplicado a estructura soldadas realizadas por la empresa METRAIN S.A.C. nos permite conocer las posibles deficiencias en la que incurre la empresa durante la ejecución de los trabajos de soldadura.

El presente trabajo de investigación ayudara a la empresa en la mejora de los procesos en el área de soldadura, con la implementación y elaboración de los procedimientos adecuados, bajo los códigos aplicables para el cumplimiento del plan de calidad.

1.4.2. Justificación económica.

La implementación de procedimientos de soldadura (WPS), para los trabajos de estructuras soldadas, permite un mejor control en los procesos de soldadura a ejecutarse y disminuir un sobre costo de operación por mala ejecución de los trabajos y una deficiente calidad en los mismos.

1.4.3. Justificación social.

La implementación de los WPS, en los procesos de soldadura estructural nos permite asegurar, la calidad de las mismas, haciendo segura la estructura y

garantizar su calidad durante su operación, evitando así posibles accidentes ocasionados por una calidad deficiente en las estructuras.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1. Delimitación temporal.

La implementación de los WPS según el código AWS D1.1/D1.1M:2015 propuesto en el trabajo de investigación propuesto, están enmarcado dentro del periodo 2018, considerándose solamente los trabajos de soldadura estructural de acuerdo al código especificado, estos son obtenidos en base a los parámetros que el código exige para la ejecución de soldadura estructural.

1.5.2. Delimitación espacial.

El presente trabajo se realiza dentro y para los talleres de la empresa METRAIN S.A.C., en el área de montaje y fabricación de estructuras soldadas, ubicadas en la ciudad de Lima.

1.5.3. Delimitación académica.

El trabajo de investigación planteado cumple con los exigido por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en referencia al grado de investigación y el esquema de presentación para el trabajo de tesis, para eso se

sustenta bibliografías, textos, informes, reportes y estudios que proporcionan conceptos y teorías sobre la implementación de WPS, adicionalmente esto se complementa con el desarrollo de aspectos técnicos entorno a materias como parámetros de procesos de soldaduras, calificación de personal, etc.

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.

El tema de investigación propuesto "*IMPLEMENTACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) SEGÚN EL CODIGO AWS D1.1/D1.1M: 2015 EN LA EMPRESA METALLURGICAL TRAINING AND INSPECTIONS S.A.C. - 2018*"; 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 poblacional se realiza a los actores implicados durante la fabricación de estructuras soldadas. Cada estructura soldada cuenta con tipos de soldaduras distintas de acuerdo a lo especificado en los planos de diseño.

El estudio cuenta con la viabilidad de recurso ya que será realizado por el tesista con apoyo de personal de las empresa METRAIN S.A.C.

1.6.3. Viabilidad de recurso financiero.

Si es viable, por medio de recursos monetarios propios del tesista de manera que el proyecto no requiere de un financiamiento mayor o ser auspiciado por alguna empresa o entidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.

- a) Según Sánchez Aguilar B. (2017), en el trabajo de investigación: ***“Implementación de Procedimiento de Soldadura WPS para Uniones Soldadas a Vigas de Ala Ancha, con Patines entre 1/2 Y 3/4 de Pulgada de Espesor, en la Empresa Metalmecánica Industrial”***, concluye que el acero con bajo contenido de carbono tiene poca predisposición a formar estructuras frágiles; los fundamentos básicos que se deben tomar en cuenta son el porcentaje de la aleación y el contenido de carbono; con esta información se clasificarán los aceros que son aptos para soldabilidad. Al realizar una unión a tope en acero A36 o A992 representa una serie de eventos y variables que influirán en el producto terminado. Y la manera de mantener esa calidad constante es por medio de procedimientos normados que describan en una serie de pasos todos los detalles que se deberán cumplir para obtener una calidad constante; esto se logrará con la creación de un WPS, en otras palabras, este documento se asegura que se esté siguiendo un procedimiento precalificado para obtener un resultado muy similar a lo que ya ha sido aprobado y avalado por la AWS.

El acero estructural puede tener una variación de porcentajes de diferentes minerales que forman parte de su composición; el más relevante siempre será el porcentaje de carbono que contenga su estructura; el código de la AWS realizó las pruebas necesarias para elegir el material base que concluyó que los aceros que se detallan en este documento no necesitan precalentamiento bajo el criterio de carbono equivalente y esto se debe a que el porcentaje de carbono en su estructura es tan pequeño que al aplicarle calor no formará estructura martensíticas. La importancia de la creación de un documento bajo condiciones precalificadas que mantiene los estándares y se siguen las instrucciones detalladas por el código AWS, para garantizar la calidad del proceso descrito y del producto terminado. En la tabla XII, se describe detalladamente el contenido de un formulario WPS que cuenta con la explicación técnica y teórica de cómo trabajar soldadura con acero A36 y A992, aceros que tienen un punto de fluencia $f_y = 36\ 000$, $f_y = 50\ 000$ respectivamente. Se logró establecer el criterio para aplicar soldadura en uniones a tope de patines de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de pulgada en acero A36 y A992 para no variar la calidad del producto final. (Quiñónes López, 2017)

- b) Según Sánchez Aguilar B. (2015), en el trabajo de investigación: ***“Elaborar e Implementar un Procedimiento de Soldadura en la Empresa Revoconstrucciones para la Mejora Productiva Utilizando Herramientas de Calidad”***, concluye que la importancia de esta investigación es identificar y diferenciar los diferentes procesos de soldadura dentro de las construcciones mecánicas que realiza la empresa Revoconstrucciones. El objetivo de esta tesis es la implementación del software SOLCOST, dentro del

manejo del proceso de soldadura que realiza la Empresa Revoconstrucciones para conocer los diferentes costos de materiales, mano de obra, costo de equipos, materiales consumibles entre otros, así como determinar en un tiempo más rápido y conciso los costos que conllevan la realización de un proyecto determinado.

Brindar información clara y precisa al personal sobre los elementos de seguridad que deben utilizar dentro del proceso de soldadura, así como conocer los riesgos a los que están expuestos al realizar dicha actividad. Con la implementación del proceso de soldadura se describirá los métodos a seguir para la preparación, calificación, y control del procedimiento de soldadura, adicionalmente que se constituyan en una guía que optimice la utilización de recursos, minimizando tiempos de ejecución y garantizando la calidad de los servicios y productos que ofrece Revoconstrucciones. (Sánchez Aguilar, 2015)

- c) Según Caballero Espinoza C. (2014), en el trabajo de investigación: ***“Calificación de un Procedimiento de Soldadura Especifico y la Habilidad del Personal de Soldadura para la Fabricación de un Tanque Metálico ASME VIII DIV 1”***, concluye que, se notó claramente que cuando se califica un “Procedimiento de Soldadura Especifico”, el interés estaba en la compatibilidad de materiales y técnicas. Una vez que fueron probadas la buena unión metalúrgica, las calificaciones individuales de cada soldador están diseñadas para juzgar el nivel de habilidad de los soldadores en producción. La correcta calificación de procedimientos y personal de

soldadura en realidad dará como resultado una reducción de los costos. Cuando se califican personas y métodos, y se encuentran aceptables, es menos probable que haya costos excesivos causados por las soldaduras rechazadas y retrasos en los trabajos. La ratio de aprobación de los soldadores fue bajo ($1 / 6 = 16.6\%$). Este resultado es compatible con las ratios de aprobación que se obtienen en otros proyectos en los diversos procesos, posiciones, materiales base, etc.

Lo mencionado ratifica la necesidad de tener personal calificado para realizar la soldadura de producción. La correcta inspección visual antes, durante y después de la soldadura garantiza en un porcentaje elevado que los Ensayos Mecánicos y o No Destructivos resulten satisfactorios durante la calificación de un “Procedimiento Especifico de Soldadura” y la “Habilidad de los Soldadores”. La estandarización de la calificación mediante el código de calificación ASME IX, te detalla los lineamientos como responsabilidades, variables de soldadura, tipo y cantidad de ensayo, criterios de aceptación, etc., con la intención de que los fabricantes no tomen lineamientos variados, los cuales pueden ser erróneos. (Caballero Espinoza, 2014)

2.1.2. Otras publicaciones.

- a) Según Barazorda Villegas, C. (2016); en la publicación del artículo titulado: ***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 validades 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 Porta Mas, E. (2014); en la publicación del artículo 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 del presente trabajo se determinan las siguientes conclusiones: 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.

(Porta Mas, 2014)

2.2. BASES TEORICAS.

2.2.1. Procesos de soldadura.

Los procesos de soldadura aplicados en la fabricación de estructuras soldadas de aceros, comúnmente son:

- Soldadura manual por arco eléctrico con electrodos revestido (SMAW).
- Soldadura por arco con electrodo metálico y protección de gas (GMAW).
- Soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente (FCAW).

Existen otros tipos de procesos que se aplican también para el proceso de fabricación de estructuras dependiendo de las dimensiones y el tipo de material base de las mismas.

2.2.1.1. Soldadura manual por arco eléctrico con electrodos revestido.

El proceso de soldeo metálico por arco con electrodo revestido, también conocido por las siglas SMAW (Shielded Metal Arc Welding), es un proceso en el que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico

establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar. (Martin Guivernau, 2011)

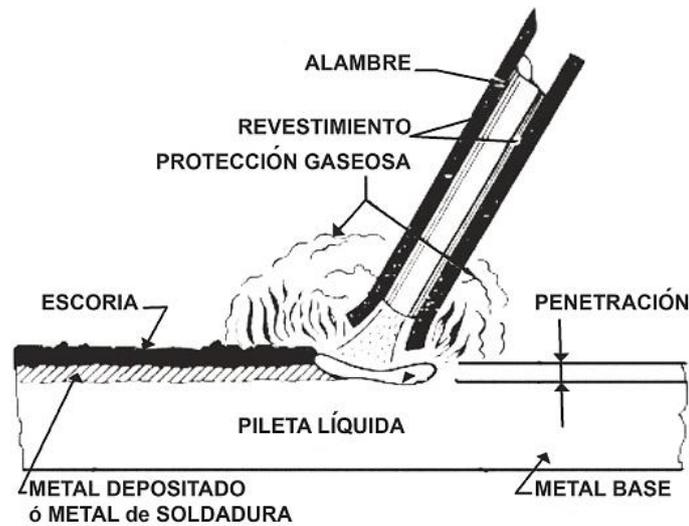


Figura 1. Esquema proceso de soldadura SMAW.

El proceso se inicia con el cebado del arco, operación que consiste en tocar la pieza con el extremo libre del electrodo, cerrándose durante ese corto tiempo el circuito. El paso de corriente genera por efecto Joule el calentamiento del punto de contacto y de las zonas inmediatas, particularmente el extremo del electrodo. En el momento de separar el extremo del electrodo de la pieza, el metal del extremo libre del electrodo produce una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la presión, chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso, generando una atmosfera ionizada en su entorno que permite el paso de corriente a través del aire. Los electrodos que van del electrodo al ánodo provocan la fusión parcial del electrodo y producen así el salto del arco. (Martin Guivernau, 2011)

El arco eleva extraordinariamente la temperatura, del orden de 5000°C , siendo estas muy por encima de la temperatura de fusión del metal. Es por ello, que tanto el extremo del electrodo como la zona afectada por el arco en el metal base se

funden. Del extremo del electrodo se desprenden pequeñas gotas de metal fundido, que se proyectan sobre el metal base también fundido, mezclándose con él y formando lo que se denomina baño de fusión. (Martin Guivernau, 2011)

A medida que el electrodo se va consumiendo con este proceso, se hace avanzar el baño fundido a lo largo de la unión a soldar, al tiempo que la parte del baño fundido que deja de estar en contacto directo con el arco se va solidificando por la difusión del calor, formando lo que denominamos metal soldado. (Martin Guivernau, 2011)

2.2.1.1.1. Parámetros de soldeo.

Los parámetros principales de soldeo metálico por arco con electrodo revestido son: (Martin Guivernau, 2011)

- Diámetro de electrodo.
- Intensidad de soldeo.
- Longitud de arco.
- Velocidad de desplazamiento.
- Tipo de corriente.
- ***Diámetro del electrodo.***

En general, se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de

los que depende la selección del diámetro del electrodo. El aporte térmico depende directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, todos ellos parámetros que dependen del diámetro del electrodo. El aporte térmico será mayor cuanto mayor sea el diámetro del electrodo. En las aplicaciones con materiales donde se requiera que el aporte térmico sea bajo se deberán utilizar electrodos de pequeño diámetro. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Intensidad de soldeo.***

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse y que en ningún caso se debe superar ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. Cuando mayor sea la intensidad utilizada mayores serán la penetración y la tasa de deposición. (Martin Guivernau, 2011)

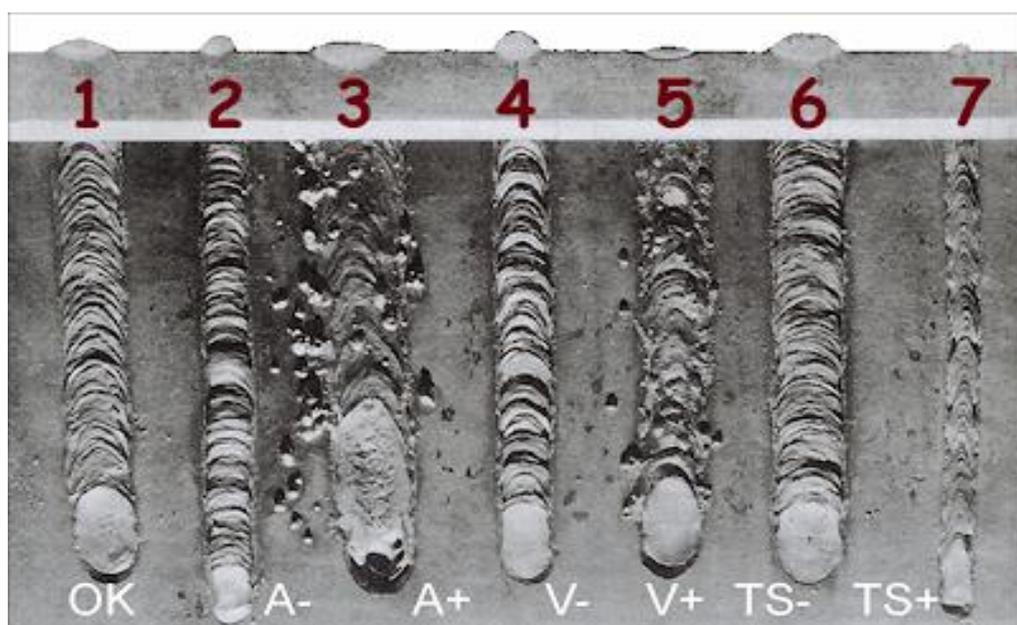


Figura 2. Efecto de los principales parámetros de soldeo en el cordón.

- ***Longitud de arco.***

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y de intensidad. En general, la longitud del arco debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Velocidad de desplazamiento.***

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menos es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases produciendo poros. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Tipo de corriente.***

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de fuente de energía disponible, del electrodo a utilizar y del metal base. En la tabla siguiente vemos que corriente es la más adecuada en función de una serie de parámetros. (Martin Guivernau, 2011)

Tabla 1
Comparativa de las características de soldeo en CC y CA

Características	Corriente Continua (CC)	Corriente alterna (CA)
Perdida de tensión en cables	Grande	Pequeña
Electrodos	Todos	Con reencendido de arco
Encendido del arco	Fácil	Difícil
Manteniendo del arco	Fácil	Difícil
Efecto de soplo	Muy sensible	Raramente
Salpicaduras	Pocas	Frecuentes
Posiciones de soldeo	Todas	Todas

En cuanto a la polaridad en corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo, se obtienen mayor penetración con polaridad inversa. (Martin Guivernau, 2011)

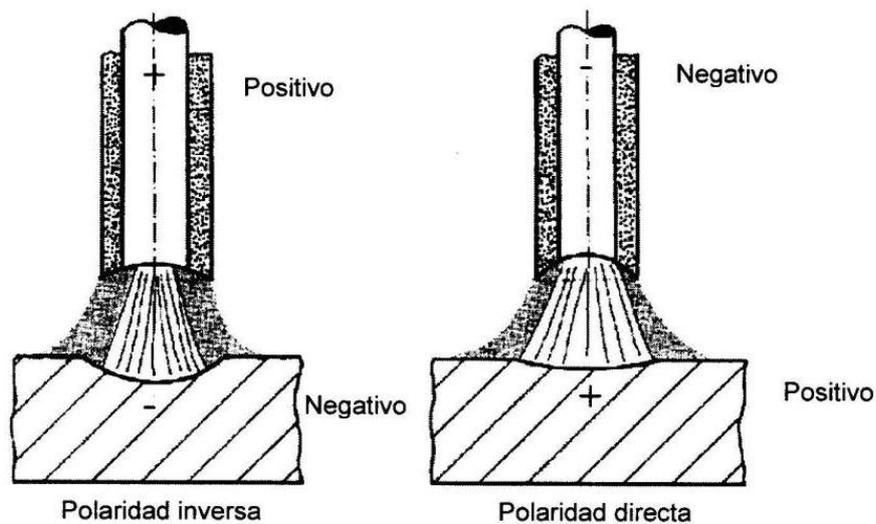


Figura 3. Penetración obtenida en función de la polaridad.

2.2.1.1.2. Ventajas y limitaciones del proceso.

Las ventajas del proceso son: (Martin Guivernau, 2011)

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante, el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones.

Las limitaciones de este proceso son las siguientes: (Martin Guivernau, 2011)

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.

- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño y zinc, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, zirconio, Tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación de oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1,5 - 2mm (se podría, pero habría que poner una chapa de cobre debajo para que absorba rápido el calor).
- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1,5mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38mm.

2.2.1.1.3. Aplicaciones.

El proceso por arco con electrodos revestidos es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas y trabajos de mantenimiento. El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidable, fundiciones y metales no férricos como el aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones. (Martin Guivernau, 2011)

La mayor parte de las aplicaciones de soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm. Este proceso de soldadura es el más utilizado en la construcción naval. Esto es debido fundamentalmente a su versatilidad, ya que puede ser transportado y empleado en cualquier lugar, incluso con restricciones de espacio. Su uso, por tanto, es de carácter muy general. (Martin Guivernau, 2011)

2.2.1.2. Soldadura por arco con electrodo metálico y protección de gas.

La soldadura eléctrica por arco metálico con protección de gas, proceso más conocido por las siglas MIG/MAG, es un proceso de soldadura en el cual el calor necesario para la soldadura es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar. El electrodo es un alambre sólido desnudo que se alimenta de forma continua automáticamente, y se convierte en el metal depositado según se consume. El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante un flujo de gas protector que se aporta por la boquilla de la pistola, concéntricamente al electrodo. (Martin Guivernau, 2011)

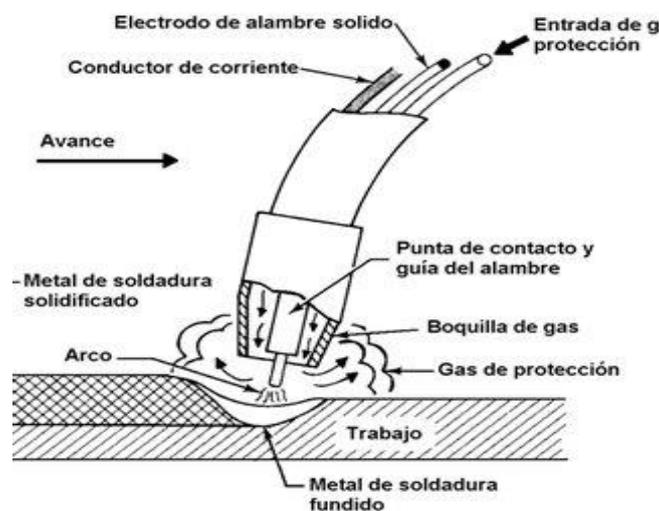


Figura 4. Esquema proceso de soldadura GMAW.

Este proceso, puede trabajar en modo semiautomático y automático, siendo fácilmente adaptado para su utilización con robot. Eligiendo el consumible y gas de protección adecuados, pueden soldarse con este proceso todos los metales y aleaciones utilizados comercialmente. (Martin Guivernau, 2011)

2.2.1.2.1. Variables del proceso.

Las variables que más influencia tienen en el proceso de soldadura GMAW son: (Martin Guivernau, 2011)

- Intensidad.
- Polaridad.
- Voltaje de arco.
- Velocidad de soldadura.
- Longitud de alambre (extensión de electrodo).
- Diámetro de electrodo.
- Gas de protección.

- ***Intensidad.***

La intensidad varía de forma lineal con la velocidad de alimentación del alambre en el rango inferior de intensidades, todo esto manteniendo las otras variables constantes. Para intensidades elevadas se pierde la proporcionalidad, debido probablemente al aumento de resistencia del circuito por calentamiento en la extensión del electrodo. Manteniendo constante las otras variantes, un incremento de la intensidad tendrá como resultado: (Martin Guivernau, 2011)

- Un incremento en la profundidad y anchura de la penetración.
- Un incremento en la velocidad de deposición.
- Un incremento en la dimensión del cordón de soldadura.

