



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA, CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y
CONTROL DE CALIDAD DE ESTRUCTURAS
SOLDADAS DE ACUERDO CON AWS D1.1”**

CAISAGUANO VEGA DANIEL ALEX

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2011-04-07

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DANIEL ALEX CAISAGUANO VEGA

Titulada:

**“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA, CALIFICACIÓN
DE SOLDADORES Y CONTROL DE CALIDAD DE ESTRUCTURAS
SOLDADAS DE ACUERDO CON AWS D1.1”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Mario Pástor Rodas
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Raúl Cabrera Funes
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DANIEL ALEX CAISAGUANO VEGA

TÍTULO DE LA TESIS: “DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA, CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y CONTROL DE CALIDAD DE ESTRUCTURAS SOLDADAS DE ACUERDO CON AWS D1.1”

Fecha de Examinación: 2013-03-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Mario Pástor DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Raúl Cabrera ASESOR			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Telmo Moreno
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Daniel Alex Caisaguano Vega

DEDICATORIA

A mi amado país Ecuador. A mi familia, mi mamá, mi papá, mis hermanas y hermanos.

Daniel Caisaguano Vega

AGRADECIMIENTO

A la República del Ecuador, mi patria, mi amor, mi inspiración. A mi familia, mi mamá, mi papá, mis hermanas y hermanos. A mis profesores, amigos y a todos quienes formaron parte de mi vida estudiantil politécnica.

No puedo dejar de reconocer y tener gratitud a mis distinguidos profesores Ing. Mario Pástor, e Ing. Raúl Cabrera de la ESPOCH, y a los generosos y desprendidos señores docentes Ing. Ramiro Valle, e Ing. Jorge Cevallos de la UTA, y al Ing. Carlos Naranjo de la ESPE; quienes en su momento contribuyeron con el gran valor de sus conocimiento, buena voluntad, consejos y hasta seminarios dirigidos para poder culminar el trabajo de tesis, a todos ustedes siempre gracias.

Daniel Caisaguano Vega

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Fundamentos de las estructuras.....	5
2.1.1 <i>Estructuras para edificaciones</i>	5
2.1.1.1 <i>Estructuras aporricadas</i>	5
2.1.1.2 <i>Estructuras de grandes dimensiones</i>	6
2.1.2 <i>Componentes estructurales de la estructura de acero</i>	6
2.1.3 <i>Conexiones de estructuras metálicas</i>	6
2.2 Soldadura.....	7
2.2.1 <i>Procesos de soldadura</i>	7
2.2.2 <i>Soldadura por arco</i>	8
2.2.3 <i>Smaw (Shielded Metal Arc Welding)</i>	8
2.2.3.1 <i>Variables particulares más relevantes</i>	9
2.2.3.2 <i>Especificaciones y clasificaciones de electrodos y metales de aporte</i>	10
2.2.4 <i>Gmaw (Gas Metal Arc Welding)</i>	12
2.2.4.1 <i>Funciones del gas protector</i>	13
2.2.4.2 <i>Equipo de soldadura GMAW</i>	13
2.2.4.3 <i>Tipos de transferencia de metal</i>	14
2.2.4.4 <i>Ventajas</i>	15
2.2.4.5 <i>Desventajas</i>	15
2.2.4.6 <i>Aplicaciones</i>	15
2.3 Códigos, normas y especificaciones.....	16
2.3.1 <i>Definiciones</i>	17
2.3.2 <i>Códigos de diseño estructural</i>	19
2.3.3 <i>Códigos de fabricación y montaje</i>	20
2.3.4 <i>Aplicabilidad de las normas y claves para su interpretación</i>	21
2.3.5 <i>Normas para materiales y su control</i>	22
2.3.5.1 <i>Las especificaciones ASTM</i>	22
2.3.5.2 <i>Especificaciones AWS para consumibles de soldadura</i>	22
2.4 Códigos ANSI/AWS.....	23
2.4.1 <i>Introducción al sistema AWS</i>	23
2.4.2 <i>Código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010</i>	23
2.4.2.1 <i>Estructura del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010</i>	24
2.4.3 <i>Estándar ANSI/AWS A2.4</i>	26
2.4.3.1 <i>Definiciones</i>	27
2.4.3.2 <i>Consideraciones generales</i>	29
2.4.4 <i>Estándar ANSI/AWS A3.0</i>	30
2.4.4.1 <i>Tipos de soldadura</i>	30
2.4.4.2 <i>Tipos de juntas</i>	31
2.4.4.3 <i>Definiciones importantes</i>	32
2.5 Control de calidad.....	33
2.5.1 <i>Definiciones</i>	33
2.5.2 <i>Incidencia de los END en el control de calidad</i>	33
2.5.3 <i>Defectología</i>	34

2.5.3.1	<i>Criterio del instituto internacional de soldadura (IIW)</i>	34
2.5.3.2	<i>Definición de los defectos</i>	34
2.5.4	<i>END requeridos por el código AWS D1.1-2010, para el control de calidad</i>	41
2.5.4.1	<i>Inspección visual (VT)</i>	42
2.5.4.2	<i>Tintas penetrantes (PT)</i>	42
2.5.4.3	<i>Partículas magnéticas (MT)</i>	44
2.5.4.4	<i>Ultrasonido (UT)</i>	46
2.5.4.5	<i>Radiografía industrial (RT)</i>	47
3.	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	
3.1	Variables de procedimientos de soldadura.....	49
3.2	Propósito de las WPS's.....	50
3.3	Objetivo de las WPS's.....	51
3.4	Estudio del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010.....	51
3.4.1	<i>WPS's precalificadas</i>	51
3.4.1.1	<i>Variables que se deben conocer y cumplir para que una WPS sea precalificada</i>	52
3.4.2	<i>Calificación de las WPS's</i>	55
3.4.2.1	<i>Parte A – Requerimientos generales</i>	56
3.4.2.2	<i>Parte B – Especificación de procedimientos de soldadura</i>	57
3.4.2.3	<i>Parte D – Requerimientos del ensayo de impacto Charpy</i>	66
3.5	Procedimientos-guía para preparar las WPS's precalificadas y calificadas.....	67
3.5.1	<i>Esquema general del procedimiento-guía</i>	68
3.5.2	<i>Elaboración del procedimiento-guía para las WPS's precalificada</i>	69
3.5.2.1	<i>Instructivo para el llenado del formato de la WPS precalificada</i>	73
3.5.3	<i>Elaboración del procedimiento-guía para las WPS's calificadas</i>	76
3.5.3.1	<i>Instructivo para el llenado del formato del PQR</i>	84
3.5.3.2	<i>Instructivo para el llenado del formato de la WPS calificada</i>	90
3.6	Escritura de las WPS's de PQR exitosos.....	93
4.	CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE SOLDADURA	
4.1	Variables del personal de soldadura.....	95
4.2	Propósito de las WPQ.....	95
4.3	Objetivo del WPQ.....	96
4.4	Estudio del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010.....	96
4.4.1	<i>Calificación de soldadores</i>	96
4.4.1.1	<i>Parte A – Requerimientos generales</i>	96
4.4.1.2	<i>Parte C – Calificación de habilidad</i>	98
4.5	Procedimientos-guía para preparar la calificación del personal de soldadura.....	105
4.5.1	<i>Esquema general del procedimiento-guía</i>	106
4.5.2	<i>Elaboración del procedimiento-guía para la calificación de la habilidad del soldador y operador de soldadura</i>	107
4.5.2.1	<i>Instructivo para el llenado del formato de WPQR</i>	116
5.	CONTROL DE CALIDAD DE ESTRUCTURAS SOLDADAS	
5.1	Variables de control de calidad.....	118
5.2	Propósito de los procedimientos.....	119
5.3	Objetivo de los procedimientos.....	119
5.4	Estudio del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010.....	119
5.4.1	<i>Fabricación y montaje</i>	120
5.4.2	<i>Inspección</i>	120
5.4.2.1	<i>Parte A – Requerimientos generales</i>	121
5.4.2.2	<i>Parte B – Responsabilidades del contratista</i>	124
5.4.2.3	<i>Parte C – Criterios de aceptación</i>	125
5.4.2.4	<i>Parte D - Procedimientos de ensayos no destructivos – END</i>	130
5.4.2.5	<i>Parte E – Ensayo radiográfico – RT</i>	131