- ***Polaridad.***

La polaridad se utiliza para definir la conexión eléctrica de la pistola con relación a los polos de una fuente de alimentación de corriente continua. Cuando la pistola está conectada al polo negativo, la polaridad se define como corriente continua electrodo negativo (ccpn) o polaridad directa (ccpd). (Martin Guivernau, 2011)

- ***Voltaje de arco.***

El voltaje de arco y la longitud de arco, son términos diferentes, pero que están relacionados. Un aumento o disminución del arco o voltaje del arco producirá un aumento o disminución proporcional de la longitud del arco. El voltaje del arco no solo depende de la longitud del arco, sino que también de otras variables como el gas de protección, composición y diámetro del alambre. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Velocidad de soldadura.***

La velocidad de la soldadura se define como la velocidad lineal a la cual el arco se mueve a lo largo de la unión. Manteniendo constante el resto de las variables, la penetración es máxima para algunos valores intermedios de la velocidad de soldadura. Sin embargo, a muy bajas velocidades, la penetración disminuye porque el arco incide sobre un baño fundido de tamaño grande en lugar de hacerlo sobre el material base. Cuando incrementamos la velocidad, la energía por unidad de longitud de soldadura transmitida al metal base por el arco, es inicialmente incrementada, ya que el arco actúa más directamente sobre el metal base. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Longitud de alambre.***

La longitud de alambre o extensión del electrodo es la distancia entre el extremo de la punta de contacto y el extremo del alambre. Al aumentar la longitud de alambre, aumentará la resistencia eléctrica y se elevará la temperatura del alambre. Este precalentamiento hará que el alambre necesite menos intensidad para fundirse, y se producirá un pequeño incremento de la velocidad de fusión del alambre y originará un exceso de material aportado. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Diámetro de electrodo.***

La velocidad de respuesta del electrodo a los de longitud del arco es mayor cuanto menor es el diámetro del electrodo, puesto que es más fácil su fusión cuanto menor es el diámetro. Esto mejora la capacidad de autorregulación y por tanto el arco es más estable con pequeños diámetros de electrodo. En este caso, además se obtiene mayor profundidad de penetración, puesto que, al disminuir el diámetro, aumenta la densidad de corriente y disminuye la sección del cono del arco, con lo que a igualdad de intensidad habrá más concentración de calor con un electrodo más fino, y por tanto un cordón más estrecho y profundo. (Martin Guivernau, 2011)

- ***Gases de protección.***

La función principal del gas de protección es la de desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger el metal fundido, el baño de fusión y el electrodo, para evitar de su contaminación. Otros factores en los que influye el gas de protección con: (Martin Guivernau, 2011)

- El tipo de transferencia de metal.
- La estabilidad del arco.
- La cantidad y la calidad de los humos.
- Las propiedades mecánicas.
- La penetración y en el tipo y tamaño de cordón.
- La velocidad de soldadura.
- Los costes de soldadura.
- La cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico.

2.2.1.2.2. Ventajas y limitaciones del proceso.

Las ventajas de este proceso de soldadura son las siguientes: (Martin Guivernau, 2011)

- Es el único proceso con arco eléctrico y electrodo consumible que puede soldar todos los metales y aleaciones que se utilizan comercialmente.
- La soldadura se puede hacer en todas las posiciones, una característica que no tiene la soldadura con arco protegido.
- En comparación con el proceso de electrodo revestido, por utilizar una alimentación continua de electrodo, se logran unas velocidades de soldadura y de deposición más elevadas, con incremento de la productividad.
- Pueden adaptarse a la soldadura con automatismos y robot.
- Pueden realizarse soldaduras de gran longitud sin paradas.
- La limpieza que es necesario realizar después de la soldadura es mínima debido a no producir ninguna escoria.

Las limitaciones del proceso son: (Martin Guivernau, 2011)

- El equipo es más complejo que el proceso de electrodo revestido.
- Tiene más dificultad que el proceso de electrodo revestido para acceder a uniones de difícil acceso ya que es necesario aproximar la pistola a la unión entre 10 y 20mm para asegurarse que la soldadura está protegida por el gas.
- La soldadura debe protegerse del viento y de las corrientes de aire que pueden arrastrar el gas de protección. Esto limita la utilización del proceso a emplearse dentro del taller a no ser que se proteja adecuadamente la zona de soldadura.
- Al no haber escoria, las soldaduras se enfrían más rápidamente, lo cual puede producir agrietamiento en ciertos aceros.

2.2.1.2.3. Aplicaciones.

El proceso GMAW está ampliamente extendido en el sector industrial. Su versatilidad y el hecho que si se aplica correctamente da una soldadura de calidad hacen de este proceso un proceso muy interesante para el sector. Además de su velocidad de soldeo, este proceso es relativamente fácil de automatizar por lo que se reducen considerablemente los gastos destinados a mano de obra y en consecuencia se reduce el precio de soldadura de la construcción. (Martin Guivernau, 2011)

2.2.1.3. Soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente.

La técnica de soldadura con alambre tubular con flux interior es idéntica a la soldadura MIG/MAG, salvo el tipo de electrodo. Los alambres tubulares también son electrodos continuos, con la diferencia de que son huecos y en su interior contienen un fundente (flux), que tiene funciones similares a la del revestimiento de los electrodos revestidos. (Martin Guivernau, 2011)

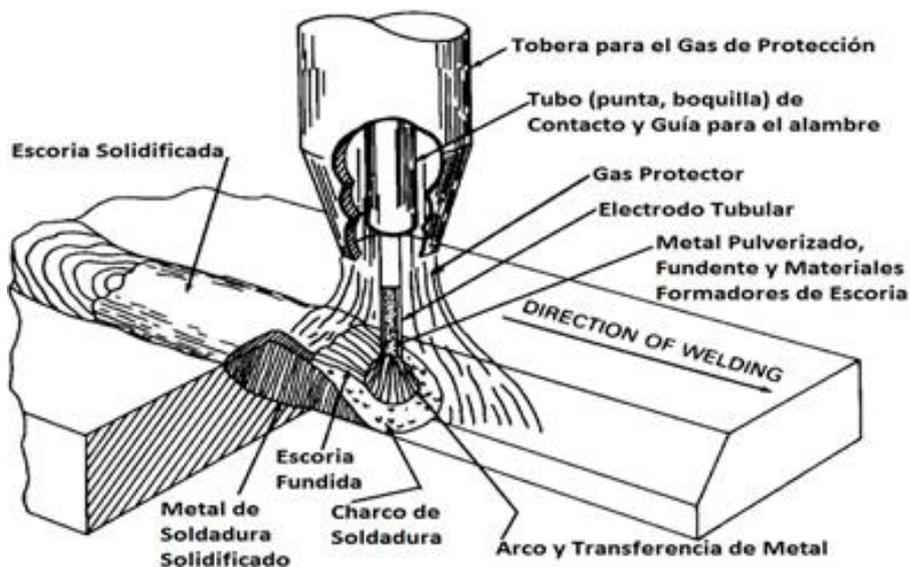


Figura 5. Esquema proceso de soldadura FCAW.

Dentro del proceso de soldadura con electrodo de flux interior hay dos variantes: auto protegido y con protección adicional con gas. Cuando el arco va protegido va con gas, éste elimina el oxígeno y nitrógeno de la atmosfera circundante, por tanto, cuando el arco es auto protegido, el flux deberá contener elementos desoxidantes y desnitrificantes en cantidad suficiente para poder prescindir de cualquier otra protección. (Martin Guivernau, 2011)

2.2.1.3.1. Variables del proceso.

La influencia de las distintas variables es similar a otros procesos de arco. Así, con bajas intensidades, la transferencia es por gotas gruesas, que cortocircuitan el arco, lo inestabilizan y explotan, originando salpicaduras y defectos en la soldadura. A mayores intensidades, más penetración y velocidad de aportación. Los voltajes altos dan arcos largos que producen cordones anchos poco penetrados. Si se elevan mucho, la excesiva longitud del arco puede dar lugar a pérdidas de protección en el baño. En el caso de la extensión del electrodo, si se alarga en exceso pueden llegar a formarse arcos fríos con muchas proyecciones y pegaduras. La extensión varía entre 20 y 40mm en la variante protegida y entre 20 y 50 mm en la auto protegida. (Martin Guivernau, 2011)

2.2.1.3.2. Ventajas y limitaciones del proceso.

Las ventajas del proceso son: (Martin Guivernau, 2011)

- Se pueden soldar materiales de muy diversas naturalezas.
- El electrodo es continuo, por lo que no se pierde tiempo en cambiar los electrodos consumidos, tal y como ocurre en el proceso de soldeo con electrodo revestido.
- Permite el soldeo en todas las posiciones.
- Las condiciones ambientales de viento y corrientes no le afectan tanto como al proceso de soldadura MIG/MAG.

Las limitaciones del proceso son: (Martin Guivernau, 2011)

- Se debe retirar la escoria.
- Desprende una gran cantidad de humos.
- Los electrodos tubulares suelen tener un precio más elevado que los macizos.
- Portabilidad limitada del equipo.

2.2.1.3.3. Aplicaciones.

Su utilización principal es para el soldeo de aceros al carbono, aceros de baja aleación (sobre todo níquel) y los aceros inoxidable. En general, tiene casi las mismas aplicaciones que el soldeo MIG/MAG. Este proceso se utiliza cuando se necesitan niveles de aportación muy elevados, ya que ofrece mayor tasa de deposición, y consecuentemente, mayor rendimiento y productividad que el proceso MIG/MAG.

2.2.2. Código AWS.

Todas las normas (códigos, especificaciones, prácticas recomendadas, métodos, clasificaciones y guías) de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) son normas de consenso voluntario desarrolladas según las reglas del Instituto Nacional Estadounidense de Normalización (ANSI). Cuando se incorporan o anexan normas nacionales estadounidenses de la AWS a documentos que están incluidos en las leyes y regulaciones estatales o federales o a las regulaciones de otros organismos gubernamental es, estas disposiciones tienen toda la autoridad

que les otorga la ley. En tales casos, cualquier cambio a estas normas de la AWS debe ser aprobado por el organismo gubernamental con la jurisdicción legal correspondiente antes de que puedan formar parte de aquellas leyes y regulaciones. En todos los casos, estas normas tienen toda la autoridad legal que les otorga el contrato u otro documento que invoque las normas de la AWS. Cuando exista una relación contractual, los cambios a o las desviaciones de los requisitos de una norma de la AWS debe acordarse entre las partes vinculadas. (American Welding Society, 2015)

2.2.2.1. Código AWS D1.1/D1.1M:2015.

Este código contiene los requisitos para fabricar y montar estructuras de acero soldadas. Cuando este código se estipule en los documentos del contrato, se exigirá el cumplimiento de todas las disposiciones del código, excepto aquellas que el ingeniero o los documentos del contrato modifiquen o eximan específicamente. (American Welding Society, 2015). El código AWS D1.1/D1.1M:2015 contiene 9 secciones principales:

1. *Requisitos generales.*

Esta sección contiene información básica sobre el alcance y las limitaciones del código, las definiciones clave y las principales responsabilidades de las partes involucradas en las construcciones de acero. (American Welding Society, 2015)

2. *Diseño de conexiones soldadas.*

Esta sección contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas de miembros tubulares o no tubulares. (Americam Welding Society, 2015)

3. *Precalificación de las WPS.*

Esta sección contiene los requisitos para eximir una WPS (Especificación del procedimiento de soldadura) de los requisitos de calificación de la WPS de este código. (Americam Welding Society, 2015)

4. *Calificación.*

Esta sección contiene los requisitos para la calificación de la WPS y las pruebas de calificación de rendimiento que debe aprobar todo el personal de soldadura (soldadores, operadores de soldadura y soldadores punteadores) para realizar soldaduras de conformidad con este código. (Americam Welding Society, 2015)

5. *Fabricación.*

Esta sección contiene los requisitos generales de fabricación y montaje aplicables a estructuras de acero soldadas que se rigen por este código, incluidos los requisitos para metales base, consumibles de soldadura, técnicas de soldadura, detalles soldados, preparación de materiales y montaje, mano de obra, reparación de soldaduras y otros requisitos. (Americam Welding Society, 2015)

6. *Inspección.*

Esta sección contiene los criterios para las calificaciones y responsabilidades de los inspectores, los criterios de aprobación para soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar inspecciones visuales y ensayos no destructivos (NDT). (Americam Welding Society, 2015)

7. *Soldadura de pernos.*

Esta sección contiene los requisitos para la soldadura de pernos a acero estructural. (Americam Welding Society, 2015)

8. *Refuerzo y reparación de estructuras existentes.*

Esta sección contiene la información básica relacionada con la modificación o la reparación por soldadura de estructuras de acero existentes. (Americam Welding Society, 2015)

9. *Estructuras tubulares.*

Esta sección contiene requisitos exclusivos para estructuras tubulares. Asimismo, los requisitos de las demás secciones se aplican a las estructuras tubulares, a menos que se especifique lo contrario. (Americam Welding Society, 2015)

2.2.3. Procedimiento de soldadura – WPS.

El procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure Specification) es un documento que provee las directrices para realizar la soldadura con base en los

requerimientos del código, proporciona igualmente la información necesaria para orientar al soldador u operador de soldadura y asegurar el cumplimiento de los requerimientos del código. Describe las variables esenciales, no esenciales y cuando se requiera, las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura. Debe estar firmado por el Inspector de Soldadura. El Código AWS tiene una serie de procedimientos precalificados, por lo cual cuando se va a soldar con base en este código es necesario únicamente cumplir con lo establecido en el código. (Torres , 2007)

2.2.3.1. Propósito de las especificaciones de procedimientos de soldaduras.

Los valores particulares para las variables tienen un efecto significativo en la calidad de la soldadura, propiedades mecánicas y la productividad. Es, sin embargo, crítico que aquellos valores de procedimientos usados en la fabricación y montaje sean apropiados para los requerimientos específicos del código aplicable y las especificaciones del trabajo. Muchos puntos deben ser considerados cuando se seleccionan los valores de los procedimientos de soldaduras. Mientras todas las soldaduras deben alcanzar la fusión para asegurar su resistencia, el nivel requerido de penetración es una función del diseño de la junta en el tipo de soldadura. Todas las soldaduras son requeridas para entregar una cierta resistencia a la tracción y/o fluencia. No todas las soldaduras son requeridas para entregar niveles mínimos específicos de tenacidad. Los niveles aceptados de socavación y porosidad son una función del tipo de carga aplicada a la soldadura. Los medios más eficientes para presentar estas condiciones pueden determinarse por técnicos de soldaduras expertos e ingenieros quienes producen especificación de procedimientos de

soldaduras escritos y comunican aquellos requerimientos a los soldadores por medio de estos documentos. La W.P.S es la herramienta primaria usada para comunicar al soldador, supervisor e inspector como una soldadura específica debe realizarse. (Mendoza, s.f.)

El código de soldadura estructural en acero requiere procedimientos de soldaduras escritos para toda la fabricación ejecutada. Estas W.P.S. requieren que sean por escrito, indiferente de que estén precalificadas o calificadas mediante ensayos. Cada constructor o fabricante es responsable del desarrollo de las W.P.S. aparentemente aún existe confusión acerca de este asunto. Un concepto falso predominante es que, si los parámetros actuales bajo el cual la soldadura será desarrollada presentan todas las condiciones de estatus “precalificado”, las W.P.S escritas no son requeridas. (Mendoza, s.f.)

La falta de conformidad con los parámetros trazados en la W.P.S. puede resultar en una soldadura que no presenta los requerimientos de calidad impuestos por el código o las especificaciones del trabajo. (Mendoza, s.f.)

2.2.4. Efectos de las variables de soldadura.

Los efectos de las variables son algo dependiente del proceso de soldadura que se usa, pero generalmente tiende a aplicar a todos los procesos. Es importante distinguir entre corrientes constantes (cc) y voltaje constante (cv) en los sistemas eléctricos de soldaduras. En la soldadura por arco con electrodos revestidos (S.M.A.W) siempre se realiza con sistemas de corrientes continuas. La soldadura

por arco con electrodo tubular (F.C.A.W) y la soldadura al arco con metal y protección de gas (G.M.A.W) generalmente son desarrolladas con sistemas de voltaje constante. La soldadura por arco sumergido (S.A.W) puede utilizar ambos. (Mendoza, s.f.)

- **Amperaje.**

Es una medida de la cantidad de corriente que fluye a través del electrodo y la pieza a soldar. Es una variable primaria en el cálculo de la entrada de calor (H). Generalmente un aumento en el amperaje significa mayor velocidad de deposición, penetración más profunda y más dilución. El amperaje puede ser medido con un amperímetro o un reóstato (derivación eléctrica). El rol del amperaje es mejor comprendido en el contexto de las consideraciones de la entrada de calor y la densidad de corriente. Para soldaduras con voltaje constante, un aumento en la velocidad de alimentación del alambre directamente aumentara el amperaje. Para el proceso de S.M.A.W. con corriente constante, el selector de la maquina determina el amperaje básico, aunque cambie con la longitud del arco (controlada por el soldador) cambiará el amperaje. Mayores longitudes de arco reduce el amperaje. (Mendoza, s.f.)

- **Voltaje del arco.**

Está directamente relacionado con la longitud del arco. Cuando la longitud del arco aumenta el voltaje aumenta, así como lo demanda la protección del arco. Para soldaduras de voltaje constante, el voltaje es inicialmente determinado por el selector de la máquina, así la longitud del arco es relativamente fija. Para el proceso de S.M.A.W en sistema con corriente constante el voltaje del

arco se determina por la longitud del arco el cual es manipulado por el soldador. Cuando las longitudes del arco son incrementadas en el proceso S.M.A.W. el voltaje del arco aumenta y el amperaje disminuye y cuando las longitudes del arco disminuyen el voltaje del arco disminuye y el amperaje aumenta. El voltaje del arco también controla el ancho del cordón de la soldadura, con voltajes mayores se generan cordones de soldaduras más anchos. El voltaje del arco tiene un efecto directo en el cálculo de la entrada de calor (H). El voltaje en un circuito de soldadura no es constante, pero se compone de una serie de caídas de voltajes. (Mendoza, s.f.)

- **Velocidad de avance.**

Se mide en pulgadas/min., es la velocidad a la cual el electrodo se desplaza con respecto a la junta. Las otras variables permanecen iguales, la velocidad de avance tiene un efecto inverso en la dimensión de los cordones de soldadura. Cuando la velocidad de avance aumenta el tamaño del cordón disminuye. La velocidad de avance es una variable clave en el conjunto de la entrada de calor, reduciendo la velocidad de avance aumenta la entrada de calor. (Mendoza, s.f.)

- **Velocidad de alimentación del alambre.**

Es una medida de velocidad a la cual el electrodo pasa a través de la pistola de soldar y es suministrado al arco, medido típicamente en pulgadas por minuto, la velocidad de deposición es directamente proporcional a la velocidad de alimentación del alambre, y relacionada directamente al amperaje. Cuando todas las demás condiciones se mantienen constantes (por ejemplo; el mismo

tipo de electrodo, diámetro y extensión y el voltaje del arco), un incremento en la velocidad de alimentación del alambre directamente conducirá a un aumento del amperaje. Para menores velocidades de alimentación de alambre, la relación de la velocidad de alimentación del alambre con respecto al amperaje es relativamente lineal y constante. Para velocidades de alimentación mayores, esta relación puede aumentar, resultando una velocidad de deposición mayor por amperio, pero a expensas de la penetración. (Mendoza, s.f.)

La velocidad de alimentación del alambre (Wire feed speed, W.F.S) es el método preferido de los procedimientos de soldadura que mantienen los procesos de voltaje constante. La W.F.S puede ser ajustada independientemente, y medida directamente, indiferente de las otras condiciones de la soldadura. Es posible usar amperaje como una alternativa para la W.F.S., aunque el amperaje resultante para una W.F.S. dada puede variar, dependiendo de la polaridad diámetro del electrodo, tipo de electrodo y extensión del electrodo. (Mendoza, s.f.)

- **Extensión del electrodo.**

Es la distancia desde el tubo de contacto hasta el extremo del electrodo. Esto solo se adapta a los sistemas de soldaduras que usan sistemas automáticos de alimentación del alambre. Cuando la extensión del electrodo aumenta en sistema de voltaje constante, la resistencia eléctrica del electrodo aumenta, causando que el electrodo se caliente. Esto se conoce como calentamiento por resistencia, o “ I^2R heating”. Cuando la cantidad de calentamiento

aumenta, la energía requerida del arco para fundir el electrodo disminuye y la deposición aumenta. Cuando la extensión del electrodo es aumentada sin ningún cambio en la W.F.S; el amperaje disminuirá. Esto origina menor penetración y menor dilución. Con el aumento de la extensión del electrodo, es común aumentar el voltaje de la máquina, regulando para compensar las caídas de voltajes mayores que atraviesan el electrodo. (Mendoza, s.f.)

En sistemas de voltajes constantes, es posible aumentar simultáneamente tanto la extensión del electrodo y la velocidad de alimentación del alambre y mantener la corriente constante. Esto produce velocidades de deposición mayores. Otras variables de soldaduras tales como voltaje y velocidad de avance pueden ser ajustadas para mantener un arco estable y para asegurar una soldadura de calidad. La extensión variable del electrodo debe estar siempre dentro del manejo recomendado por el fabricante. (Mendoza, s.f.)

- **Diámetro del electrodo.**

Es otra variable crítica. Electrodo con diámetros mayores transportan mayores corrientes de soldadura. Para un amperaje fijo, sin embargo, los electrodos de diámetros menores producen mayores velocidades de deposición. (Mendoza, s.f.)

- **Polaridad.**

Es la dirección del flujo de corriente. Polaridad positiva se logra cuando el cable del electrodo o pinza porta-electrodo se conecta al Terminal o polo positivo en máquinas de corriente directa (DC). La polaridad negativa ocurre

cuando el cable de la pieza a soldar se conecta al Terminal o polo positivo y el cable de la pinza porta-electrodo al Terminal negativo. Cuando se usa corriente alterna (A.C.) no se mantiene la polaridad dado que el electrodo es alternativamente positivo en medio ciclo de la onda y negativo en la otra media onda. El proceso por arco sumergido S.A.W es el único proceso que comúnmente usa polaridad negativa o positiva para el mismo tipo de electrodo. La corriente alterna también puede ser usada. (Mendoza, s.f.)

El campo magnético que rodea cualquier conductor de corriente directa (DC) puede causar un fenómeno conocido como soplo de arco, donde el arco es físicamente desviado. El problema es mayor para corrientes más altas. La corriente alterna es menos propensa al soplo del arco y se usa algunas veces para corregir este fenómeno. (Mendoza, s.f.)

- **Entrada de calor.**

Es proporcional al amperaje de la soldadura, multiplicado por el voltaje del arco, dividido por la velocidad de avance. Mayores entradas de calor corresponden a áreas de sección transversal de soldaduras mayores, y zonas afectadas por el calor, (H.A.Z.) mayores, las cuales pueden afectar negativamente las propiedades mecánicas en esa región. Entrada de calor mayor generalmente causa una disminución leve en la resistencia a la fluencia y a la tracción en el metal de la soldadura, y generalmente menor tenacidad debido a la interacción del tamaño del cordón y la entrada de calor. (Mendoza, s.f.)