5.4.2.6	<i>Parte F – Ensayo ultrasónico de soldadura de ranura – UT.....</i>	131
5.5	Elaboración del procedimiento-guía para el control de calidad.....	141
5.5.1	<i>Esquema general del procedimiento-guía.....</i>	141
5.5.2	<i>Elaboración del procedimiento-guía para el control de calidad.....</i>	143
5.6	Elaboración de procedimientos-interpretativos de los criterios de aceptación según el código AWS D1.1-2010.....	150
5.6.1	<i>Esquema general del procedimiento-interpretativo.....</i>	150
5.6.2	<i>Procedimiento-interpretativo para los criterios de aceptación de VT, PT, y MT</i>	152
5.6.3	<i>Procedimiento-interpretativo para los criterios de aceptación de UT.....</i>	160
5.7	Elaboración de procedimientos de inspección para ensayos no destructivos-END	166
5.7.1	<i>Esquema general de los procedimiento de inspección.....</i>	166
5.7.2	<i>Elaboración del procedimiento para inspección visual – VT.....</i>	169
5.7.2.1	<i>Instructivo para el llenado del formato de inspección visual.....</i>	173
5.7.3	<i>Elaboración del procedimiento de inspección por tintas penetrantes – PT.....</i>	175
5.7.3.1	<i>Instructivo para el llenado del formato de inspección por tintas penetrantes.....</i>	181
5.7.4	<i>Elaboración del procedimiento de inspección por partículas magnéticas – MT...</i>	184
5.7.4.1	<i>Instructivo para el llenado del formato de inspección por partículas magnéticas</i>	191
5.7.5	<i>Elaboración del procedimiento de inspección por ultrasonido – UT.....</i>	194
5.7.5.1	<i>Instructivo para el llenado del formato de inspección por ultrasonido.....</i>	204
6.	APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS	
6.1	Aplicación de procedimientos.....	206
6.1.1	<i>Estructura de análisis del proyecto.....</i>	206
6.2	Especificación de procedimientos de soldadura – WPS’s.....	210
6.2.1	<i>Aplicación del procedimiento-guía de WPS’s precalificadas.....</i>	210
6.2.2	<i>Aplicación del procedimiento-guía de WPS’s calificadas.....</i>	221
6.3	Calificación del personal de soldadura – WPQ.....	237
6.3.1	<i>Aplicación del procedimiento-guía de calificación del personal de soldadura...</i>	237
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones.....	246
7.2	Recomendaciones.....	247

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Relación tipo de corriente y polaridad.....	9
2	Organizaciones, entidades gubernamentales y privadas que publican normas.....	16
3	Ejemplos de códigos de soldadura.....	17
4	Ejemplo de especificaciones.....	17
5	Ejemplo de estándares.....	18
6	Normas de diseño estructural.....	19
7	Organizaciones que generan normas relacionadas con soldadura.....	20
8	Clasificación de líquidos penetrantes.....	43
9	Relación y clasificación de las posiciones de soldadura.....	57
10	Distribución de parámetros de calificación y producción según la Tabla 4.1, pág. 138 del código AWS D1.1-2010.....	58
11	Resumen de variables de calificación y producción según el código AWS D1.1-2010.....	59
12	Distribución de parámetros de calificación y producción según la Tabla 4.2, pág. 139 del código AWS D1.1-2010.....	61
13	Clasificación de los ensayos mecánicos a realizar para la calificación de una WPS según el código AWS D.1.1-2010.....	65
14	Clasificación de los END a realizar para la calificación de una WPS según el código AWS D1.1-2010.....	80
15	Relación y clasificación de las posiciones de soldadura.....	97
16	Distribución de parámetros de calificación y producción de la Tabla 4.10 del código AWS D1.1-2010.....	98
17	Distribución de parámetros de calificación y producción en la Tabla 4.11 del código AWS D1.1-2010.....	100
18	Clasificación de electrodos en grupos según la Tabla 4.13 del código AWS D1.1-2010.....	102
19	Clasificación de los criterios de aceptación según la especificación 6.13 del código AWS D1.1-2010.....	128
20	Perfiles de soldadura.....	155
21	Reducción permisible de la longitud de la soldadura.....	157
22	Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas estáticamente.....	162
23	Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente.....	163
24	Líquidos penetrantes coloreados de compatibilidad asegurada.....	177
25	Parámetros de soldadura.....	212
26	Parámetros de soldadura.....	223
27	Requerimientos específicos de los tamaños de los perfiles para las alas y las almas de los perfiles.....	226
28	Posibles tipos de cupones y posiciones de calificación para cubrir con los requerimientos de producción.....	227