- **Densidad de corriente.**

Se determina dividiendo la intensidad de la corriente de soldadura entre el área de la sección transversal del electrodo. Para electrodos sólidos, la densidad de la corriente es proporcional a I/d^2 . Para electrodos tubulares, donde la corriente es conducida por la envoltura tubular metálica, y es relacionada al área de la sección transversal metálica. Cuando la densidad de corriente aumenta, la velocidad de deposición y la penetración aumenta. (Mendoza, s.f.)

- **Temperatura de precalentamiento y entre pasadas.**

Se usa para controlar las tendencias al agrietamiento, típicamente en el metal base. Para la mayoría de los aceros al carbono-magnesio-silicio, una temperatura entre pasadas moderada facilita buena resistencia a la tenacidad. Las temperaturas de precalentamiento y entre pases mayores de 550 °F pueden afectar negativamente la tenacidad. Cuando el metal base recibe poco o nada de precalentamiento, el enfriamiento rápido resultante puede conducir al deterioro de la tenacidad. (Mendoza, s.f.)

2.2.5. Calificación de WPS.

2.2.5.1. Posiciones de soldaduras.

Las posiciones de la soldadura de producción, calificadas por un ensayo de placa, deben cumplir con los requisitos de la Tabla 4.1 del código AWS D1.1/D1.1M:2015. Anexo 2. Las posiciones de la soldadura de producción,

calificadas por un ensayo de tubular, deben cumplir con los requisitos de la Tabla 9.9 del código AWS D1.1/D1.1M:2015. Anexo 3.

Las soldaduras se clasifican de acuerdo a las posiciones en que se realizan. El rango de calificación para cada posición lo describe el “AWS A3.0-01 –Standard Welding Terms and Definitions”. (Barazorda Villegas, 2016)

Tabulation of Positions of Fillet Welds			
Position	Diagram Reference	Inclination of Axis	Rotation of Face
Flat	A	0° to 15°	150° to 210°
Horizontal	B	0° to 15°	125° to 150° 210° to 235°
Overhead	C	0° to 80°	0° to 125° 235° to 360°
Vertical	D	15° to 80°	125° to 235°
	E	80° to 90°	0° to 360°

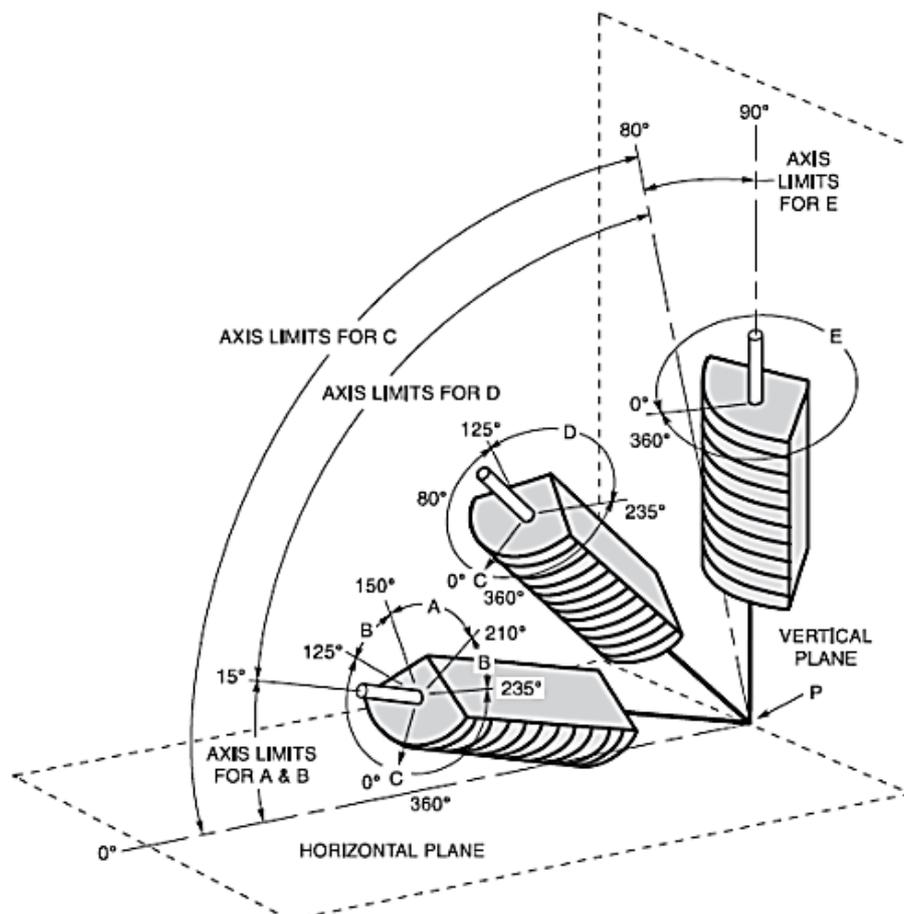


Figura 6. Esquema de posiciones de soldadura en Filete.

Tabulation of Positions of Groove Welds			
Position	Diagram Reference	Inclination of Axis	Rotation of Face
Flat	A	0° to 15°	150° to 210°
Horizontal	B	0° to 15°	80° to 150° 210° to 280°
Overhead	C	0° to 80°	0° to 80° 280° to 360°
Vertical	D E	15° to 80° 80° to 90°	80° to 280° 0° to 360°

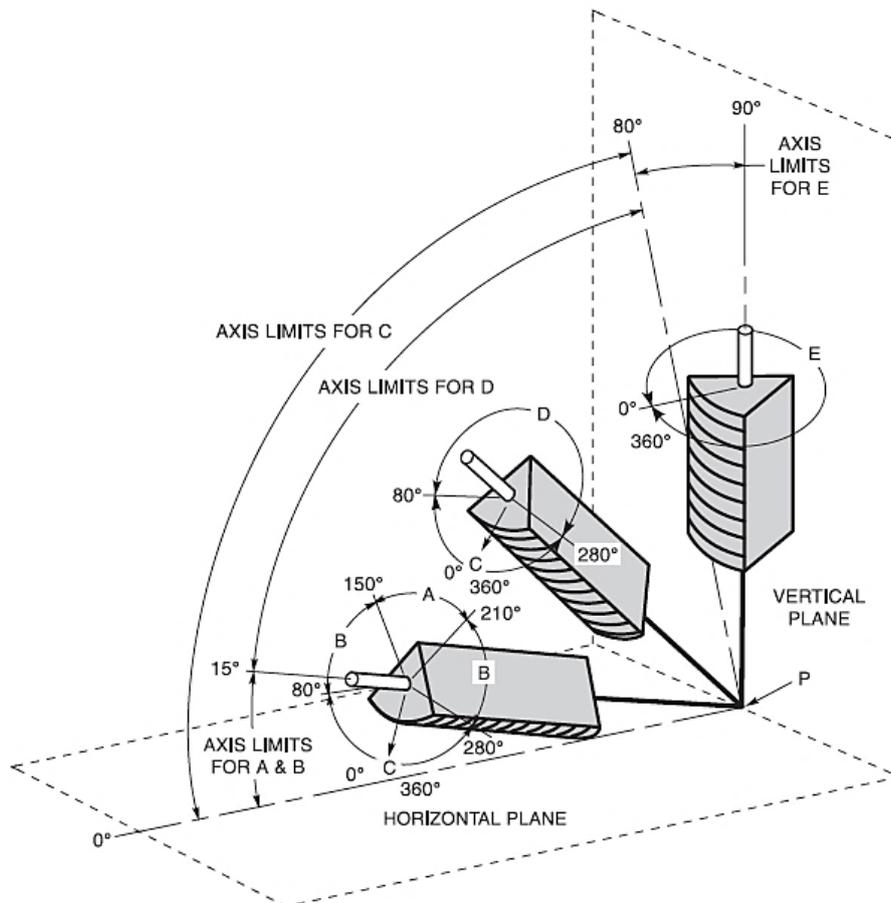


Figura 7. Esquema de posiciones de soldadura a tope.

Las posiciones se diferencian con letras y números, las juntas a Filete se reconocen con “F” (del inglés Fillet), y las juntas a tope o bisel se reconocen como “G” (del inglés Groove). (Barazorda Villegas, 2016)

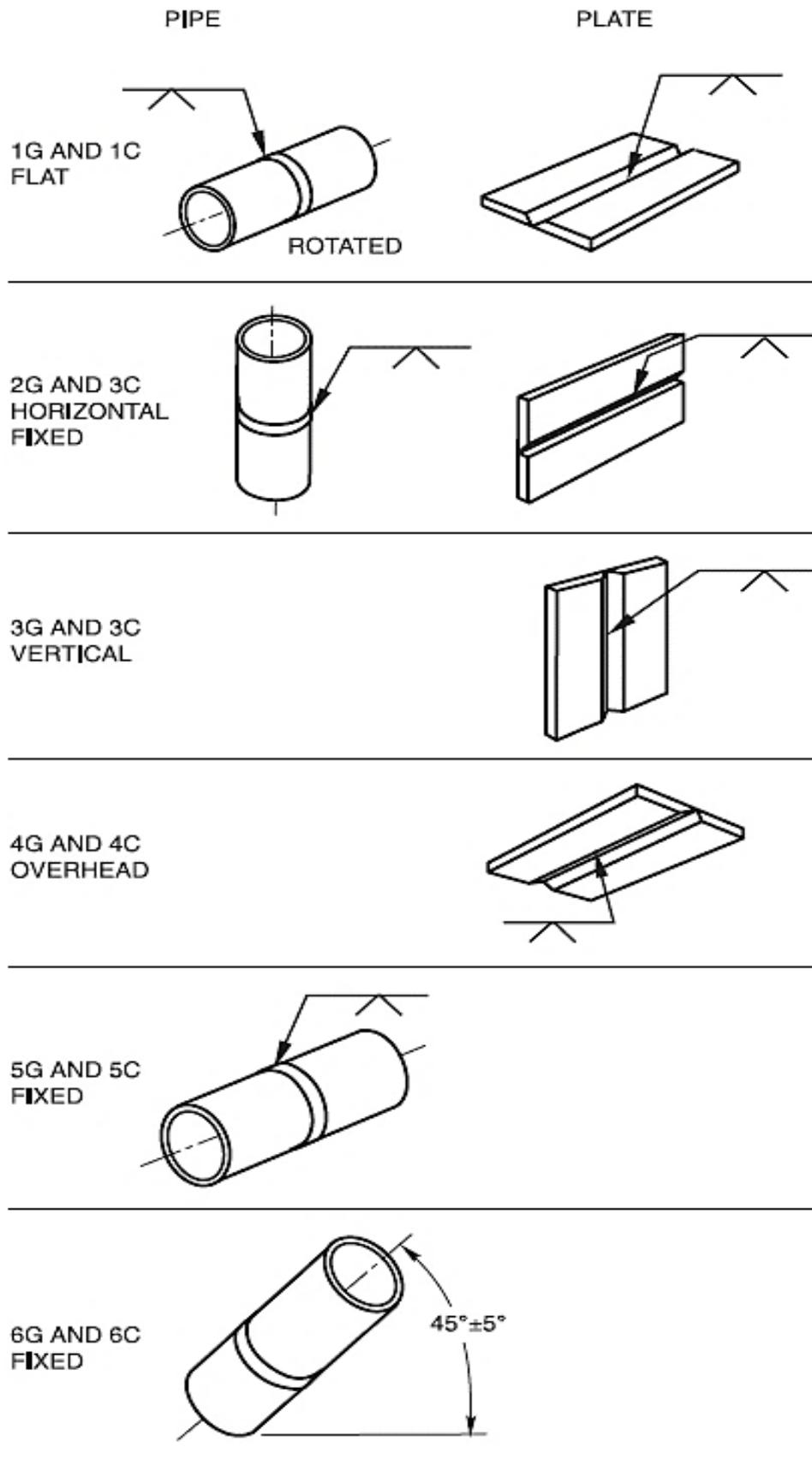


Figura 8. Posiciones para pruebas de soldadura a Tope.

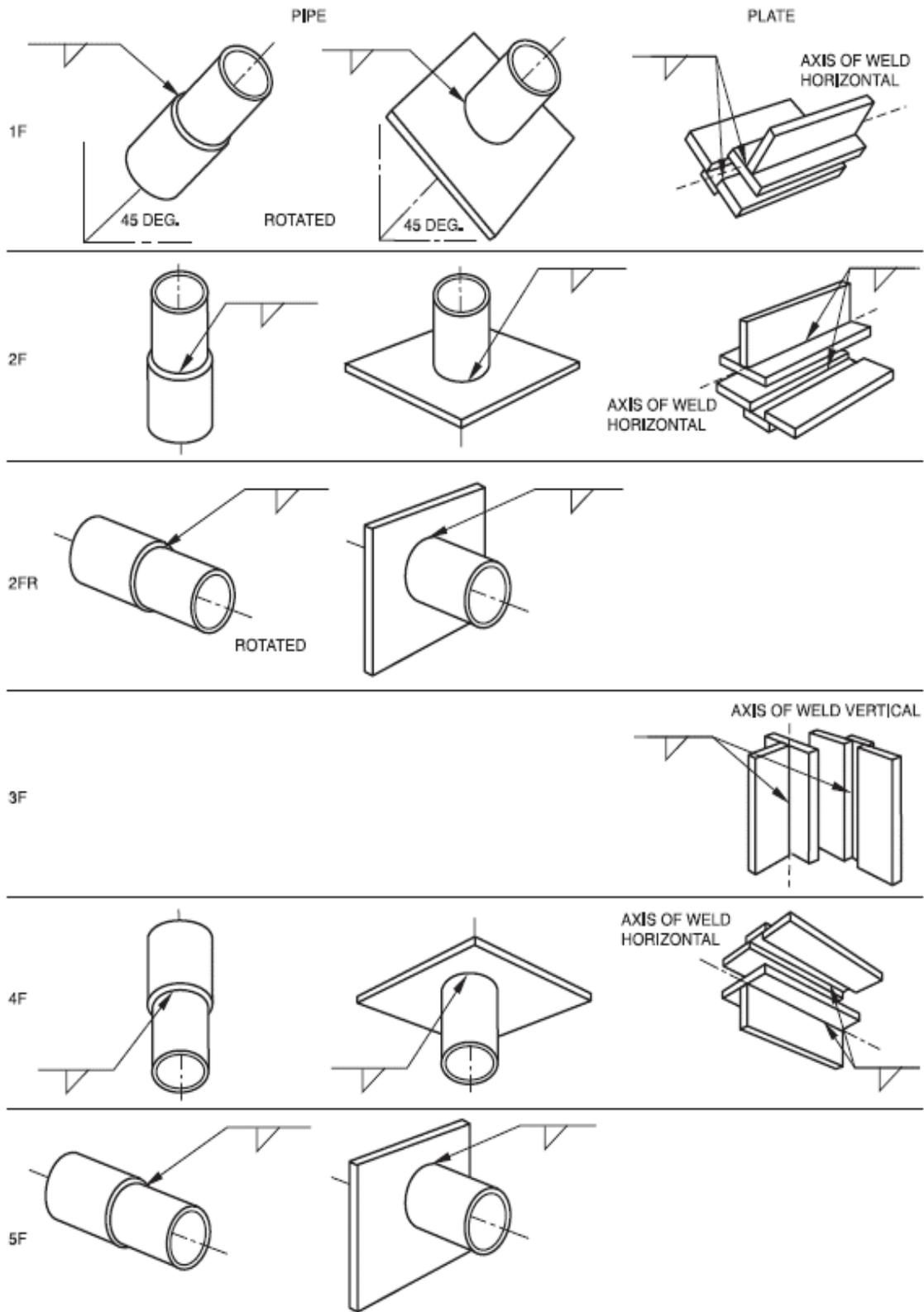


Figura 9. Posiciones para pruebas de soldadura en filete.

2.2.5.2. Tipo de ensayo de calificación.

El tipo y la cantidad de ensayos de calificación necesarios para calificar una WPS para un determinado espesor o diámetro o ambos, deben cumplir las posiciones mostradas en las figuras 5, figura 6, figura 7 o figura 8.

Los Ensayos Mecánicos y Ensayos No Destructivos (NDT) que se aplican para la calificación y deben cumplir con los detalles que se estipula en el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 (Anexo 4), son los siguientes:

- Inspección visual (véase 4.9.1 anexo 4).
- NDT (véase 4.9.2 anexo 4).
- Doblado de cara, raíz y lado (véase 4.9.3.1 anexo 4).
- Tracción en sección reducida (véase 4.9.3.4 anexo 4).
- Tracción en todo el metal de soldadura (véase 4.9.3.6 anexo 4).
- Macroataque (véase 4.9.4 anexo 4).

2.2.5.3. Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS.

Los conjuntos de ensayo de soldadura deben contar con probetas preparadas mediante el corte de la placa de ensayo como se muestra en las figuras 4.5 (Anexo 5), 4.6 (Anexo 6) y 4.7 (Anexo 7), la que sea aplicable. Las probetas deben prepararse para el ensayo de acuerdo con las figuras 4.8 (Anexo 8), 4.9 (Anexo 9), 4.10 (Anexo 10) y 4.14 (Anexo 11), según corresponda.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Las definiciones conceptuales se han tomado de las siguientes referencias bibliográficas, American Welding Society (2015), Sánchez Aguilar (2015), Torres (2007), Quiñones López (2017)

- **Atmosfera protectora.** Entorno de gas protector, que rodea parcial o totalmente la pieza a soldar, cortar o proyectar térmicamente, con características controladas de composición química, punto de rocío, presión, etc. Entre otros ejemplos están: los gases inertes, hidrocarburos, hidrogeno, vacío, etc.
- **Baño de metal fundido.** Estado líquido previo de una soldadura, que posteriormente solidificara para formar la unión.
- **Cualificación del procedimiento.** Conjunto de acciones tendentes a comprobar que las uniones soldadas, realizadas por un determinado procedimiento pueden cumplir unas normas específicas.
- **Cualificación del soldador.** Demostración de la habilidad de un soldador para realizar soldaduras cumpliendo normas establecidas.
- **Certificación de soldador.** Testimonio por escrito de que un soldador ha demostrado su capacidad para soldar, cumpliendo normas establecidas.
- **Ciclo térmico.** Variaciones de la temperatura, entre límites determinados, a que se somete un producto en función del tiempo.
- **Corriente de soldeo.** Corriente eléctrica que circula por el circuito de soldeo durante la realización de una unión soldada. En el soldeo por resistencia no se incluye, en este concepto, la corriente utilizada durante los intervalos de

pre y postsoldadura. En el soldeo automático por arco, se excluye la corriente utilizada durante el inicio, ascenso, descenso y rellenado de cráter.

- **Cráter.** En el soldeo por arco, la depresión al final del cordón de soldadura o del baño de fusión.
- **Defecto.** Discontinuidad o discontinuidades que por si o por efecto acumulativo, pueden hacer que una pieza o producto no alcance las especificaciones o valores mínimos de aceptación.
- **Dimensión de la soldadura.** Medidas del cordón de soldadura, especificadas en función del tipo de unión.
- **Discontinuidad.** Interrupción en la estructura de una soldadura, tal como, falta de homogeneidad mecánica, metalúrgica o características físicas del material base o de la propia soldadura. Una discontinuidad no tiene que ser necesariamente un defecto.
- **Eje de una soldadura.** Línea a lo largo de la soldadura, perpendicular y en el centro geométrico de su sección recta.
- **Electrodo revestido.** Varilla metálica recubierta de una capa exterior (recubrimiento), con componentes formadores de escoria en el metal aportado por soldadura. El recubrimiento tiene diversas funciones, tales como protección de la atmosfera exterior, desoxidación, estabilización del arco, facilitar el soldeo en posiciones distintas a la horizontal y aportar elementos metálicos al cordón de soldadura.
- **Electrodo tubular con relleno metálico.** Electrodo metálico de aporte, de forma tubular, relleno de elementos de aleación, con eventual adición de pequeñas cantidades de fundentes y estabilizadores de arco. Puede precisar o no protección gaseosa.

- **Electrodo tubular relleno de fundente.** Electrodo metálico de aporte, de forma tubular, relleno de fundentes. Las funciones de este relleno son tales como: protección de la atmosfera exterior, desoxidación del baño y estabilización del arco.
- **Especificación del procedimiento de soldeo.** Documento que facilita con detalle las variables requeridas para asegurar la repetitividad en una aplicación específica.
- **Metal base.** Material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo, corte, etc.
- **Metal de aportación.** Material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo.
- **Metal de soldadura.** Zona de la unión fundida durante el soldeo.
- **Metal depositado.** Metal de aportación que ha sido añadido durante la operación de soldeo.
- **Postcalentamiento.** Aplicación de calor después de la operación de soldeo, proyección térmica o corte, con finalidad de eliminar tensiones o variar las estructuras metalográficas.
- **Precalentamiento.** Aplicación de calor al metal base inmediatamente antes de la operación de soldeo, proyección térmica o corte, para conseguir la temperatura óptima de trabajo.
- **Preparación de la unión.** Operación que consiste en preparar los bordes y disponerlos según el perfil que se va a dar a la unión.
- **Procedimiento cualificado.** Aquel que está aceptado en base a cumplir unos determinados requisitos.

- **Procedimiento de soldeo.** Métodos y prácticas detallados involucrados en la realización de un conjunto soldado.
- **Registro del procedimiento de soldeo.** Documento que especifica las variables de soldeo para producir una unión de ensayo aceptable, y de los resultados de los ensayos efectuados sobre esa unión para cualificar el procedimiento de soldeo.
- **Temperatura de precalentamiento.** Temperatura que debe alcanzar el metal base inmediatamente antes que se inicie cualquier proceso de soldeo. En procedimientos de pasadas múltiples, es la temperatura que debe alcanzarse antes de depositar los siguientes cordones.
- **Temperatura entre pasadas.** En el caso de soldeo con pasadas múltiples, es la temperatura a la que debe estar el área que se va a soldar antes de realizar la siguiente pasada.
- **Tensión de vacío.** Diferencia de potencial entre los terminales de salida de una fuente de energía eléctrica, cuando no circula la corriente.
- **Zona afectada térmicamente.** Porción del metal base que no ha fundido, pero cuya microestructura o propiedades mecánicas han sido alteradas por el calor generado durante el proceso de soldeo o corte.

2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS.

2.4.1. Hipótesis general.

La implementación de Procedimiento de Soldadura (WPS) según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permitirá cumplir con los estándares de calidad en los procesos de soldadura.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- La Implementación de WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permite validar el procedimiento con la calificación de acuerdo a lo requerido en el código.
- La Implementación de WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permite elaborar un plan de capacitación de manera clara y concisa del plan de calidad.
- La Implementación de WPS según el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 nos permite conocer la calidad de insumos y materiales empleados en los trabajos programados.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. DISEÑO METODOLOGICO.

La presente investigación se enfocó en la implementación de un Procedimiento de Soldadura – WPS, este método consiste en la elaboración y aplicación de las variables esenciales exigidas por el Código AWS D1.1/D1.1M:2015 para el cumplimiento de los estándares de calidad en la durante la fabricación de estructuras soldadas realizadas por la empresa METRAIN S.A.C.

Durante la implementación, se debe considerar los procedimientos normalizados, parámetros de los equipos, características de materiales, resultados de ensayos realizados a cupones durante los procesos de calificación de soldadores. Se debe tomar en cuenta que para cada tipo de material usado durante la fabricación de las estructuras son distintos, para lo cual se debe tener en consideración las variables esenciales de los equipos usados.

3.1.1. Tipo de investigación.

En el presente trabajo se utilizó la investigación exploratoria, descriptiva y cuantitativa.

3.1.1.1. Investigación Exploratoria.

Se investigó todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto en su diseño como su funcionamiento. Para esto se indagará cada una de las variables del análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

3.1.1.2. Investigación Descriptiva.

Según (Naranjo, 2004) Permite predicciones rudimentarias de medición precisa que requiere de conocimientos suficiente para muchas investigaciones de este nivel tienen interés de acción social. Con la finalidad clasificar elementos y estructuras, modelos de comportamiento, según ciertos criterios.

Para (Naranjo, 2004) Las investigaciones descriptivas constituyen el punto de partida de las líneas de investigación, su objetivo es determinar la situación de las variables involucradas en el estudio en un momento dado con 45 relación a su presencia o ausencia, la frecuencia con que se presenta un fenómeno (incidencia o prevalencia), características de las personas, lugar y periodo donde ocurre. El nivel de investigación descrito con anterioridad fue el que se utilizó para el desarrollo, estudio, análisis e investigación del problema planteado ya que este vinculó a todos los actores objetos de estudio.

3.2. POBLACION Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida por los talleres de la empresa METRAIN S.A.C. específicamente en el área de fabricación de estructuras soldadas.

3.2.2. Muestra.

Según Información de (Naranjo2004) la muestra es una parte de la población seleccionada de acuerdo con una regla o plan, debe ser representativa, y además ofrecer la ventaja de ser la más práctica, la más económica y la más eficiente en su aplicación.

La muestra de nuestra investigación se basa en los procesos de soldadura específicos usados en la fabricación de las estructuras soldadas de acero al carbono.

3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.

Implementación de Procedimiento De Soldadura (WPS) según el Código AWS D1.1/D1.1M: 2015 en la Empresa METALLURGICAL TRAINING AND INSPECTIONS S.A.C. - 2018

Tabla 2
Variables e Indicadores

Variable Independiente	Indicador
Implementación de Procedimiento de Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> - Especificaciones WPS. - Registros. - Métodos de ensayos.
Variable Dependiente	Indicador
Código AWS D1.1/D1.1M:2015	<ul style="list-style-type: none"> - Ensayos de calificación. - Tipos de soldadura. - Posiciones de soldadura. - Criterios de aceptación. - Calificación de desempeño.

3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

De acuerdo con el número de muestras tomas y de los datos obtenidos se elaborará un informe el mismo que debe de cumplir con los parámetros de ensayo realizados. La recolección de la información se realizará mediante formatos que se adjuntaran a los informes emitidos para su posterior análisis.

3.4.1. Técnicas a emplear.

La técnica que se aplicará es una técnica descriptiva, debido a que la evaluación y recolección de datos se realiza a los actores que involucra los

procesos de soldadura, para poder determinar los parámetros a usar en posteriores durante la fabricación de estructuras soldadas.

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.
- Normas.
- Escalas libreta de notas.
- Filmadora.
- 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. CALIFICACION DEL WPS

4.1.1. Situación actual de la empresa.

Los trabajos de soldadura estructural son ejecutados por el área de producción de la empresa que tiene como finalidad realizar planeación, modificación o reparación de las actividades que involucran los procesos de soldadura. A ejecutarse tareas de soldadura y la falta de WPS dentro de la empresa, existe la posibilidad que se ponga en riesgo la calidad de los trabajos realizados al no cumplir estas con los requerimientos necesarios para el servicio que están destinados.

4.1.2. Alcance.

El propósito de implementar un Procedimiento de Soldadura (WPS) alcanza a todos los elementos involucrado durante la construcción de las estructuras metálicas de acero donde estén gobernados bajo los lineamientos del Código AWS D1.1/D1.1M:2015.

La caracterización química de los materiales a soldar es fundamental para el desarrollo de un WPS, al considerarse este una variable esencial para poder elegir el tipo de proceso de soldadura recomendable y el material de aporte a utilizarse.

4.1.3. Desarrollo para calificación del procedimiento de soldadura (WPS).

Se tomaron varios puntos exigidos para la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura (WPS) a implementarse dentro del área de producción de la empresa METRAIN S.A.C.

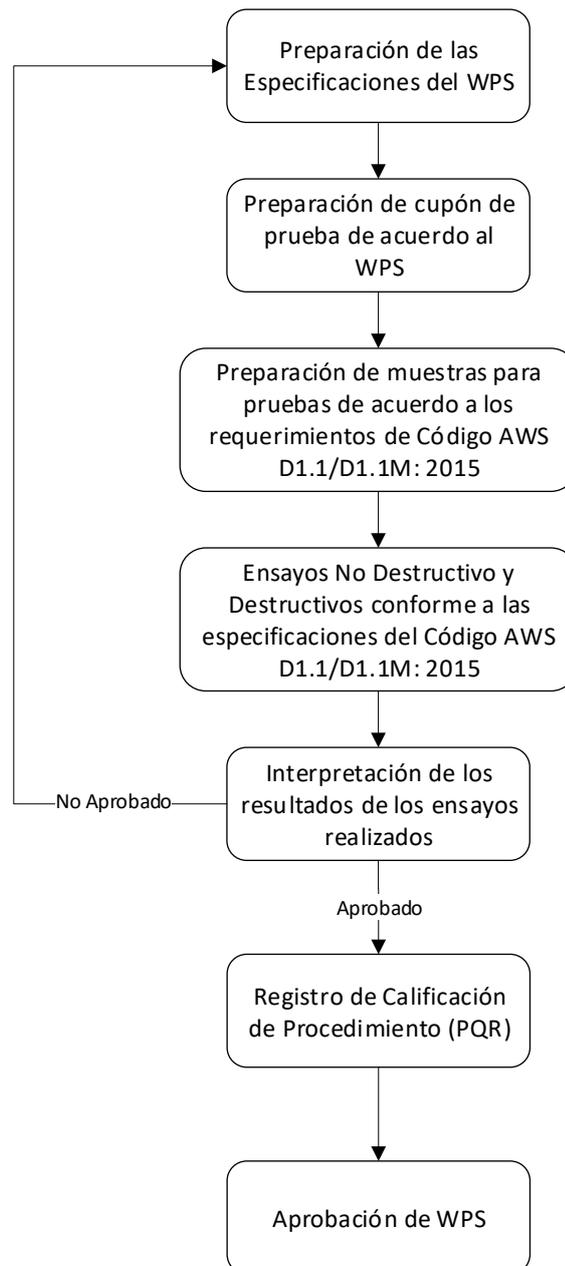


Figura 10. Desarrollo de la calificación del WPS.

- **Selección del código a aplicar.** Se debe saber los requerimientos del tipo de estructura o elementos soldados a realizarse.
- **Definición de variables.** Se debe determinar las variables esenciales, suplementarias y no esenciales del proceso de soldadura a aplicarse de acuerdo a las especificaciones requeridas.
- **Elaboración del WPS.** Debe de contener todas las variables de soldadura que se van a usar durante el procedimiento de soldadura.
- **Preparación de junta.** La preparación y limpieza de los bordes de juntas deben de ser de calidad cumpliendo con los requisitos exigidos por la norma a la vez deben estar sin contaminantes con la finalidad de que se pueda realizar una buena soldadura y cumplan con el diseño especificado en el WPS.
- **Desarrollo de la soldadura.** Se realiza aplicando las variables esenciales, variables suplementarias y variables no esenciales ya definidas en el WPS. El desarrollo de proceso se realizará en cupones de prueba que luego serán seccionados para realizar los ensayos requeridos por el Código y determinar sus propiedades mecánicas.
- **Inspección visual.** Se aplica este ensayo antes, durante y después del proceso de soldadura, con la finalidad de verificar la junta y determinar si presentan discontinuidades y/o defectos, en otro sentido también es aplicado para la verificación de los parámetros de operación y condiciones del equipo de soldadura.

- **Selección de ensayos a aplicarse.** Terminada la junta soldada en el cupón para el ensayo y aprobada la inspección visual; se elegirá el tipo y la cantidad de ensayos de acuerdo al tipo de junta y el espesor del material base soldado, estas deben de realizarse de acuerdo a la especificación del Código.
- **PQR.** Aprobados los ensayos realizados a los cupones de prueba soldados, se debe de emitir la aprobación del Registro de Calificación del Procedimiento (PQR), aquí se registran todas las variables que se utilizaron durante el proceso de soldadura.
- **Aprobación del WPS.** Aprobado los ensayos y generado el PQR, el WPS esta listo para su aplicación en trabajos de construcción de estructuras metálicas de acero bajo el Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.

4.1.4. Calificación del WPS.

Los puntos que se deben de considerar para la elaboración y calificación de WPS esta relacionada de acuerdo a los siguientes ítems:

4.1.4.1. Descripción del trabajo a realizarse.

El WPS se desarrolla dentro del área de producción de la empresa METRAIN S.A.C., encargada de la fabricación y construcción de estructuras soldadas de acero.

4.1.4.2. Selección del código.

Las fabricaciones de estructuras soldadas de acero que realiza la empresa están enmarcadas dentro del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015 – Structural Welding Code – Steel.

4.1.4.3. Definición de las variables.

La definición de las variables esenciales para la preparación del WPS se realizan de acuerdo a los límites que se muestran en la tabla 4.5 y 4.6 del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015. Ver anexo 12 y anexo 13.

4.1.4.4. Elaboración de WPS.

Para las construcciones de estructuras soldadas de acero se usan comercialmente los aceros estructurales, los cuales presentan un bajo contenido de carbono. De los trabajos que se realizan en el área de producción se aplican acero estructural ASTM A36, tomando el tipo de material se inicia la selección de las variables para la elaboración del WPS.

Los materiales bases que necesitan la calificación se puede encontrar en la sección 3, tabla 3.1 (anexo 14) y la sección 4, tabla 4.8 (anexo 15) del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.

El proceso de soldadura aplicado a la construcción de las estructuras soldadas es el GMAW. La selección del material de aporte se realiza teniendo en cuenta la composición química del material con la finalidad de lograr una soldadura símil. Las especificaciones para la calificación del material de aporte se pueden observar en la tabla 4.9 del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015. (anexo 16)

Las especificaciones del procedimiento de soldadura para el material base en estudio se muestra en el anexo 17.

4.1.4.5. Proceso de soldadura.

Se realizaron las uniones de las juntas de acuerdo a los parámetros de las variables establecidas en la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) (anexo 17). La ejecución de la soldadura lo realizó un soldador certificado con lo que cuenta la empresa, estando siempre presente un supervisor durante la preparación y ejecución del proceso.



Figura 11. Ejecución de las juntas soldadas.

4.1.4.6. Inspección visual.

Antes de realizarse los procesos de soldadura se controlaron los siguientes aspectos:

- Verificación del material base y materiales de aporte.
- Preparación de junta según lo especificado en el WPS.
- Verificación de las condiciones operativas de los equipos de soldadura.



Figura 12. Verificación de preparación de junta.

Durante el proceso de soldadura se controlaron los siguientes aspectos:

- Verificación de la temperatura de precalentamiento.
- Verificación de la temperatura de interpase.
- Verificación del pase de raíz, relleno y aspecto.
- Limpieza entre pases y aspecto final de la soldadura.



Figura 13. Verificación del pase de raíz.

4.1.4.6.1. Resultado de la inspección visual.

Luego de examinar mediante ensayo visual y de acuerdo a lo especificado en el ítem 4.9.1. del Código (anexo 4), se puede observar que los pases de raíz y relleno, también el aspecto superficial presenta buenas características.

4.1.4.7. Aplicación de ensayos mecánicos.

Los ensayos mecánicos que se realizan a las probetas extraídas de los cupones de calificación deben cumplir con las especificaciones que exige el Código AWS D1.1/D1.1M:2015. La extracción de las probetas se realiza de acuerdo a lo especificado en las figuras 4.5, figura 4.6 y figura 4.7 del código AWS según sea el caso (anexo 5, anexo 6 y anexo7).

4.1.4.7.1. Ensayo de dobléz.

Para la realización del ensayo de dobléz de raíz y de cara se toma en consideración lo especificado en la figura 4.8 del Código (anexo 8). Todas las probetas son dobladas en una plantilla guía de doblado que cumpla con lo especificado en la figura 4.11, 4.12 y 4.13 del Código (anexo 18 y anexo19). Los pasos para realizar el ensayo se especifican en el ítem 4.9.3.1. del Código.



Figura 14. Probeta para ensayo de dobléz.



Figura 15. Ensayo de dobléz.

Los criterios de aceptación para los ensayos de doblado se especifican en el ítem 4.9.3.3 del Código y especifica lo siguiente:

Se debe examinar visualmente la superficie convexa de la probeta de ensayo de doblado en busca de las discontinuidades de la superficie. Para su aceptación, la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones: (Americam Welding Society, 2015)

- 1/8 pulg. [3 mm] medidas en cualquier dirección sobre la superficie.
- 3/8 pulg. [10 mm] la suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1/32 pulg. [1 mm] pero inferiores o iguales a 1/8 pulg. [3 mm]
- 1/4 pulg. [6 mm]-la grieta máxima de esquina, excepto cuando la grieta de esquina resulta de una inclusión de escoria visible u otra discontinuidad de fusión, encuyo caso se debe aplicar el máximo de 1/8 pulg. [3 mm].

4.1.4.7.2. Resultado del ensayo de doblez.

Según los requerimientos del Código AWS D1.1/D1.1M:2015 se realizaron ensayos de doblez transversal de cara y ensayo de doblez transversal de raíz.

- Se puede observar que las probetas que se le realizaron el ensayo de doblez transversal de raíz, no presentan discontinuidad superficial alguna, por tanto, cumple con lo especificado en el ítem 4.9.3.3 del Código.

- Al igual que las probetas anteriores, las probetas usadas para el ensayo transversal de cara no presentan discontinuidades superficiales alguna, por tanto, también cumplen con los especificado en el Código.

Tabla 3
Parámetros del ensayo de dobléz

N°	Ancho cm	Espesor mm	Carga	
			Kg	Lbs.
01	31.4	5.75	600	1322.76
02	31.5	5.71	500	1102.30
03	33.0	5.72	540	1190.48
04	31.0	56.0	420	925.93



Figura 16. Probetas ensayadas.

4.1.4.7.3. Ensayo de tracción.

Para la realización del ensayo tracción se toma en consideración lo especificado en la figura 4.10 del Código (anexo 10).

Todas las probetas ensayadas deben de cumplir con lo especificado en el ítem 4.9.3.4. del Código.



Figura 17. Probetas para ensayo de tracción.

Los criterios de aceptación para los ensayos de doblado se especifican en el ítem 4.9.3.5 del Código y especifica lo siguiente:

- La resistencia a la tracción no debe ser inferior al mínimo del rango de tracción especificado del metal base utilizado. (Americam Welding Society, 2015)

4.1.4.7.4. Resultado del ensayo de tracción.

Se lograron pasar los criterios de aceptación del ítem 4.9.3.5 del Código. Los especímenes de prueba fallaron en el material base y no en la zona de soldadura. Los resultados obtenidos del ensayo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4
Resultados de tensión

N°	Ancho mm	Espesor mm	Área mm ²	Carga Kg	Kg/cm ²	Esfuerzo		Falla
						Mpa	PSI	
1	11.39	5.78	0.66	3540	5363.64	526.00	76288.07	M.B.
2	12.13	5.78	0.70	3410	4871.43	477.72	69287.30	M.B.

4.1.4.7.5. Aprobación del WPS.

Las especificaciones del procedimiento de soldadura WPS (anexo 17), que se tomaron en consideración para la preparación del cupón de prueba, aprobaron los ensayos de calificación, por lo tanto, se debe de extender el PQR respectivo. (anexo 20); esto permite que el WPS sea utilizado para la fabricación de estructuras soldadas de acero donde se aplique el Código AWS D1.1/D1.1M:2015.

4.2. IMPLEMENTACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La implementación de procedimientos en un proceso productivo es efectiva si estos están bien realizados y son relevantes a las necesidades y los objetivos de la empresa. Los procedimientos efectivos abordan necesidades genuinas, haciendo que los empleados estén dispuestos a implementarlos, ya que contribuyen a la eficacia operacional y dan credibilidad al trabajo. Para esto, el personal administrativo debe aprobar primero los procedimientos e implementarlos.

4.2.1. Capacitación.

Es importante mantener al personal capacitado, de manera que puedan apoyarse en ello como ventaja competitiva sobre la competencia. Una de las ventajas de capacitar es preparar al personal para que sepa exactamente lo que va a hacer en el trabajo para evitar errores y confusiones posteriores.

La capacitación es dirigida al personal involucrado en el proceso de soldadura como los soldadores y ayudante de soldadores, las capacitaciones se deben darse por personal capacitado del área de producción de la empresa que tenga experiencia en el manejo del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.

4.2.1.1. Ítem para el desarrollo de la capacitación del WPS.

La capacitación debe tener explicaciones y aplicaciones del Código AWS revisando los conceptos básicos de metalurgia de la soldadura, procesos de soldadura, selección de aportes, y la aplicación con los distintos capítulos del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.

4.2.1.2. Objetivos de la capacitación del WPS.

Objetivo general.

- Interpretar un WPS calificado bajo el Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.

Específicos.

- Identificar las variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales de un WPS.
- Conocer el proceso de calificación de un WPS.

4.2.1.3. Temas a desarrollarse en la capacitación.

- Introducción al Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.
- Introducción al los WPS y WPQ.
- Pasos para calificar un WPS.
- Contenido de los WPS.
- Definición de variables de soldadura.
- Ejemplos de WPS.
- Ensayos mecánicos requeridos para la calificación del WPS.
- Probetas de prueba.
- Análisis de ensayo de tensión.
- Análisis de ensayo de dobléz.
- Ejemplo de PQR.
- Aprobación de WPS.
- Conclusiones.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los aceros estructurales presentan un bajo contenido de carbono haciendo que estos formen muy pocas veces estructuras frágiles, en tal sentido se deben de tomar en cuenta las composiciones químicas del material base, para poder determinar su soldabilidad y los parámetros que se deben de tener en cuenta en el WPS.
- Se debe analizar los pasos y procedimientos que se van a realizar durante un proceso de calificación del procedimiento de soldadura según el Código AWS D1.1/D1.1, para poder obtener resultados confiables y se puedan utilizar durante las fabricaciones de las estructuras.
- Las variables usadas en las especificaciones del procedimiento de soldadura para la fabricación de estructuras de aceros bajo el Código AWS D1.1/D1.1, aprueban los criterios de aceptación del ensayo de inspección visual, ensayo de tensión y ensayo de dobléz que establece el Código.
- Se deben realizar las cantidades necesarias de ensayos mecánicos a las probetas para su aprobación, con la finalidad de garantizar y determinar resultados confiables.

- La correcta calificación de los WPS y del personal de soldadura da como resultado una reducción significativa en los costos de operación por parte de la empresa; evitando los costos excesivos por soldaduras rechazadas y demoras en la entrega de trabajos programados.
- Es importante el desarrollo de documentos bajo condiciones precalificadas que exigen los Códigos para poder garantizar el proceso de implementación de los WPS y del producto terminado.
- La implementación de los WPS, son determinantes para la mejora de los procesos de soldadura y aumentar la competencia de la mano de obra calificada dentro de la empresa y se ve reflejado en la trascendencia de una mejora continua dentro del proceso productivo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se deben realizar implementación de WPS para cada tipo de material y proceso de soldadura distinto que se realicen en el área de producción de la empresa aplicando el código, norma o estándar que los gobiernan.
- Se debe diseñar planes de trabajo con la finalidad de realizar seguimientos constantes a la implementación de los WPS y de todas las actividades que esta involucra.

- Implementar programas de capacitaciones al personal que intervienen en los procesos de soldadura, capacitaciones en los alcances y aplicabilidad de los códigos de diseño y construcción que se manejan en la empresa.
- La preparación de las probetas y muestras de ensayos deben ser maquinadas sus superficies con la finalidad de obtener acabados apropiados, evitando la presencia de ciertas áreas que pudieran constituir concentradores de esfuerzos y/o otros, que podrían darnos resultados no confiables.
- Los ensayos realizados en la calificación de los WPS deben realizarse en base a las especificaciones que se detallan en los códigos correspondientes.