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Estructura típica de un edificio de acero.....	6
2	Clasificación de los procesos de soldadura.....	7
3	Esquema general de la soldadura GMAW.....	13
4	Esquema general del equipo de soldadura GMAW.....	14
5	Símbolos de soldadura.....	27
6	Normalización de los elementos de un símbolo de soldeo.....	28
7	Tipos de uniones básicas.....	28
8	Aplicación del lado de la flecha y del otro lado.....	29
9	Tipos de juntas.....	32
10	Exceso de penetración.....	35
11	Falta de fusión.....	35
12	Concavidad externa e interna.....	35
13	Mordeduras de borde.....	36
14	Fisura longitudinal.....	37
15	Fisura transversal.....	38
16	Porosidades agrupadas.....	39
17	Porosidades alineadas.....	39
18	Porosidades tipo túnel o alargadas.....	40
19	Inclusiones de escoria de varios tipos.....	41
20	Instrumentos utilizados en inspección visual de soldadura.....	42
21	Kid para inspección con líquidos penetrantes.....	43
22	Esquema de bobina de magnetización.....	44
23	Esquema de un yugo magnético.....	45
24	Esquema de magnetización por puntas.....	45
25	Esquema de magnetización con conductor central.....	45
26	Ensayo con ultrasonido.....	46
27	Consola de mando y cabezal de Rx marca Balteau ®.....	48
28	Discontinuidades de soldadura.....	153
29	Tipos de fisuras.....	153
30	Perfiles de soldadura.....	155
31	Indicaciones de clase R para conexiones tubulares.....	164
32	Indicación clase X para conexiones tubulares.....	165
33	Primera posición de magnetización.....	188
34	Segunda posición de magnetización.....	189
35	Esquema de distancias de inspección de soldadura.....	199
36	Movimientos de barrido del palpador.....	201
37	Pierna de trayecto ultrasónico.....	204
38	Esquema de la estructura metálica de la Platinum Plaza Club.....	206
39	Esquema de las vigas de mayor luz.....	207
40	Esquema de las vigas principales y secundarias de la estructura metálica de la Platinum Plaza Club & Condominio.....	208
41	Esquema del pórtico crítico de la estructura metálica de la Platinum Plaza Club & Condominio.....	209
42	Vigas principales del pórtico crítico.....	209
43	Vigas secundarias del pórtico crítico.....	210
44	Conexiones del pórtico crítico a realizarse en el taller.....	211
45	Diseño de la junta precalificada para las almas de los perfiles del pórtico crítico...	216
46	Diseño de la junta precalificada para las alas de los perfiles del pórtico crítico...	216
47	Conexiones del pórtico crítico a realizarse en el campo.....	221
48	Tipo de cupón y posición de calificación de la WPS 2.1.....	228

49	Localización de los especímenes sobre el cupón.....	229
50	Tamaño del espécimen de tensión de sección reducida.....	229
51	Tamaño de los especímenes de doblado de cara y de raíz.....	230
52	Conexiones del pórtico crítico a realizarse en el taller.....	237
53	Cupones de ensayo.....	240
54	Especificaciones del ensayo de doblado.....	241