CAPÍTULO VI

FUENTES DE INFORMACION

6.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

American Welding Society. (2015). *AWS D1.1/D1.1 M:2015 - Structural Welding Code - Steel* (22nd Edition ed.). Miami, Florida, USA: American National Standards Institute. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://pubs.aws.org>

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 Octubre de 2018, de <http://repositorio.upn.edu.pe>

Caballero Espinoza, C. (2014). *Calificación de un Procedimiento de Soldadura Específico y la Habilidad del Personal de Soldadura para la Fabricación de un Tanque Metálico ASME VIII Div 1*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Lima, Perú. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://cybertesis.uni.edu.pe>

Martin Guivernau, J. (2011). *Procesos de Soldadura Aplicados en la Construcción Naval*. Tesis de Pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya, Facultat de

Nautica de Barcelona, Barcelona, España. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://upcommons.upc.edu>

Mendoza, W. (s.f.). *Especificacion de Procedimiento de Soldaduras W.P.S. segunCodigo D1.1-2008 A.N.S.I./A.W.S.* Monografía. Recuperado el Octubre de 2018, de <https://es.scribd.com>

Porta Mas, E. (2014). *Diseño y Fabricación de un Mecanismo de Dobleza para Calificación de Soldadores y Operadores de Soldadura para Estructuras según el Código de Soldadura Estructural AWS D1.1 – 2010.* Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Ambiental, Lima, Perú. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://repositorio.untels.edu.pe>

Quiñones López, G. (2017). *Implementación de Procedimiento de Soldadura WPS para Uniones Soldadas a Vigas de Ala Ancha, con Patines entre 1/2 Y 3/4 de Pulgada de Espesor, en la Empresa Metalmecánica Industrial.* Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://www.repositorio.usac.edu.gt>

Sánchez Aguilar, B. (2015). *Elaborar e Implementar un Procedimiento de Soldadura en la Empresa Revoconstrucciones para la Mejora Productiva Utilizando Herramientas de Calidad.* Tesis de Pregrado, Universidad de Las Americas,

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Quito, Ecuador.
Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://dspace.udla.edu.ec>

Torres , M. (2007). *Control y Aseguramiento de la Calidad en Procesos de Soldadura Industrial*. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://controlsoldaduramargot.blogspot.com>

Valverde Vargas, A. (2017). *Propuesta de Mejora de Proceso en el Área de Soldadura, aplicando la Norma AWS D1.1 con un WPS en la Empresa Suministro de Fabricación y Construcción SAC - 2017*. Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú.
Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://repositorio.upn.edu.pe>

ANEXOS

Anexo 01
Matriz de consistencia

Anexo 02

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.1

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015

Table 4.1
WPS Qualification—Production Welding Positions Qualified by Plate, Pipe, and Box Tube Tests (see 4.4)

Qualification Test	Production Plate Welding Qualified			Production Pipe Welding Qualified				Production Box Tube Welding Qualified			
	Weld Type	Test Positions	Fillet ^c	Groove CJP	Groove PJP	Butt Joint ^b	T-, Y-, K- Connections	Fillet ^c	Butt Joint	T-, Y-, K- Connections	Fillet ^c
CJP Groove ^a	CJP	1G	F	F	F	F		F	F		F
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H		F, H
		3G	V	V	V	V		V	V		V
		4G	OH	OH	OH	OH		OH	OH		OH
Fillet ^{a, b}	Fillet ^{a, b}	1F	F					F			F
		2F	F, H					F, H			F, H
		3F	V					V			V
		4F	OH					OH			OH
Plug/Slot											

Qualifies Plug/Slot Welding for Only the Positions Tested

CJP—Complete Joint Penetration

PJP—Partial Joint Penetration

^a Qualifies for a welding axis with an essentially straight line, including welding along a line parallel to the axis of circular pipe.

^b Qualifies for circumferential welds in pipes equal to or greater than 24 in [600 mm] nominal outer diameter.

^c Fillet welds in production T-, Y-, or K-connections shall conform to Figure 9.12. WPS qualification shall conform to 4.12.

Anexo 03

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 9.9

9. TUBULAR STRUCTURES

AWS D1.1/D1.1M:2015

Table 9.9
WPS Qualification—Production Welding Positions Qualified by Plate, Pipe, and Box Tube Tests (see 9.13)

Qualification Test	Production Plate Welding Qualified			Production Pipe Welding Qualified				Production Box Tube Welding Qualified					
	Groove CJP	Groove PJP	Fillet ¹	Butt Joint CJP	PJP	CJP	PJP	T, Y, K-Connections	Butt Joint CJP	PJP	CJP	PJP	Fillet ¹
Weld Type													
1G Rotated	F	F	F	F ²	F	F	F	T, Y, K-Connections	F	F	F	F	F
2G	F, H	F, H	F, H	(F, H) ³	F, H	F, H	F, H	T, Y, K-Connections	(F, H) ³	F, H	F, H	F, H	F, H
5G	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ⁴	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	T, Y, K-Connections	(F, V, OH) ⁴	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH
Groove (2G + 5G)	All	All	All	All ⁵	All	All ⁶	All	T, Y, K-Connections	All ⁵	All ⁶	All ⁶	All	All
6G	All	All	All	All ⁵	All	All ⁶	All	T, Y, K-Connections	All ⁵	All ⁶	All ⁶	All	All
6GR	All ⁷	All	All	All ⁵	All	All ⁶	All	T, Y, K-Connections	All ⁵	All ⁶	All ⁶	All	All
1F Rotated			F					Butt Joint					F
2F			F, H					Butt Joint					F, H
2F Rotated			F, H					Butt Joint					F, H
4F			F, H, OH					Butt Joint					F, H, OH
5F			All					Butt Joint					All

CJP—Complete Joint Penetration
PJP—Partial Joint Penetration

¹ Production butt joint details without backing or backgouging require qualification testing of the joint detail shown in Figure 9.23(A).
² Limited to prequalified joint details (see 9.10 or 9.11).
³ For production joints of CJP T, Y, and K-connections that conform to either 9.14, 9.15, or 9.16 and Table 9.8, use Figure 9.25 detail for testing. For other production joints, see 9.15.4.1.
⁴ For production joints of CJP T, Y, and K-connections that conform to Figure 9.12, and Table 9.8, use Figures 9.25 and 9.27 detail for testing, or, alternatively, test the Figure 9.25 joint and cut macroetch specimens from the corner locations shown in Figure 9.27. For other production joints, see 9.15.4.1.
⁵ For production joints of PJP T, Y, and K-connections that conform to Figure 9.11, use either the Figure 9.23(A) or Figure 9.23(B) detail for testing.
⁶ For matched box connections with corner radii less than twice the chord member thickness, see 9.10.1.1.
⁷ Fillet welds in production T, Y, or K-connections shall conform to Figure 9.10. WPS qualification shall conform to 9.16.

Anexo 04

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS

AWS D1.1/D1.1M:2015

PART B

CLAUSE 4. QUALIFICATION

4.7 Preparation of WPS

The manufacturer or Contractor shall prepare a written WPS that specifies all of the applicable essential variables referenced in 4.8. The specific values for these WPS variables shall be obtained from the procedure qualification record (PQR), which shall serve as written confirmation of a successful WPS qualification.

4.8 Essential Variables

4.8.1 SMAW, SAW, GMAW, GTAW, and FCAW. Changes beyond the limitations of PQR essential variables for the SMAW, SAW, GMAW, GTAW, and FCAW processes shown in Table 4.5 and Table 4.6 (when CVN testing is specified) shall require requalification of the WPS (see 4.2.1.3).

4.8.2 ESW and EGW. See Table 4.7 for the PQR essential variable changes requiring WPS requalification for the EGW and ESW processes.

4.8.3 Base Metal Qualification. WPSs requiring qualification that use base metals listed in Table 3.1 shall qualify other base metal groups in conformance with Table 4.8. WPSs for base metals not listed in Table 3.1 or Table 4.9 shall be qualified in conformance with Clause 4. The use of unlisted base metals shall be approved by the Engineer.

WPSs with steels listed in Table 4.9 shall also qualify Table 3.1 or Table 4.9, steels in conformance with Table 4.8. Table 4.9 also contains recommendations for matching strength filler metal and minimum preheat and interpass temperatures for the materials in the table.

4.8.4 Preheat and Interpass Temperature. The minimum preheat and interpass temperature should be established on the basis of steel composition as shown in Table 3.1. Alternatively, recognized methods of prediction or guidelines such as those provided in Annex H, or other methods may be used. Preheat and interpass temperatures lower than required per Table 3.3 or calculated per Annex H may be used provided they are approved by the Engineer and qualified by WPS testing.

The methods of Annex H are based on laboratory cracking tests and may predict preheat temperatures higher than the minimum temperature shown in Table 3.3. Annex H may be of value in identifying situations where the risk of cracking is increased due to composition, restraint, hydrogen level or lower welding heat input where higher preheat may be warranted. Alternatively, Annex H may assist in defining conditions under which hydrogen cracking is unlikely and where the minimum requirements of Table 3.3 may be safely relaxed.

4.9 Methods of Testing and Acceptance Criteria for WPS Qualification

The welded test assemblies conforming to 4.9.2 shall have test specimens prepared by cutting the test plate as shown in Figures 4.5 through 4.7, whichever is applicable. The test specimens shall be prepared for testing in conformance with Figures 4.8, 4.9, 4.10, and 4.14, as applicable.

4.9.1 Visual Inspection of Welds. The visual acceptance criteria for qualification of groove and fillet welds (excluding weld tabs) shall conform to the following requirements, as applicable:

4.9.1.1 Visual Inspection of Groove Welds. Groove welds shall meet the following requirements:

- (1) Any crack shall be unacceptable, regardless of size.
- (2) All craters shall be filled to the full cross section of the weld.
- (3) Weld reinforcement shall not exceed 1/8 in [3 mm]. The weld profile shall conform to Figure 5.4 and shall have complete fusion.
- (4) Undercut shall not exceed 1/32 in [1 mm].
- (5) The weld root for CJP grooves shall be inspected, and shall not have any cracks, incomplete fusion, or inadequate joint penetration.
- (6) For CJP grooves welded from one side without backing, root concavity or melt-through shall conform to the following:

(a) The maximum root concavity shall be 1/16 in [2 mm], provided the total weld thickness is equal to or greater than that of the base metal.

(b) The maximum melt-through shall be 1/8 in [3 mm].

4.9.1.2 Visual Inspection of Fillet Welds. Fillet welds shall meet the following requirements:

- (1) Any crack shall be unacceptable, regardless of size.
- (2) All craters shall be filled to the full cross section of the weld.
- (3) The fillet weld leg sizes shall not be less than the required leg sizes.
- (4) The weld profile shall meet the requirements of Figure 5.4.

(5) Base metal undercut shall not exceed 1/32 in [1 mm].

4.9.2 NDT. Before preparing mechanical test specimens, the qualification test plate, pipe, or tubing shall be nondestructively tested for soundness as follows:

4.9.2.1 RT or UT. Either RT or UT shall be used. The entire length of the weld in test plates, except the discard lengths at each end, shall be examined in conformance with Clause 6, Part E or F, and Clause 9, Part F for tubulars.

4.9.2.2 RT or UT Acceptance Criteria. For acceptable qualification, the weld, as revealed by RT or UT, shall conform to the requirements of Clause 6, Part C or Clause 9, Part F for tubulars.

4.9.3 Mechanical Testing. Mechanical testing shall be as follows:

4.9.3.1 Root, Face, and Side Bend Specimens (see Figure 4.8 for root and face bends, Figure 4.9 for side bends). Each specimen shall be bent in a bend test jig that meets the requirements shown in Figures 4.11 through 4.13 or is substantially in conformance with those figures, provided the maximum bend radius is not exceeded. Any convenient means may be used to move the plunger member with relation to the die member.

The specimen shall be placed on the die member of the jig with the weld at midspan. Face bend specimens shall be placed with the face of the weld directed toward the gap. Root bend and fillet weld soundness specimens shall be placed with the root of the weld directed toward the gap. Side bend specimens shall be placed with that side showing the greater discontinuity, if any, directed toward the gap.

The plunger shall force the specimen into the die until the specimen becomes U-shaped. The weld and HAZs shall be centered and completely within the bent portion of the specimen after testing. When using the wrap-around jig, the specimen shall be firmly clamped on one end so that there is no sliding of the specimen during the bending operation. The weld and HAZs shall be completely in the bent portion of the specimen after testing. Test specimens shall be removed from the jig when the outer roll has been moved 180° from the starting point.

4.9.3.2 Longitudinal Bend Specimens. When material combinations differ markedly in mechanical bending properties, as between two base materials or between the weld metal and the base metal, longitudinal bend tests (face and root) may be used in lieu of the transverse face and root bend tests. The welded test assemblies conforming to 4.9.2 shall have test specimens prepared by cutting the test plate as shown in Figure 4.6 or 4.7, whichever is

applicable. The test specimens for the longitudinal bend test shall be prepared for testing as shown in Figure 4.8.

4.9.3.3 Acceptance Criteria for Bend Tests. The convex surface of the bend test specimen shall be visually examined for surface discontinuities. For acceptance, the surface shall contain no discontinuities exceeding the following dimensions:

(1) 1/8 in [3 mm] measured in any direction on the surface

(2) 3/8 in [10 mm]—the sum of the greatest dimensions of all discontinuities exceeding 1/32 in [1 mm], but less than or equal to 1/8 in [3 mm]

(3) 1/4 in [6 mm]—the maximum corner crack, except when that corner crack results from visible slag inclusion or other fusion type discontinuity, then the 1/8 in [3 mm] maximum shall apply

Specimens with corner cracks exceeding 1/4 in [6 mm] with no evidence of slag inclusions or other fusion type discontinuity shall be disregarded, and a replacement test specimen from the original weldment shall be tested.

4.9.3.4 Reduced-Section Tension Specimens (see Figure 4.10). Before testing, the least width and corresponding thickness of the reduced section shall be measured. The specimen shall be ruptured under tensile load, and the maximum load shall be determined. The cross-sectional area shall be obtained by multiplying the width by the thickness. The tensile strength shall be obtained by dividing the maximum load by the cross-sectional area.

4.9.3.5 Acceptance Criteria for Reduced-Section Tension Test. The tensile strength shall be no less than the minimum of the specified tensile range of the base metal used.

4.9.3.6 All-Weld-Metal Tension Specimen (see Figure 4.14). The test specimen shall be tested in conformance with ASTM A370, *Mechanical Testing of Steel Products.*

4.9.4 Macroetch Test. The weld test specimens shall be prepared with a finish suitable for macroetch examination. A suitable solution shall be used for etching to give a clear definition of the weld.

4.9.4.1 Acceptance Criteria for Macroetch Test. For acceptable qualification, the test specimen, when inspected visually, shall conform to the following requirements:

(1) PJP groove welds; the actual weld size shall be equal to or greater than the specified weld size, (E).

(2) Fillet welds shall have fusion to the root of the joint, but not necessarily beyond.

(3) Minimum leg size shall meet the specified fillet weld size.

(4) The PJP groove welds and fillet welds shall have the following:

- (a) no cracks
- (b) thorough fusion between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal
- (c) weld profiles conforming to specified detail, but with none of the variations prohibited in 5.23
- (d) no undercut exceeding 1/32 in [1 mm]

4.9.5 Retest. If any one specimen of all those tested fails to meet the test requirements, two retests for that particular type of test specimen may be performed with specimens cut from the same WPS qualification material. The results of both test specimens shall meet the test requirements. For material over 1-1/2 in [38 mm] thick, failure of a specimen shall require testing of all specimens of the same type from two additional locations in the test material.

4.10 CJP Groove Welds

See Table 4.2(1) for the requirements for qualifying a WPS of a CJP weld on nontubular connections. See Figures 4.5–4.7 for the appropriate test plate.

4.10.1.1 Corner or T-Joints. Test specimens for groove welds in corner or T-joints shall be butt joints having the same groove configuration as the corner or T-joint to be used on construction, except the depth of groove need not exceed 1 in [25 mm].

4.11 PJP Groove Welds

4.11.1 Type and Number of Specimens to be Tested. The type and number of specimens that shall be tested to qualify a WPS are shown in Table 4.3. A sample weld shall be made using the type of groove design and WPS to be used in construction, except the depth of groove need not exceed 1 in [25 mm]. For the macroetch test required below, any steel of Groups I, II, and III of Table 3.1 may be used to qualify the weld size on any steels or combination of steels in those groups. If the PJP groove weld is to be used for corner or T-joints, the butt joint shall have a temporary restrictive plate in the plane of the square face to simulate the T-joint configuration. The sample welds shall be tested as follows:

4.11.2 Weld Size Verification by Macroetch. For WPSs which conform in all respects to Clause 4, three

macroetch cross section specimens shall be prepared to demonstrate that the designated weld size (obtained from the requirements of the WPS) are met.

4.11.3 Verification of CJP Groove WPS by Macroetch. When a WPS has been qualified for a CJP groove weld and is applied to the welding conditions of a PJP groove weld, three macroetch cross section tests specimens shall be required to demonstrate that the specified weld size shall be equaled or exceeded.

4.11.4 Other WPS Verifications by Macroetch. If a WPS is not covered by either 4.11.2 or 4.11.3, or if the welding conditions do not meet a prequalified status, or if these have not been used and tested for a CJP weld in a butt joint, then a sample joint shall be prepared and the first operation shall be to make a macroetch test specimen to determine the weld size of the joint. Then, the excess material shall be machined off on the bottom side of the joint to the thickness of the weld size. Tension and bend test specimens shall be prepared and tests performed, as required for CJP groove welds (see 4.10).

4.11.5 Flare-Groove Welds. The effective weld sizes for qualified flare-groove welds shall be determined by the following:

(1) Test sections shall be used to verify that the effective weld size is consistently obtained.

(2) For a given set of WPS conditions, if the Contractor has demonstrated consistent production of larger effective weld sizes than those shown in Table 2.1, the Contractor may establish such larger effective weld sizes by qualification.

(3) Qualification required by (2) shall consist of sectioning the radiused member, normal to its axis, at midlength and ends of the weld. Such sectioning shall be made on a number of combinations of material sizes representative of the range used by the Contractor in construction.

4.12 Fillet Welds

4.12.1 Type and Number of Specimens. Except as permitted elsewhere in Clause 4, the type and number of specimens that shall be tested to qualify a single-pass fillet weld and/or multiple-pass fillet weld WPS are shown in Table 4.4. Qualification testing may be for either a single-pass fillet weld or multiple-pass fillet weld or both.

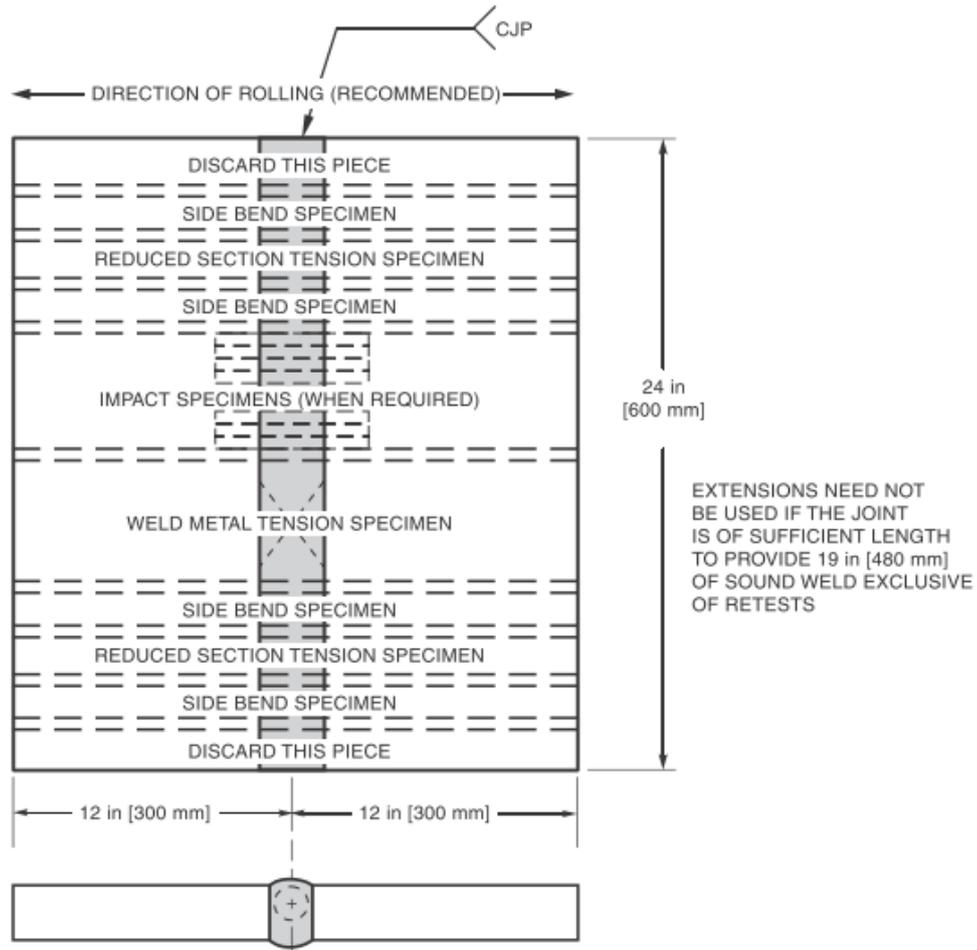
4.12.2 Fillet Weld Test. A fillet welded T-joint, as shown in Figure 4.15 for plate or Figure 9.21 for pipe

Anexo 05

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas- ESW y EGW

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015



Notes:

1. The groove configuration shown is for illustration only. The groove shape tested shall conform to the production groove shape that is being qualified.
2. When CVN test specimens are required, see Clause 4, Part D for requirements.
3. All dimensions are minimum.

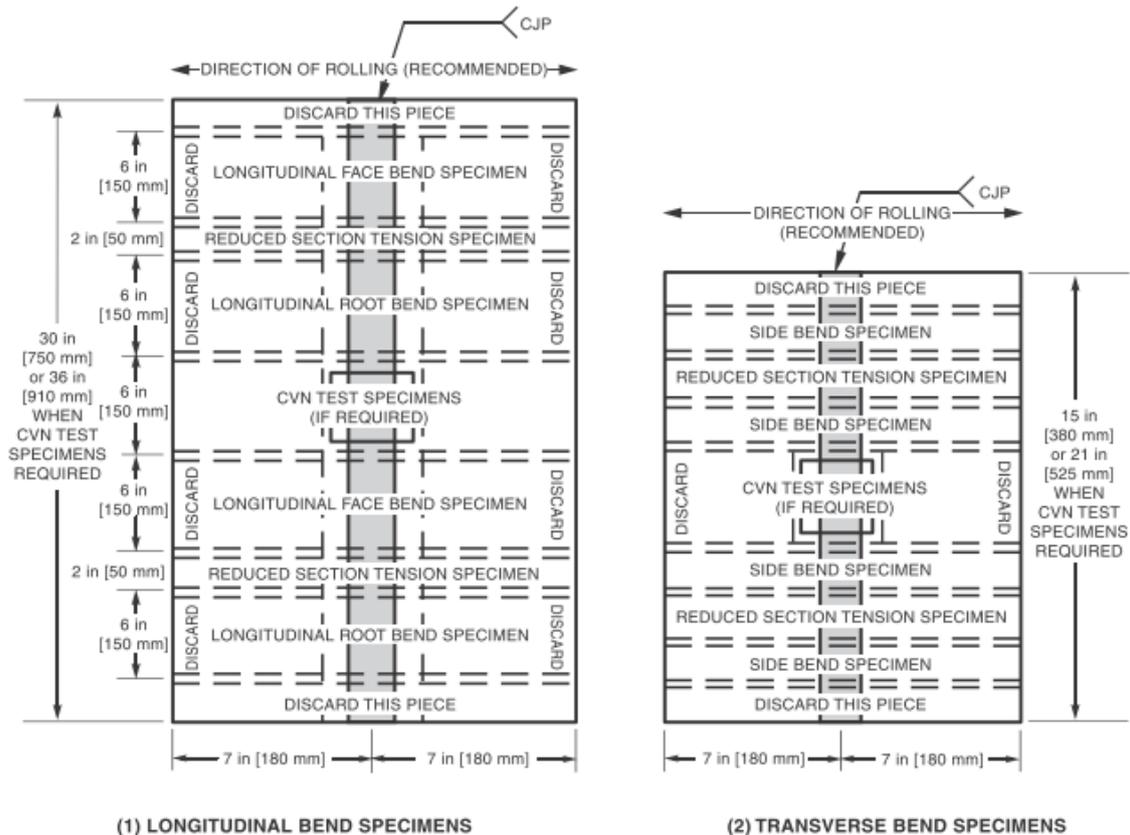
Figure 4.5—Location of Test Specimens on Welded Test Plates—ESW and EGW—WPS Qualification (see 4.9)

Anexo 06

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas de más de 3/8 pulgadas [10 mm] de espesor

AWS D1.1/D1.1M:2015

CLAUSE 4. QUALIFICATION



Notes:

1. The groove configuration shown is for illustration only. The groove shape tested shall conform to the production groove shape that is being qualified.
2. When CVN tests are required, the specimens shall be removed from their locations, as shown in Figure 4.28.
3. All dimensions are minimum.

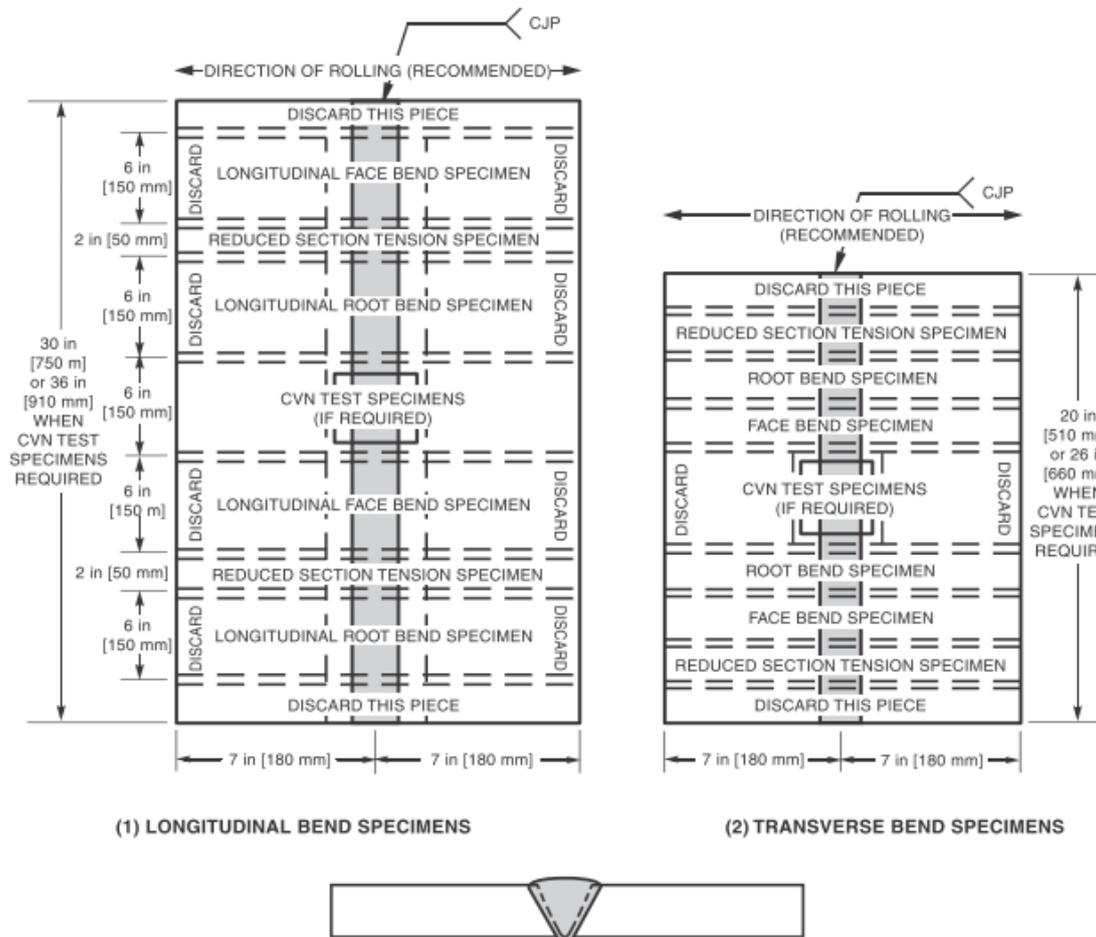
Figure 4.6—Location of Test Specimens on Welded Test Plate Over 3/8 in [10 mm] Thick—WPS Qualification (see 4.9)

Anexo 07

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas 3/8 pulgadas [10 mm] y menor espesor

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015



Notes:

1. The groove configuration shown is for illustration only. The groove shape tested shall conform to the production groove shape that is being qualified.
2. When CVN tests are required, the specimens shall be removed from their locations, as shown in Figure 4.28.
3. All dimensions are minimum.
4. For 3/8 in [10 mm] plate, a side-bend test may be substituted for each of the required face- and root-bend tests. See Figure 4.6(2) for plate length and location of specimens.

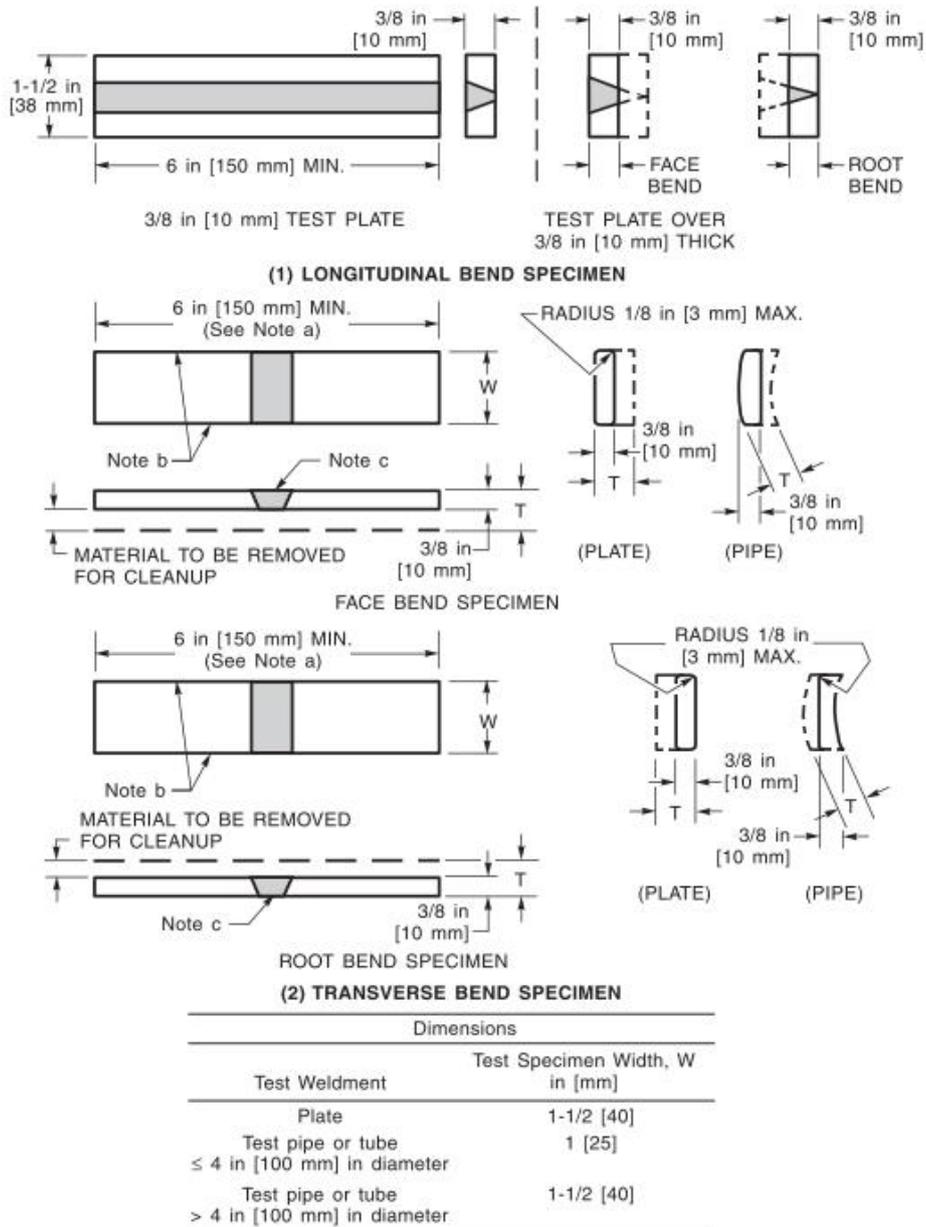
Figure 4.7—Location of Test Specimens on Welded Test Plate 3/8 in [10 mm] Thick and Under—WPS Qualification (see 4.9)

Anexo 08

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de doblado de cara y raíz

AWS D1.1/D1.1M:2015

CLAUSE 4. QUALIFICATION



^a A longer specimen length may be necessary when using a wraparound type bending fixture or when testing steel with a yield strength of 90 ksi [620 MPa] or more.

^b These edges may be thermal cut and may or may not be machined.

^c The weld reinforcement and backing, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen (see 5.23.3.1 and 5.23.3.2). If a recessed backing is used, this surface may be machined to a depth not exceeding the depth of the recess to remove the backing; in such a case, the thickness of the finished specimen shall be that specified above. Cut surfaces shall be smooth and parallel.

Notes:

1. T = plate or pipe thickness.

2. When the thickness of the test plate is less than 3/8 in [10 mm], the nominal thickness shall be used for face and root bends.

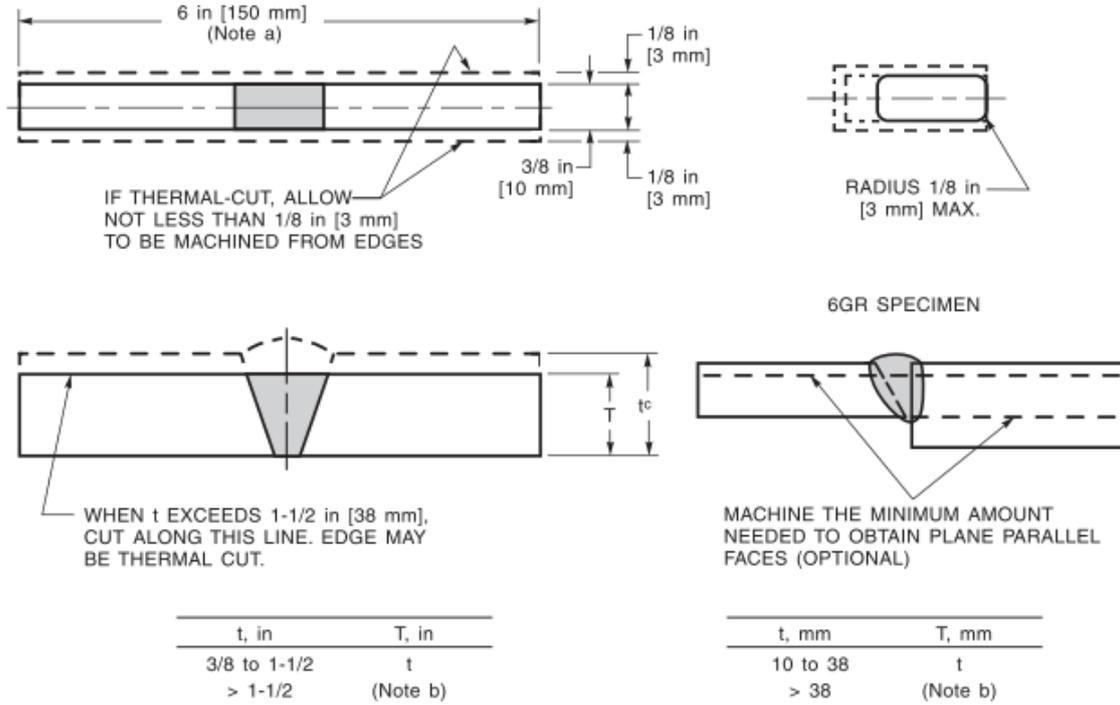
Figure 4.8—Face and Root Bend Specimens (see 4.9.3.1)

Anexo 09

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de doblado lateral

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015



^a A longer specimen length may be necessary when using a wraparound-type bending fixture or when testing steel with a yield strength of 90 ksi [620 MPa] or more.

^b For plates over 1-1/2 in [38 mm] thick, the specimen shall be cut into approximately equal strips with T between 3/4 in [20 mm] and 1-1/2 in [38 mm] and test each strip.

^c t = plate or pipe thickness.

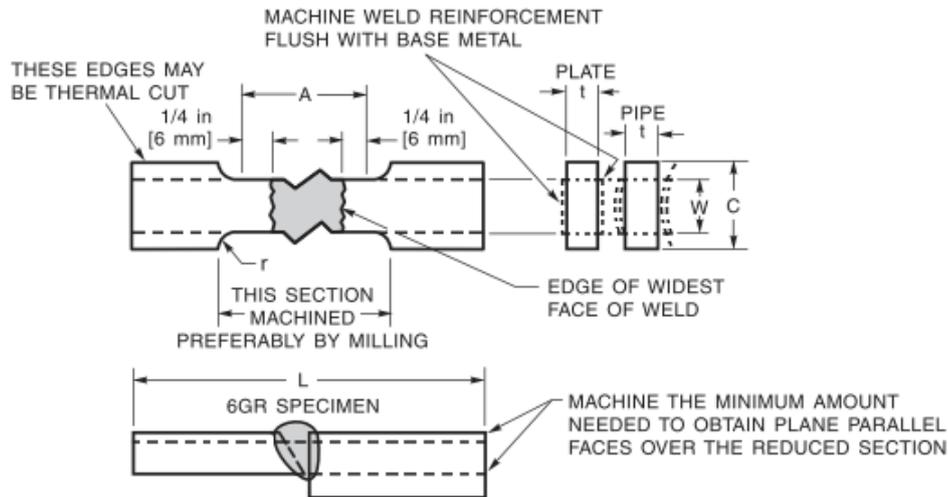
Figure 4.9—Side Bend Specimens (see 4.9.3.1)

Anexo 10

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de tracción de sección reducida

AWS D1.1/D1.1M:2015

CLAUSE 4. QUALIFICATION



	Dimensions in inches [mm]				
	Test Plate Nominal Thickness, T_p			Test Pipe	
	$T_p \leq 1$ in [25 mm]	1 in [25 mm] < $T_p < 1\text{-}1/2$ in [38 mm]	$T_p \geq 1\text{-}1/2$ in [38 mm]	2 in [50 mm] & 3 in [75 mm] Diameter	6 in [150 mm] & 8 in [200 mm] Diameter or Larger Job Size Pipe
A—Length of reduced section	Widest face of weld + 1/2 in [12 mm], 2-1/4 in [60 mm] min.			Widest face of weld + 1/2 in [12 mm], 2-1/4 in [60 mm] min.	
L—Overall length, min ^a	As required by testing equipment			As required by testing equipment	
W—Width of reduced section ^{b,c}	3/4 in [20 mm] min.	3/4 in [20 mm] min.	3/4 in [20 mm] min.	1/2 ± 0.01 (12 ± 0.025)	3/4 in [20 mm] min.
C—Width of grip section ^{c,d}	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.	W + 1/2 in [12 mm] min.
t—Specimen thickness ^{e,f}	T_p	T_p	T_p/n (Note f)	Maximum possible with plane parallel faces within length A	
r—Radius of fillet, min.	1/2 in [12 mm]	1/2 in [12 mm]	1/2 in [12 mm]	1 in [25 mm]	1 in [25 mm]

^a It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two-thirds or more of the length of the grips.

^b The ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004 in [0.102 mm]. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width of either end shall not be more than 0.015 in [0.381 mm] larger than the width at the center.

^c Narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases, the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested allows. If the width of the material is less than W, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

^d For standard plate-type specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 1/4 in [6 mm].

^e The dimension t is the thickness of the specimen as provided for in the applicable material specifications. The minimum nominal thickness of 1-1/2 in [38 mm] wide specimens shall be 3/16 in [5 mm] except as allowed by the product specification.

^f For plates over 1-1/2 in [38 mm] thick, specimens may be cut into approximately equal strips. Each strip shall be at least 3/4 in [20 mm] thick. The test results of each strip shall meet the minimum requirements.

Note: Due to limited capacity of some tensile testing machines, alternate specimen dimensions for Table 4.9 steels may be used when approved by the Engineer.

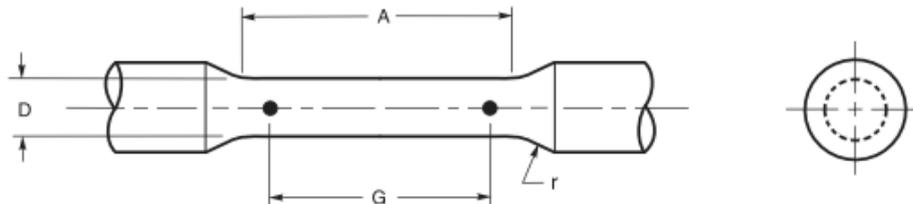
Figure 4.10—Reduced-Section Tension Specimens (see 4.9.3.4)

Anexo 11

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Probetas de tracción de metal de soldadura

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015



Dimensions in inches			
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard	
Nominal Diameter	0.500 in Round	0.350 in Round	0.250 in Round
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005
D—Diameter (Note a)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005
r—Radius of fillet, min.	3/8	1/4	3/16
A—Length of reduced section (Note b), min.	2-1/4	1-3/4	1-1/4

Dimensions (metric version per ASTM E8M)			
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard	
Nominal Diameter	12.5 mm Round	9 mm Round	6 mm Round
G—Gage length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1
D—Diameter (Note a)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1
r—Radius of fillet, min.	10	8	6
A—Length of reduced section (Note b), min.	75	54	36

^a The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1% larger in diameter than the center (controlling dimension).

^b If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should be spaced at the indicated gage length.

Note: The gage length and fillets shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial. If the ends are to be held in wedge grips, it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two-thirds or more of the length of the grips.

Figure 4.14—All-Weld-Metal Tension Specimen (see 4.9.3.6)

Anexo 12

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.5

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015

Table 4.5
PQR Essential Variable Changes Requiring WPS Requalification for
SMAW, SAW, GMAW, FCAW, and GTAW (see 4.8.1)

Essential Variable Changes to PQR Requiring Requalification	Process				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Filler Metal					
1) Increase in filler metal classification strength	X		X	X	
2) Change from low-hydrogen to nonlow-hydrogen SMAW electrode	X				
3) Change from one electrode or flux-electrode classification to any other electrode or flux-electrode classification ^a		X		X	X
4) Change to an electrode or flux-electrode classification ^c not covered in:	AWS A5.1 or A5.5	AWS A5.17 or A5.23	AWS A5.18, A5.28 ₂ or A5.36	AWS A5.20, A5.29 ₂ or A5.36	AWS A5.18 or A5.28
5) Addition or deletion of filler metal					X
6) Change from cold wire feed to hot wire feed or vice versa					X
7) Addition or deletion of supplemental powdered or granular filler metal or cut wire		X			
8) Increase in the amount of supplemental powdered or granular filler metal or wire		X			
9) If the alloy content of the weld metal is largely dependent on supplemental powdered filler metal, any WPS change that results in a weld deposit with the important alloying elements not meeting the WPS chemical composition requirements		X			
10) Change in nominal filler metal diameter by:	> 1/32 in [0.8 mm] increase	Any increase ^b	Any increase or decrease	Any increase	> 1/16 in [1.6 mm] increase or decrease
11) Change in number of electrodes		X	X	X	X
Process Parameters					
12) A change in the amperage for each diameter used by:	To a value not recommended by manufacturer	> 10% increase or decrease	> 10% increase or decrease	> 10% increase or decrease	> 25% increase or decrease
13) A change in type of current (ac or dc) or polarity (electrode positive or negative for dc current)	X	X	X	X	X
14) A change in the mode of transfer			X		
15) A change from CV to CC output			X	X	
16) A change in the voltage for each diameter used by:		> 7% increase or decrease	> 7% increase or decrease	> 7% increase or decrease	
17) An increase or decrease in the wire feed speed for each electrode diameter (if not amperage controlled) by:		> 10%	> 10%	> 10%	

(Continued)

Table 4.5 (Continued)
PQR Essential Variable Changes Requiring WPS Requalification for
SMAW, SAW, GMAW, FCAW, and GTAW (see 4.8.1)

Essential Variable Changes to PQR Requiring Requalification	Process				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Process Parameters (Cont'd)					
18) A change in the travel speed ^c by:		> 15% increase or decrease	> 25% increase or decrease	> 25% increase or decrease	> 50% increase or decrease
Shielding Gas					
19) A change in shielding gas from a single gas to any other single gas or mixture of gas, or in the specified nominal percentage composition of a gas mixture, or to no gas			X	X	X
20) A change in total gas flow rate by:			Increase > 50% Decrease > 20%	Increase > 50% Decrease > 20%	Increase > 50% Decrease > 20%
21) A change from the actual classification shielding gas not covered in:			AWS A5.18, A5.28, or A5.36. For A5.36 fixed and open classifica- tions, variations in the shielding gas classifica- tion range shall be limited to the specific shield- ing gas tested or the designator used for the electrode classification.	AWS A5.20, A5.29, or A5.36. For A5.36 fixed and open classifica- tions, variations in the shielding gas classifica- tion range shall be limited to the specific shield- ing gas tested or the designator used for the electrode classification.	
SAW Parameters					
22) A change of > 10%, or 1/8 in [3 mm], whichever is greater, in the longitudinal spacing of the arcs		X			
23) A change of > 10%, or 1/8 in [3 mm], whichever is greater, in the lateral spacing of the arcs		X			
24) An increase or decrease of more than 10° in the angular orientation of any parallel electrode		X			
25) For mechanized or automatic SAW; an increase or decrease of more than 3° in the angle of the electrode		X			
26) For mechanized or automatic SAW, an increase or decrease of more than 5° normal to the direction of travel		X			

(Continued)

Table 4.5 (Continued)
PQR Essential Variable Changes Requiring WPS Requalification for
SMAW, SAW, GMAW, FCAW, and GTAW (see 4.8.1)

Essential Variable Changes to PQR Requiring Requalification	Process				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
General					
27) A change in position not qualified by Table 4.1 or 9.9	X	X	X	X	X
28) A change in diameter, or thickness, or both, not qualified by Table 4.2 or 9.10	X	X	X	X	X
29) A change in base metal or combination of base metals not listed on the PQR or qualified by Table 4.8	X	X	X	X	X
30) Vertical Welding: For any pass from uphill to downhill or vice versa	X		X	X	X
31) A change in groove type (e.g., single-V to double-V), except qualification of any CJP groove weld qualifies for any groove detail conforming with the requirements of 3.12, 3.13, 9.10, or 9.11	X	X	X	X	X
32) A change in the type of groove to a square groove and vice versa	X	X	X	X	X
33) A change exceeding the tolerances of 3.12, 3.13, 5.21.4.1, or 9.10, 9.11, 9.11.2, and 9.24.2.1 involving: a) A decrease in the groove angle b) A decrease in the root opening c) An increase in the root face	X	X	X	X	X
34) The omission, but not inclusion, of backing or backgouging	X	X	X	X	X
35) Decrease from preheat temperature ^d by:	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 100°F [55°C]
36) Decrease from interpass temperature ^d by:	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 25°F [15°C]	> 100°F [55°C]
37) Addition or deletion of PWHT	X	X	X	X	X

^a The filler metal strength may be decreased without WPS requalification.