SIMBOLOGÍA

pulg:	Pulgadas
pág.	Página
Su:	Resistencia última a la rotura
MHz:	Mega Hertz
dB:	Decibel
a:	nivel de indicación o registro
b:	nivel de referencia
c:	corrección o factor de atenuación
d:	clasificación de indicación

LISTA DE ABREVIACIONES

AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American welding society)
ASNT	Sociedad americana de pruebas y materiales (The american society for testing and materials)
ISO	Organización internacional para la normalización (International standard)
INEN	Instituto ecuatoriano de normalización
ASME	Sociedad americana de ingenieros mecánicos (American society of mechanical engineers)
WPS	Especificación de procedimiento de soldadura (Welding procedure specification)
PQR	Registro de calificación del procedimiento (Procedure qualification record)
WPQR	Registro de calificación de la habilidad del soldador (Welder performance qualification record)
WQR	Registro de calificación del soldador (Welder qualification record)
CWI	Inspector de soldadura certificado (Certified welding inspector)
CWB	Buro canadiense de soldadura (Canadian welding bureau)
END	Ensayos no destructivos
VT	Inspección Visual (visual testing)
PT	Líquidos Penetrantes (penetrant testing)
MT	Partículas Magnéticas (magnetic testing)
UT	Ensayo Ultrasónico (ultrasonic testing)
PJP	Junta de penetración parcial (partial joint penetration)
CJP	Junta de penetración completa (complete joint penetration)
PWHT	Tratamiento térmico post-soldadura (post weld heat treatment)
CVN	Ensayo de impacto Charpy (Charpy V-notch test)
ZAT	Zona afectada térmicamente (heat-affected zone)
SPCC	Sistema de procedimientos de control de calidad
SMAW	Soldadura por arco metálico protegido (shielded metal arc welding)
GMAW	Soldadura por arco metálico con protección gaseosa (gas metal arc welding)
SAW	Soldadura por arco sumergido (submerged arc welding)
GTAW	Soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa (gas tungsten arc welding)
FCAW	Soldadura por arco con electrodo tubular con o sin protección gaseosa (flux core darc welding)
EGW	Soldadura por electrogas (electrogas welding)
M:	Mordedura

F:	Fisura
CR:	Cráter
CP:	Colonia de poros
EyR:	Esmerilar y rellenar
VP:	Viga principal
VPR:	Viga principal reforzada
VPR-R:	Viga principal reforzada-reforzada
CM:	Columna
VS:	Viga secundaria
CD:	Corriente directa
CA:	Corriente alterna
PD:	Polaridad directa
PI:	Polaridad invertida
EP:	Electrodo positivo

RESUMEN

Este trabajo, Desarrollo de Procedimientos de Soldadura, Calificación de Soldadores y Control de Calidad de Estructuras de acuerdo con AWS D1.1 surge de la necesidad de saber manejar una normativa en la fabricación y montaje de estructuras de acero.

Se involucra el desarrollo de una metodología de comprensión de las especificaciones del código, tomando en cuenta un agrupamiento de variables. Además, se incluye la interpretación de las referencias, tablas y/o figuras que se necesitan.

Se estudiaron tres temas del código AWS D1.1-2010; procedimientos de soldadura, habilidad del personal de soldadura y control de calidad de estructuras de acero. Con esta información se desarrollaron procedimientos-guía de: elaboración de WPS's precalificados y calificados, calificación al soldador y operador de soldadura, y un sistema de procedimientos de control de calidad, esta última contiene además los procedimientos de inspección de los métodos de VT, PT, MT, y UT, y las interpretaciones de los criterios de aceptación correspondientes.

Posteriormente se presentan instructivos de llenado de los formatos requeridos por el código, entre los cuales constan los formatos de: WPS precalificado, PQR, WPS calificado, WPQR, y las técnicas de END (VT, PT, MT y UT). Finalmente se presenta con un ejemplo la aplicabilidad de los procedimientos-guía de: WPS's precalificados y calificados, y calificación de la habilidad del personal de soldadura, incluyendo los formatos correspondientes.

Se recomienda seguir la directriz propuesta en este proyecto, o sea, primero revisar el estudio del código, luego los procedimientos-guía, y finalmente los instructivos de llenado de los formatos.