^b For WPSs using alloy flux, any increase or decrease in the electrode diameter shall require WPS requalification.

^c Travel speed ranges for all sizes of fillet welds may be determined by the largest single pass fillet weld and the smallest multiple-pass fillet weld qualification tests.

^d The production welding preheat or interpass temperature may be less than the PQR preheat or interpass temperature provided that the provisions of 5.6 are met, and the base metal temperature shall not be less than the WPS temperature at the time of subsequent welding.

^e AWS A5M (SI Units) electrodes of the same classification may be used in lieu of the AWS A5 (U.S. Customary Units) electrode classification.

Note: An "x" indicates applicability for the process; a shaded block indicates nonapplicability.

Anexo 13

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.6

AWS D1.1/D1.1M:2015

CLAUSE 4. QUALIFICATION

Variable	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Table 4.6					
PQR Supplementary Essential Variable Changes for CVN Testing Applications Requiring WPS Requalification for SMAW, SAW, GMAW, FCAW, and GTAW (see 4.8.1)					
Base Metal					
1) A change in Group Number	X	X	X	X	X
2) Minimum thickness qualified is T or 5/8 in [16 mm] whichever is less, except if T is less than 1/4 in [6 mm], then the minimum thickness qualified is 1/8 in [3 mm]	X	X	X	X	X
Filler Metal					
3) A change in the AWS A5.X Classification, or to a weld metal or filler metal classification not covered by A5.X specifications. <u>Carbon and low-alloy steel FCAW and GMAW-Metal Cored electrodes previously classified under A5.18, A5.20, A5.28, or A5.29, and reclassified under A5.36 without change of manufacturer, brand name, and which meet all of the previous classification requirements used in PQR/WPS CVN qualification shall be acceptable without requalification.</u>	X	X	X	X	X
4) A change in the Flux/Wire classification, or a change in either the electrode or flux trade name when not classified by an AWS specification, or to a crushed slag		X			
5) A change in the manufacturer or the manufacturer's brand name or type of electrode				X	
Position					
6) A change in position to vertical up. A 3G vertical up test qualifies for all positions and vertical down	X		X	X	X
Preheat/Interpass Temperature					
7) An increase of more than 100°F [56°C] in the maximum preheat or interpass temperature qualified	X	X	X	X	X
Postweld Heat Treatment					
8) A change in the PWHT temperature and/or time ranges. The PQR test shall be subject to 80% of the aggregate times at temperature(s). The PWHT total time(s) at temperature(s) may be applied in one heating cycle	X	X	X	X	X
Electrical Characteristics					
9) An increase in heat input or volume of weld metal deposited per unit length of weld, over that qualified, except when a grain refining austenitizing heat treatment is applied after welding. The increase may be measured by either of the following: a) Heat Input (J/in) = $\frac{\text{Volts} \times \text{Amps} \times 60}{\text{Travel Speed (in/min)}}$ b) Weld Metal Volume—An increase in bead size, or a decrease in the length of weld bead per unit length of electrode	X	X	X	X	X
Other Variables					
10) In the vertical position, a change from stringer to weave	X	X	X	X	X
11) A change from multipass per side to single pass per side	X	X	X	X	X
12) A change exceeding ±20% in the oscillation variables for mechanized or automatic welding		X	X	X	X

Anexo 14

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 3.1

AWS D1.1/D1.1M:2015

CLAUSE 3. PREQUALIFICATION OF WPSs

		Table 3.1 Approved Base Metals for Prequalified WPSs (see 3.3)			
		Steel Specification Requirements			
G r o u p	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range	
		ksi	MPa	ksi	MPa
	ASTM A36 ($\leq 3/4$ in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A106 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A131 Grades A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139 Grade B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A381 Grade Y35	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A500 Grade A	33	230	45 min.	310 min.
	Grade B	42	290	58 min.	400 min.
	Grade C	46	315	62 min.	425 min.
	ASTM A501 <u>Grade A</u>	36	250	58 min.	400 min.
	ASTM A516 Grade 55	30	205	55–75	380–515
	Grade 60	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524 Grade I	35	240	60–85	415–586
	Grade II	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573 Grade 65	35	240	65–77	450–530
	Grade 58	32	220	58–71	400–490
I	ASTM A709 Grade 36 ($\leq 3/4$ in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A1008 SS Grade 30	30	205	45 min.	310 min.
	Grade 33 Type 1	33	230	48 min.	330 min.
	Grade 40 Type 1	40	275	52 min.	360 min.
	ASTM A1011 SS Grade 30	30	205	49 min.	340 min.
	Grade 33	33	230	52 min.	360 min.
	Grade 36 Type 1	36	250	53 min.	365 min.
	Grade 40	40	275	55 min.	380 min.
	Grade 45	45	310	60 min.	410 min.
	<u>ASTM A1018 SS</u> <u>Grade 30</u>	<u>30</u>	<u>205</u>	<u>49 min.</u>	<u>340 min.</u>
	<u>Grade 33</u>	<u>33</u>	<u>230</u>	<u>52 min.</u>	<u>360 min.</u>
	<u>Grade 36</u>	<u>36</u>	<u>250</u>	<u>53 min.</u>	<u>365 min.</u>
	<u>Grade 40</u>	<u>40</u>	<u>275</u>	<u>55 min.</u>	<u>380 min.</u>
	API 5L Grade B	35	241	60	414
	Grade X42	42	290	60	414
	ABS Grades A, B, D, CS, DS	34	235	58–75	400–520
	Grade E ^b	34	235	58–75	400–520

(Continued)

Table 3.1 (Continued)
Approved Base Metals for Prequalified WPSs (see 3.3)

G r o u p	Steel Specification Requirements				
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range	
		ksi	MPa	ksi	MPa
	ASTM A36 (>3/4 in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A131 Grades AH32, DH32, EH32	46	315	64–85	440–590
	Grades AH36, DH36, EH36	51	355	71–90	490–620
	ASTM A441	40–50	275–345	60–70	415–485
	ASTM A501 <u>Grade B</u>	<u>50</u>	<u>345</u>	<u>70 min.</u>	<u>485 min.</u>
	ASTM A516 Grade 65	35	240	65–85	450–585
	Grade 70	38	260	70–90	485–620
	ASTM A529 Grade 50	50	345	70–100	485–690
	Grade 55	55	380	70–100	485–690
	ASTM A537 Class 1	45–50	310–345	65–90	450–620
	ASTM A572 Grade 42	42	290	60 min.	415 min.
	Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
	Grade 55	55	380	70 min.	485 min.
	ASTM A588 ^b (4 in [100 mm] and under)	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A595 Grade A	55	380	65 min.	450 min.
	Grades B and C	60	410	70 min.	480 min.
	ASTM A606 ^b	45–50	310–340	65 min.	450 min.
	ASTM A618 Grades Ib, II, III	46–50	315–345	65 min.	450 min.
II	ASTM A633 Grade A	42	290	63–83	430–570
	Grades C, D (2-1/2 in [65 mm] and under)	50	345	70–90	485–620
	ASTM A709 Grade 36 (>3/4 in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
	Grade 50W ^b	50	345	70 min.	485 min.
	Grade 50S	50–65	345–450	65 min.	450 min.
	Grade HPS 50W ^b	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A710 Grade A, Class 2 (>2 in [50 mm])	50–55	345–380	60–65	415–450
	ASTM A808 (2-1/2 in [65 mm] and under)	42	290	60 min.	415 min.
	ASTM A913 Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
	ASTM A992	50–65	345–450	65 min.	450 min.
	ASTM A1008 HSLAS Grade 45 Class 1	45	310	60 min.	410 min.
	Grade 45 Class 2	45	310	55 min.	380 min.
	Grade 50 Class 1	50	340	65 min.	450 min.
	Grade 50 Class 2	50	340	60 min.	410 min.
	Grade 55 Class 1	55	380	70 min.	480 min.
	Grade 55 Class 2	55	380	65 min.	450 min.
	ASTM A1008 HSLAS-F Grade 50	50	340	60 min.	410 min.

(Continued)

Table 3.1 (Continued)
Approved Base Metals for Prequalified WPSs (see 3.3)

G r o u p	Steel Specification Requirements					
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
II (Cont'd)	ASTM A1011 HSLAS	Grade 45 Class 1	45	310	60 min.	410 min.
		Grade 45 Class 2	45	310	55 min.	380 min.
		Grade 50 Class 1	50	340	65 min.	450 min.
		Grade 50 Class 2	50	340	60 min.	410 min.
		Grade 55 Class 1	55	380	70 min.	480 min.
		Grade 55 Class 2	55	380	65 min.	450 min.
	ASTM A1011 HSLAS-F	Grade 50	50	340	60 min.	410 min.
	ASTM A1011 SS	Grade 50	50	340	65 min.	450 min.
		Grade 55	55	380	70 min.	480 min.
	ASTM A1018 HSLAS	Grade 45 Class 1	45	310	60 min.	410 min.
		Grade 45 Class 2	45	310	55 min.	380 min.
		Grade 50 Class 1	50	340	65 min.	450 min.
		Grade 50 Class 2	50	340	60 min.	410 min.
		Grade 55 Class 1	55	380	70 min.	480 min.
		Grade 55 Class 2	55	380	65 min.	450 min.
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grade 50	50	340	60 min.	410 min.
ASTM A1085		50–70	345–485	65 min.	450 min.	
API 2H	Grade 42	42	289	62–82	427–565	
	Grade 50	50	345	70–90	483–620	
API 2MT1	Grade 50	50	345	65–90	488–620	
API 2W	Grade 42	42–67	290–462	62 min.	427 min.	
	Grade 50	50–75	345–517	65 min.	448 min.	
	Grade 50T	50–80	345–552	70 min.	483 min.	
API 2Y	Grade 42	42–67	290–462	62 min.	427 min.	
	Grade 50	50–75	345–517	65 min.	448 min.	
	Grade 50T	50–80	345–552	70 min.	483 min.	
API 5L	Grade X52	52	359	66 min.	455 min.	
ABS	Grades AH32, DH32, EH32	46	315	64–85	440–590	
	Grades AH36, DH36, EH36 ^b	51	355	71–90	490–620	

(Continued)

Table 3.1 (Continued)
Approved Base Metals for Prequalified WPSs (see 3.3)

Group	Steel Specification Requirements				
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range	
		ksi	MPa	ksi	MPa
III	API 2W	Grade 60	60–90	414–621	75 min. 517 min.
	API 2Y	Grade 60	60–90	414–621	75 min. 517 min.
	ASTM A537	Class 2 ^b	46–60	315–415	70–100 485–690
	ASTM A572	Grade 60	60	415	75 min. 520 min.
		Grade 65	65	450	80 min. 550 min.
	ASTM A633	Grade E ^b	55–60	380–415	75–100 515–690
	ASTM A710	Grade A, Class 2 (≤2 in [50 mm])	60–65	415–450	72 min. 495 min.
	ASTM A710	Grade A, Class 3 (>2 in [50 mm])	60–65	415–450	70–75 485–515
	ASTM A913 ^a	Grade 60	60	415	75 min. 520 min.
		Grade 65	65	450	80 min. 550 min.
	ASTM A1018 HSLAS	Grade 60 Class 2	60	410	70 min. 480 min.
		Grade 70 Class 2	70	480	80 min. 550 min.
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grade 60 Class 2	60	410	70 min. 480 min.
		Grade 70 Class 2	70	480	80 min. 550 min.
ASTM A709	Grade HPS 70W	70	485	85–110 585–760	
IV	ASTM A852		70	485	90–110 620–760
	<u>ASTM A913^a</u>	Grade 70	70	485	90 min. 620 min.

^a The heat input limitations of 5.7 shall not apply to ASTM A913 Grade 60, 65, or 70.

^b Special welding materials and WPS (e.g., E80XX-X low-alloy electrodes) may be required to match the notch toughness of base metal (for applications involving impact loading or low temperature), or for atmospheric corrosion and weathering characteristics (see 3.7.3).

Notes:

- In joints involving base metals of different groups, either of the following filler metals may be used: (1) that which matches the higher strength base metal, or (2) that which matches the lower strength base metal and produces a low-hydrogen deposit. Preheating shall be in conformance with the requirements applicable to the higher strength group.
- Match API standard 2B (fabricated tubes) according to steel used.
- When welds are to be stress-relieved, the deposited weld metal shall not exceed 0.05% vanadium.
- See Tables 2.3 and 9.2 for allowable stress requirements for matching filler metal.
- Filler metal properties have been moved to nonmandatory Annex T.
- AWS A5M (SI Units) electrodes of the same classification may be used in lieu of the AWS A5 (U.S. Customary Units) electrode classification.
- Any of the electrode classifications for a particular Group in Table 3.2 may be used to weld any of the base metals in that Group in Table 3.1.

Anexo 15

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.8

Table 4.8	
Table 3.1, Table 4.9, and Unlisted Steels Qualified by PQR (see 4.8.3)	
PQR Base Metal	WPS Base Metal Group Combinations Allowed by PQR
Any Group I Steel to Any Group I Steel	Any Group I Steel to Any Group I Steel
Any Group II Steel to Any Group II Steel	Any Group I Steel to Any Group I Steel Any Group II Steel to Any Group I Steel Any Group II Steel to Any Group II Steel
Any Specific Group III or Table 4.9 Steel to Any Group I Steel	The Specific PQR Group III or Table 4.9 Steel Tested to Any Group I Steel
Any Specific Group III or Table 4.9 Steel to Any Group II Steel	The Specific PQR Group III or Table 4.9 Steel Tested to Any Group I or Group II Steel
Any Group III Steel to the Same or Any Other Group III Steel or Any Group IV Steel to the Same or Any Other Group IV Steel or Any Table 4.9 Steel to the Same or Any Other Table 4.9 Steel	Steels shall be of the same material specification, grade/type and minimum yield strength as the Steels listed in the PQR
Any Combination of Group III, IV, and Table 4.9 Steels	Only the Specific Combination of Steels listed in the PQR
Any Unlisted Steel to Any Unlisted Steel or Any Steel Listed in Table 3.1 or Table 4.9	Only the Specific Combination of Steels listed in the PQR

Notes:

1. Groups I through IV are found in Table 3.1.
2. When allowed by the steel specification, the yield strength may be reduced with increased metal thickness.

Anexo 16

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.9

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015

Table 4.9
Code-Approved Base Metals and Filler Metals Requiring Qualification per Clause 4

Specification	Base Metal				Matching Strength Filler Metal				Base Metal Thickness, T		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Process	AWS Electrode Specifications ²	Electrode Classification	in	mm	°F	°C	
	ksi	MPa	ksi	MPa								
ASTM A871 Grade 60 Grade 65	60	415	75 min. 80 min.	520 min. 550 min.	SMAW	A5.5	E8015-X E8016-X E8018-X					
	65	450			SAW	A5.23	F8XX-EXXX-XX F8XX-ECXXX-XX					
ASTM A514 (Over 2-1/2 in [65 mm])	90	620	100-130	690-895	GMAW	A5.28 A5.36	ER80S-XXX E80C-XXX E8XTX-XAX-XXX E8XTX-X					
					FCAW	A5.29 A5.36	E8XTX-XC E8XTX-XM E8XTX-AX-XXX E8XTX-XAX-XXX	Up to 3/4	Up to 20	50	10	
					SMAW	A5.5	E10015-X E10016-X E10018-X E10018M	Over 3/4 thru 1-1/2	Over 20 thru 38	125	50	
					SAW	A5.23	F10XX-EXXX-XX F10XX-ECXXX-XX	Over 1-1/2 thru 2-1/2	Over 38 thru 65	175	80	
ASTM A709 Grade HPS 100W [HPS 690W] (Over 2-1/2 in to 4 in [65 mm to 100 mm])	90	620	100-130	690-895	GMAW	A5.28 A5.36	ER100S-XXX E100C-XXX E10TX-XAX-XXX					
					FCAW	A5.29 A5.36	E10XTX-XC E10XTX-XM E10TX-XAX-XXX	Over 2-1/2	Over 65	225	110	
ASTM A710 Grade A, Class 1 ≤ 3/4 in [20 mm]	80-85	550-585	90 min.	620 min.								
ASTM A710 Grade A, Class 3 ≤ 2 in [50 mm]	75-80	515-550	85 min.	585 min.								

(Continued)

Table 4.9 (Continued)
Code-Approved Base Metals and Filler Metals Requiring Qualification per Clause 4

Specification	Base Metal				Matching Strength Filler Metal				Base Metal Thickness, T		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Process	AWS Electrode Specification ²	Electrode Classification	in	mm	°F	°C	
	ksi	MPa	ksi	MPa								
ASTM A514 (2-1/2 in [65 mm] and under)	100	690	110-130	760-895	SMAW	A5.5	E11015-X E11016-X E11018-X E11018M					
	90-100	620-690	105-135	725-930								
ASTM A517					SAW	A5.23	F11XX-EXXX-XX F11XX-ECXXX-XX					
ASTM A709 Grade HPS 100W [HPS 690W] (2-1/2 in [65 mm] and under)	100	690	110-130	760-895	GMAW	A5.28 A5.36	ER110S-XXX E110C-XXX E11TX-XAX-XXX		Up to 3/4	50	10	
ASTM A1043/A1043M Grade 36 Grade 50	36-52 50-65	250-360 345-450	58 min. 65 min.	400 min. 450 min.	FCAW	A5.29 A5.36	E11XTX-XC E11XTX-XM E11TX-XAX-XXX		Over 3/4 thru 1-1/2	125	50	
					SMAW	A5.1 A5.5	E7015 E7016 E7018 E7028 E7015-X E7016-X E7018-X F7XX-EXXX F7XX-ECXXX F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX		Over 1-1/2 thru 2-1/2 Over 2-1/2	175	80	
					SAW	A5.17 A5.23			Over 65	225	110	

(Continued)

Table 4.9 (Continued)
Code-Approved Base Metals and Filler Metals Requiring Qualification per Clause 4

Specification	Base Metal				Matching Strength Filler Metal			Base Metal Thickness, T		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Process	AWS Electrode Specifications ²	Electrode Classification	in	mm	°F	°C
	ksi	MPa	ksi	MPa							
ASTM A1043/A1043M Grade 36	36-52	250-360	58 min.	400 min.	GMAW	A5.18	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Electrodes with the -GS suffix shall be excluded)	Up to 3/4	Up to 20	50	10
Grade 50	50-65	345-450	65 min.	450 min.							
(Cont'd)						<u>A5.36</u>	(Fixed Classification, carbon steel) E70C-6M (Electrodes with the -GS suffix shall be excluded)				
						<u>A5.36</u>	(Open Classification, carbon steel) E7XT15-XAX-CS1 E7XT15-XAX-CS2 E7XT16-XAX-CS1 E7XT16-XAX-CS2 (Electrodes with the -GS suffix shall be excluded)	Over 3/4 Over 20 thru 1-1/2	Over 20 thru 38	125	50
						A5.28	(Electrodes with the -GS suffix shall be excluded) ER70S-XXX E70C-XXX	Over 1-1/2 thru 2-1/2	Over 38 thru 65	175	80
						<u>A5.36</u>	(Open Classification, GMAW-Metal Cored low-alloy steel) E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Electrodes with the -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, and -GS suffix shall be excluded, and electrodes with the -11 suffix shall be excluded for thicknesses greater than 1/2 in [12 mm])	Over 2-1/2	Over 65	225	110
					FCAW	A5.20					

(Continued)

**Table 4.9 (Continued)
Code-Approved Base Metals and Filler Metals Requiring Qualification per Clause 4**

Specification	Base Metal				Process	Matching Strength Filler Metal			Base Metal Thickness, T		Minimum Preheat and Interpass Temperature																
	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range			AWS Electrode Specification ²	Electrode Classification	in	mm	°F	°C																
	ksi	MPa	ksi	MPa																							
ASTM A1043/A1043M Grade 36	36-52	250-360	58 min.	400 min.	FCAW (Cont'd)	A5.36	(Fixed Classification, carbon steel)	Up to 3/4	Up to 20	50	10																
Grade 50	50-65	345-450	65 min.	450 min.			E7XT-1C					Over 3/4 thru 1-1/2	Over 20 thru 38	125	50												
(Cont'd)							E7XT-1M									Over 1-1/2 thru 2-1/2	Over 38 thru 65	175	80								
							E7XT-5C													Over 2-1/2	Over 65	225	110				
							E7XT-5M																				
							E7XT-9C																				
							E7XT-9M																				
							E7XT-12C																				
							E7XT-12M																				
							E70T-4																				
					E7XT-6																						
					E7XT-7																						
					E7XT-8																						
						<i>(Flux Cored Electrodes with the T1S, T3S, T10S, and -GS suffix shall be excluded and electrodes with the T11 suffix shall be excluded for thicknesses greater than 1/2 in [12 mm])</i>																					

(Continued)

Table 4.9 (Continued)
Code-Approved Base Metals and Filler Metals Requiring Qualification per Clause 4

Specification	Base Metal			Matching Strength Filler Metal			Base Metal Thickness, T		Minimum Preheat and Interpass Temperature											
	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		AWS Electrode Specifications ^a	Electrode Classification	in	mm	°F	°C										
	ksi	MPa	ksi	MPa							Process									
ASTM A1043/A1043M	36-52	250-360	58 min.	400 min.	A5.36	(Open Classification, carbon steel) E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 (Flux Cored Electrodes with the T1S, T10S, T10S, and -GS suffix shall be excluded and electrodes with the T11 suffix shall be excluded for thicknesses greater than 1/2 in [12 mm])	Up to 3/4	Up to 20	50	10										
	50-65	345-450	65 min.	450 min.							FCAW (Cont'd)	Over 3/4 thru 1-1/2	Over 20 thru 38	125	50					
																E7XTX-X E7XTX-XC E7XTX-XM	Over 1-1/2 thru 2-1/2	Over 38 thru 65	175	80
											A5.29	Over 2-1/2	Over 65	225	110					

^a A5.36/A5.36M open classifications are listed in Annex U

Notes:

1. When welds are to be stress relieved, the deposited weld metal shall not exceed 0.05% vanadium (see 5.8).
2. When required by contract or job specifications, deposited weld metal shall have a minimum CVN energy of 20 ft-lbs [27.1 J] at 0°F [-20°C] as determined using CVN testing in conformance with Clause 4, Part D.
3. For ASTM A514, A517, and A709, Grade HPS 100W [HPS 690W], the maximum preheat and interpass temperature shall not exceed 400°F [200°C] for thicknesses up to 1-1/2 in [38 mm] inclusive, and 450°F [230°C] for greater thickness.
4. Filler metal properties have been moved to informative Annex T, except for AWS A5.36, see Annex U.
5. AWS ASM (SI Units) electrodes of the same classification may be used in lieu of the AWS A5 (U.S. Customary Units) electrode classification.



**WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS
(BACK)**

Code : WPS-MET-02

Revision : 0

Page: 2 of 2

Date : 18 enero 2019

POSITIONS (QW-405) POSICIONES (QW-405) Position (s) of Groove Posicion (es) de Ranura Welding Progression: Progresion de Soladura Position(s) of Fillet Posicion(es) de Filete Other Otros	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407) Temperature Range Rango de temperatura Time Range Rango de tiempo Other Otros
--	---

PREHEAT (QW-406) PRE CALENTAMIENTO (QW-406) Preheat Temperature, Minimum Temperatura mínima Pre Calentamiento Interpass Temperature, Maximum Temp. Max Interpaso Preheat Maintenance Mant. De Pre Calentamiento Other Otro	GAS (QW-408) GAS (QW-408) <table border="1" style="width:100%"> <tr> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas (es)</th> <th>Mixture (Mezcla)</th> <th>Flow Rate (Gasto)</th> </tr> <tr> <td>Ar/ CO2</td> <td>80% 20%</td> <td>20 -30 SCFH (9.4 - 14.2 l/min)</td> </tr> <tr> <td>Shielding Proteccion</td> <td>Not Used</td> <td>Not used</td> </tr> <tr> <td>Trailing Arrastre</td> <td>Not Used</td> <td>Not used</td> </tr> <tr> <td>Backing Respaldo</td> <td>Not Used</td> <td>Not used</td> </tr> <tr> <td>Other Otros</td> <td>Not Used</td> <td>Not used</td> </tr> </table>	Percent Composition			Gas (es)	Mixture (Mezcla)	Flow Rate (Gasto)	Ar/ CO2	80% 20%	20 -30 SCFH (9.4 - 14.2 l/min)	Shielding Proteccion	Not Used	Not used	Trailing Arrastre	Not Used	Not used	Backing Respaldo	Not Used	Not used	Other Otros	Not Used	Not used
Percent Composition																						
Gas (es)	Mixture (Mezcla)	Flow Rate (Gasto)																				
Ar/ CO2	80% 20%	20 -30 SCFH (9.4 - 14.2 l/min)																				
Shielding Proteccion	Not Used	Not used																				
Trailing Arrastre	Not Used	Not used																				
Backing Respaldo	Not Used	Not used																				
Other Otros	Not Used	Not used																				

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)
 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

Pulsing Current Not applicable **Heat Input (Max.)** None
 Corriente Pulsada Aporte de Calor (Max.)

Tungsten Electrode size and type Not Applicable
 Tamaño de Electrodo de Tungsteno (Pure Tungsten , 2 % Thoriated, etc)

Mode of Metal Transfer For GMAW Spray Arc
 Modalidad de transferencia del metal para GMAW (Spray Arc , Short Circuit Arc, etc)

Other
 Otro

Weld Pass (es) (Capas de soldadura)	Process (Proceso)	Filler Metal (Metal de relleno)		current Type and Polarity (Polar. Tipo)	Amps (Range) (Interv. Amp.)	Wire Feed Speed (Range) Velocidad de Alambre de Alambre (Rango) Pulg./min	Energy or Power (Range)	Volts (Range) (Interv. Volt.)	Travel Speed (Range)	Other e.g. Remarks, Comments, Hot Wire, Addition, Technique, Torch Angle, Etc. (Otros, observaciones, comentarios, tecnicas, angulos de antorcha, etc)
		Classification (Clase)	Diameter (Diámetro)							
1-n	GMAW	ER70S-6	0.03 in (0.8 mm)	DC E(+)	60 -160	51 - 116	---	14 - 26	variable	
1-n	GMAW	ER70S-6	0.03 in (0.9 mm)	DC E(+)	90 -230	116 - 161	---	15 - 27	variable	
1-n	GMAW	ER70S-6	0.04 in (1.0 mm)	DC E(+)	100 -250	250 - 450	---	18 - 25	variable	
1-n	GMAW	ER70S-6	0.04 in (1.2 mm)	DC E(+)	130 -340	161 - 374	---	17 - 30	variable	

Amps and volts range should for each electrode size , and thickness, ect.) (This information may be used listed in a tabular form similar to that show below)

TECHNIQUE (QW-410)
 TECNICA (QW-410)

String or weave bead String or Weave, as required
 Recto u oscilado

Orifice Nozzle, or Gas Cup Size 0.50 in (13.0mm) - 1.0 in (25.4 mm), As required
 Tamaño del orificio/o conexion

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, ect) Grinding and Brushing, As required
 Limpieza inicial y entre pases (Cepillado, Esmerilao etc)

Method of Back Gouging Grinding
 Metodo de biselado posterior

Oscillation Not applicable
 Oscilacion

Contact Tube to Work Distance 0.250 in (6.4 mm)- 0.375 in (9.53 mm)
 Distancia del tubo de contacto a la pieza de contacto

Multiple or Single Pass (Per side) Single or multiple, as required
 Pase unico o multiple (por lado)

Multiple or Single Electrode Single
 Electrodo multiples / unicos

Electrode Spacing Not Applicable
 Espacio entre electrodos

Peening Not Allowed
 Martillado

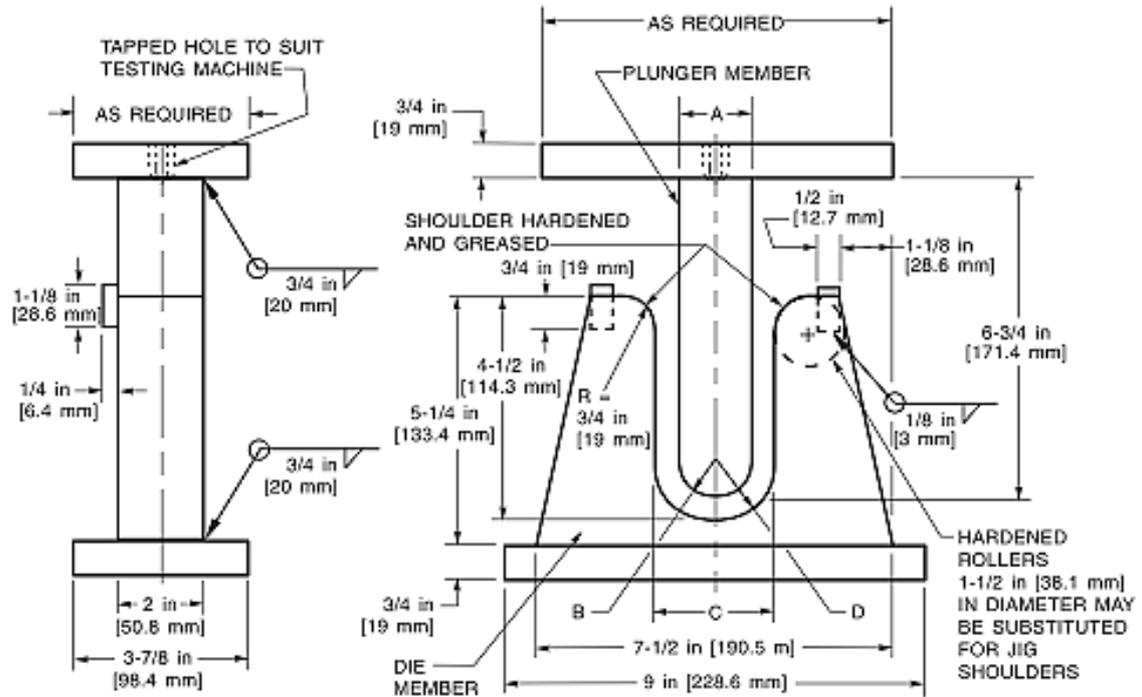
Other QW-410.64 - Use of thermal processes: Not applicable since not welding P-11A/B
 Otro

Anexo 18

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.11

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.1/D1.1M:2015



Specified or Actual Base Metal Yield Strength	A in [mm]	B in [mm]	C in [mm]	D in [mm]
50 ksi [345 MPa] & under	1-1/2 [38.1]	3/4 [19.0]	2-3/8 [60.3]	1-3/16 [30.2]
over 50 ksi [345 MPa] to 90 ksi [620 MPa]	2 [50.8]	1 [25.4]	2-7/8 [73.0]	1-7/16 [36.6]
90 ksi [620 MPa] & over	2-1/2 [63.5]	1-1/4 [31.8]	3-3/8 [85.7]	1-11/16 [42.9]

Note: Plunger and interior die surfaces shall be machine-finished.

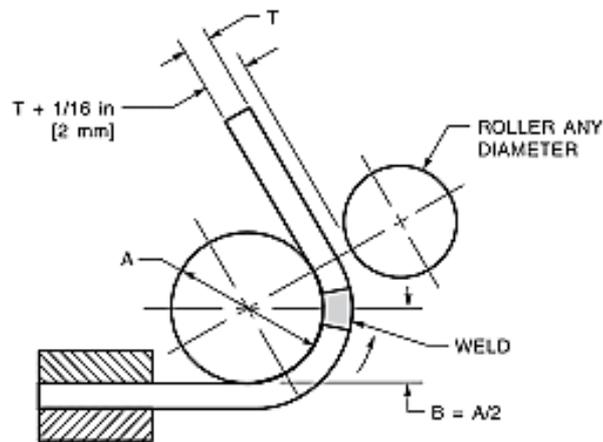
Figure 4.11—Guided Bend Test Jig (see 4.9.3.1)

Anexo 19

Extracto código AWS D1.1/D1.1M:2015 – Tabla 4.12 y Tabla 4.13

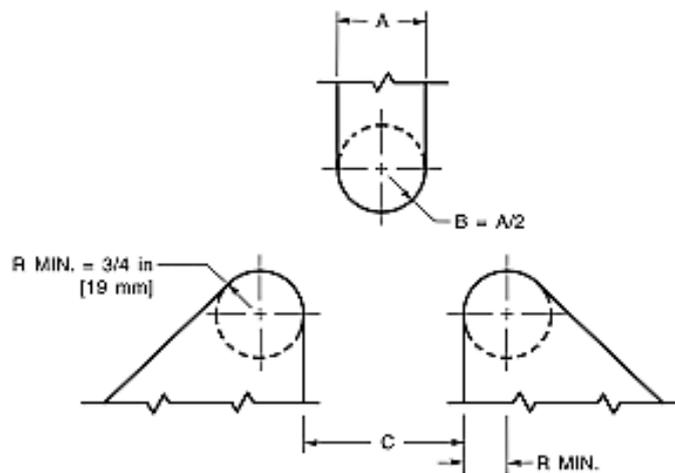
AWS D1.1/D1.1M:2015

CLAUSE 4. QUALIFICATION



Specified or Actual Base Metal Yield Strength, ksi [MPa]	A in	B in	A mm	B mm
50 [345] & under	1-1/2	3/4	38.1	19.0
over 50 [345] to 90 [620]	2	1	50.8	25.4
90 [620] over	2-1/2	1-1/4	63.5	31.8

Figure 4.12—Alternative Wraparound Guided Bend Test Jig (see 4.9.3.1)

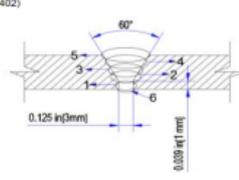


Specified or Actual Base Metal Yield Strength, ksi [MPa]	A in	B in	C in	A mm	B mm	C mm
50 [345] & under	1-1/2	3/4	2-3/8	38.1	19.0	60.3
over 50 [345] to 90 [620]	2	1	2-7/8	50.8	25.4	73.0
90 [620] & over	2-1/2	1-1/4	3-3/8	63.5	31.8	85.7

Figure 4.13—Alternative Roller-Equipped Guided Bend Test Jig
for Bottom Ejection of Test Specimen (see 4.9.3.1)

Anexo 20

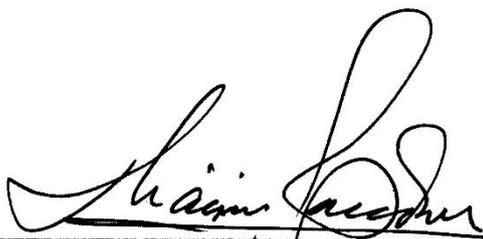
Calificación del Procedimiento de Soldadura - PQR

	PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)	Code: PQR-MAS-02 Page: 1 of 1 Date: 18 enero 2019																																										
Organization Name: METRAIN S.A.C. Nombre de la compañía: METRAIN S.A.C. Procedure Qualification Record N°: PQR-MAS-02 Registro de Calificación de Procedimiento N°: PQR-MAS-02 WPS N°: WPS-MAS-02 Rev. 0 Welding Process(es): GMAW Proceso (s) de Soldadura: GMAW Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic): Semi-Automatic Tipo (Manual, Automatic, Semi-Automatic): Semi-Automatic																																												
JOINTS (QW-402) (JUNTAS QW-402) <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <table border="1" style="font-size: small;"> <caption>TABLE OF VARIABLE ELECTRIC (TABLA DE VARIABLES ELECTRICAS)</caption> <thead> <tr> <th>Pass (Pases)</th> <th>current (Corriente)</th> <th>polarity (Polaridad)</th> <th>Amperes (Amperios)</th> <th>voltage (Voltage)</th> <th>Travel Speed (Velocidad de Avance)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DC</td> <td>E(+)</td> <td>100</td> <td>20</td> <td>12 in/2.15 min</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DC</td> <td>E(+)</td> <td>100</td> <td>22.1</td> <td>12 in/1.45 min</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DC</td> <td>E(+)</td> <td>100</td> <td>21.5</td> <td>12 in/1.50 min</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DC</td> <td>E(+)</td> <td>150</td> <td>21.7</td> <td>12 in/2.10 min</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>DC</td> <td>E(+)</td> <td>100</td> <td>21.7</td> <td>12 in/2.20 min</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>DC</td> <td>E(+)</td> <td>175</td> <td>22.2</td> <td>12 in/1.15 min</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>Groove Design of Test Coupon (For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.) Diseño de Ranura de Muestra de Prueba (Para Calificaciones en Combinación, el espesor de metal de soldadura depositado se registrara para cada metal de aporte o proceso usado.)</p>			Pass (Pases)	current (Corriente)	polarity (Polaridad)	Amperes (Amperios)	voltage (Voltage)	Travel Speed (Velocidad de Avance)	1	DC	E(+)	100	20	12 in/2.15 min	2	DC	E(+)	100	22.1	12 in/1.45 min	3	DC	E(+)	100	21.5	12 in/1.50 min	4	DC	E(+)	150	21.7	12 in/2.10 min	5	DC	E(+)	100	21.7	12 in/2.20 min	6	DC	E(+)	175	22.2	12 in/1.15 min
Pass (Pases)	current (Corriente)	polarity (Polaridad)	Amperes (Amperios)	voltage (Voltage)	Travel Speed (Velocidad de Avance)																																							
1	DC	E(+)	100	20	12 in/2.15 min																																							
2	DC	E(+)	100	22.1	12 in/1.45 min																																							
3	DC	E(+)	100	21.5	12 in/1.50 min																																							
4	DC	E(+)	150	21.7	12 in/2.10 min																																							
5	DC	E(+)	100	21.7	12 in/2.20 min																																							
6	DC	E(+)	175	22.2	12 in/1.15 min																																							
BASE METALS (QW-403) METALES BASE (QW-403) Material Spec. SA-516 Espec. Material: SA-516 Type/Grade, or UNS Number Gr. 70 Tipo/Grado o número UNS: Gr. 70 P-N° 1 Group N° 2 to P-N° 1 Group N° 2 Thickness of Test Coupon 0.625 in (16.0 mm) Espesor de Muestra de Prueba: 0.625 in (16.0 mm) Diameter of Test Coupon None Diametro de Muestra de Prueba: None Maximum Pass Thickness No Welding Pass > 0.50 in (13.0 mm) Maximo espesor de pase: No Welding Pass > 0.50 in (13.0 mm) Other: Welded by both sides Otros: Welded by both sides	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A SOLDADURA (QW-407) Temperature Not performed Temperatura: Not performed Time Not performed Tiempo: Not performed Other Not performed Otros: Not performed																																											
FILLER METALS (QW-404) METALES DE APORTE (QW-404) SFA Specification 5.15 Especificación de SFA: 5.15 AWS Classification ER70S-6 Clasificación de AWS: ER70S-6 Filler Metal F-N° 6 Metal de Aporte N°-F: 6 Weld Metal Analysis A-N° ER70S-6 Analisis Metal Soldadura N°-A: ER70S-6 Size of Filler Metal 0.04 in (1.0 mm) Tamaño del metal de aporte: 0.04 in (1.0 mm) Filler Metal Product Form Bare Solid Forma de producto del metal de aporte: Bare Solid Supplemental Filler Metal Not used Metal de aporte suplementario: Not used Electrode Flux Classification Not Applicable Clasificación electrodo fundente: Not Applicable Flux Type Not Applicable Tipo de fundente: Not Applicable Flux Trade Name Not Applicable Marca comercial del fundente: Not Applicable Weld Metal Thickness 0.625 in (16.0 mm) Espesor del metal de soldadura: 0.625 in (16.0 mm) Other: Alloy elements: Not used Otros: Alloy elements: Not used	GAS (QW-406) GAS (QW-406) Percent Composition (Composición en %) <table border="1" style="font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Gas (es)</th> <th>(Mixture) (Mezcla)</th> <th>Flow Rate (Gasto)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ar / Co2</td> <td>80%-20%</td> <td>24 SCFH (11.3 l/min)</td> </tr> </tbody> </table> Shielding Protection Ar / Co2 Trailing Not Used Arrastre: Not Used Backing Not Used Respaldo: Not Used Other Not Used Otros: Not Used	Gas (es)	(Mixture) (Mezcla)	Flow Rate (Gasto)	Ar / Co2	80%-20%	24 SCFH (11.3 l/min)																																					
Gas (es)	(Mixture) (Mezcla)	Flow Rate (Gasto)																																										
Ar / Co2	80%-20%	24 SCFH (11.3 l/min)																																										
POSITION (QW-405) POSICION(QW-405) Position(s) 3G Posición(s): 3G Weld Progression (Uphill/Downhill) Uphill Progresión de soldadura (para Arriba, para Abajo): Uphill Other: None Otros: None	TECHNIQUE (QW-410) TECNICA (QW-410) Travel Speed See table Above Velocidad de Recorrido: See table Above String or Weave Bead String / Weave Cordón Corrido o de Valven: String / Weave Oscillation Not Applicable Oscilación: Not Applicable Multipass or Single Pass (Per Side) Single Multipasos o Pasos Simple (por lado): Single Single or Multiple Electrodes Single Electrodo(s) Multiple o Single: Single Other: Not Applicable Otros: Not Applicable QW-410.64 - use of thermal processes: Not applicable since not welding P-11A/B																																											
Preheat (QW-406) PRECALENTAMIENTO (QW-406) Preheat Temperature 60 °F (15 °C) Temp. Pre calentamiento: 60 °F (15 °C) Interpass Temperature Not controlled Temp. Entre pasos: Not controlled Other: None Otros: None																																												

TESIS

IMPLEMENTACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) SEGÚN EL CODIGO AWS D1.1/D1.1M: 2015 EN LA EMPRESA METALLURGICAL TRAINING AND INSPECTIONS S.A.C. – 2018

JURADO DE TESIS



Mg. SALCEDO MEZA, Máximo Tomas
CIP. 15140
PRESIDENTE



Dr. RUIZ SANCHEZ, Berardo Beder
CIP. 26627
SECRETARIO



Mg. ABARCA RODRIGUEZ, Joaquín José
CIP. 108833
VOCAL



Dr. José Vicente NUNJA GARCIA
CIP. 51874
ASESOR