ABSTRACT

This work, Development of Welding Procedures, Qualification of Welders and Quality Control Structures according to AWS D1.1 arises from the need to know how to handle a regulation in the manufacture and assembly of steel structures.

It involves the development of a methodology for understanding the code specification, taking into account a grouping of variables. It also includes the interpretation of the references, tables and / or figures that are needed.

Three subjects were studied AWS D1.1-2010 code: welding procedures, soldering ability of staff and quality control of steel structures. With this information we developed procedures–guide: preparation of WPS’s prequalified and qualified, the welder qualification and welding operated, and a system of quality control procedures, the latter also contains inspection the procedures for VT, PT, MT, and UT methods and the interpretation of the relevant acceptance criteria.

Subsequently carried instructions for filling in the formats required by the code, including formats consist of: prequalified WPS, PQR, WPS qualified, WPQR and END techniques (VT, PT, MT, and UT). Finally we present with an example the applicability of procedures-guide: WPS’s prequalified and qualified, and qualification of welding personnel skill, including the corresponding formats.

It is recommended to follow the guidelines proposed in this project, that is, first review the study of the code, then the procedures–guide, and finally filling instructional formats.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La soldadura se ha constituido en uno de los procesos de fabricación más utilizados para la unión de elementos estructurales. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas, la soldadura sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras como puentes, edificios y barcos. Actualmente no es raro ver soldaduras de campo para vigas continuas y traveses de puentes, o para edificios de 50 o más pisos. Con un diseño adecuado, una elección correcta del material y de la técnica de soldadura y una buena mano de obra, el uso de soldadura puede proporcionar conexiones confiables y económicas (BRESLER, 1970).

La soldadura de arco eléctrico es la más utilizada en la construcción de estructuras de acero. Los factores que más influyen en la calidad y en la resistencia estática de la soldadura de arco eléctrico son el tipo y característica del electrodo utilizado, la intensidad y voltaje de la corriente eléctrica, las condiciones de las partes a unir, y la habilidad del operador para conseguir la adecuada fusión del metal base y del metal de aportación (ARELLANO, 1998). De acuerdo a Brockenbrough las conexiones soldadas se usan a menudo debido a la simplicidad de diseño, menos partes, menos material y disminución en el manejo de taller y en las operaciones de fabricación. Una soldadura hecha apropiadamente tiene la penetración requerida y no es frágil (BROCKENBROUGH, 1970).

Las juntas precalificadas, los procedimientos de soldadura y los procedimientos para calificar a los soldadores están cubiertos por la norma AWS D1.1, (Structural Welding Code Steel), de la American Welding Society. Los tipos comunes de soldadura con aceros estructurales destinados a soldeo se hace según las especificaciones de la AWS, con la seguridad de que se obtendrá una buena conexión (BROCKENBROUGH, 1970). De acuerdo a Pástor todos los metales son soldables siempre que se apliquen el

procedimiento y la técnica adecuada. Si el ingeniero y el soldador conocen la composición, la estructura y entienden la influencia de estos factores sobre las propiedades del metal, estarán en posibilidades de diseñar y hacer mejores soldaduras (PÁSTOR, 2002).

En varias Universidades y Escuelas Politécnicas del País existen tesis afines a la soldadura como área de investigación, por ejemplo: en la ESPOL se ha desarrollado la tesis denominada “Calificación de Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores en Procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al código AWS D1.1 para aceros estructurales” (CHAN, 2005). En la EPN se han investigado estos temas: “Cálculo y Análisis del Régimen de Soldadura para el proceso SMAW en aceros al carbono y aleados y la implementación del Software de Aplicación” (HIDALGO, 2007), “Análisis Técnico-Económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios” (AGUIRRE, 2008), y “Optimización de los Procesos en la Construcción de Estructuras Metálicas de Edificios” (BONILLA, 2006). También en la ESPE con el tema: “Implementación de un Sistema de Inspección para Control de Calidad de Soldaduras en Estructura Metálica con el uso de END para la empresa INENDEC” (VILLACRÉS, 2009)

En la actualidad la información que se posee sobre procedimientos-guía para la utilización del código AWS D1.1-2010 (AWS D1, 2010), es muy limitada, y los estudios disponibles que se han realizado no especifican una metodología de utilización del código AWS D1.1-2010 para soldaduras de estructuras de acero.

Esta investigación pretende comprender el funcionamiento del código AWS D1.1-2010 en función de las variables que se utiliza, y de este modo determinar una metodología para utilizar el código de una manera adecuada, a través del desarrollo de procedimientos-guía con el fin de conocer cuál es la importancia de su utilización.

1.2 Justificación

Las construcciones estructurales de acero abarcan cada vez más el mercado inmobiliario. Las soldaduras de las conexiones estructurales han desplazado a las conexiones atornilladas, y están enmarcados bajo la normativa AWS D1.1 que toma en

cuenta aspectos como: la aplicación de procedimientos precalificados que ahorra el tiempo de calificación del procedimiento, tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, el diseño de la unión, el metal base, el metal de aporte, la protección contra la acción atmosférica, la posición de la soldadura, las características eléctricas con las cuales se debe soldar y la técnica para realizar el cordón, o sea, el proceso de soldadura con lo cual se consigue que las conexiones soldadas resultantes cumplan satisfactoriamente con las especificaciones del diseño de la junta.

La necesidad de entender la importancia de la normativa correspondiente es fundamental para poder producir estructuras con soldaduras de buena calidad tomando en cuenta variables como: La calificación de soldadores, su calificación permite asegurar que va a cumplir con las especificaciones. La verificación visual detecta fallas superficiales como grietas, cráteres, fusión incompleta o penetración inadecuada de la unión. La verificación ultrasónica inspecciona la parte interna de la soldadura, y refleja la discontinuidad en proporción a su efecto sobre la integridad de la soldadura. La verificación de espesores del metal base se debe hacer antes del proceso de soldadura, con lo cual se determina la necesidad o no de un precalentamiento. Para evitar la presencia del fenómeno físico-químico de corrosión se debe realizar la verificación de espesores y adherencia de pintura. Abarcando así la verificación y control completa de la estructura.

Haciendo un análisis de la importancia de saber manejar una normativa es necesario incrementar los conocimientos correspondientes. Por medio de éste estudio, se obtendrá información valiosa que contribuirá a la comprensión y aplicación adecuada del código AWS D1.1-2010.

Con un entendimiento adecuado y la habilidad de manejar la normativa, el presente trabajo será un aporte técnico en el ambiente laboral. La información que se obtenga ayudará a personas que trabajan en la construcción de estructuras metálicas y dará resultados confiables de cumplir con todas las estipulaciones mencionadas, además se profundizará el conocimiento sobre soldaduras en estructuras. En lo personal, se aplicarán y reforzarán los conocimientos aprendidos en las aulas, sobre la metalurgia y las estructuras en materias del área de materiales como soldadura y END, y por medio de la investigación se tendrán conocimientos más profundos sobre el tema.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Desarrollar una metodología para comprender el código AWS D1.1-2010 de una manera adecuada y poder realizar procedimientos-guía de aplicación.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Desarrollar procedimientos-guía para:

- La elaboración de procedimientos de soldadura precalificados
- La calificación de procedimientos de soldadura
- La calificación de la habilidad del personal de soldadura
- Para el control de calidad
- La aplicación de técnicas de ensayo no destructivos

Desarrollar instructivos para el llenado de los formatos de:

- Los procedimientos de soldadura precalificados y calificados
- El registro de la habilidad del personal de soldadura
- Las técnicas de ensayo no destructivo

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos de las estructuras

De acuerdo a Aguirre Chistian en su libro “Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios”, menciona que la estructura de un edificio es el esqueleto que soporta todas las cargas que inciden sobre él, debido a todos los factores y causas que inciden sobre el edificio produciendo deformaciones y que no son de la misma naturaleza. Las cargas van variando a lo largo del día, del año y del tiempo en general, por tanto un edificio debe tolerar modificaciones en su distribución, en los revestimientos y puede también, que en algún momento cambie el uso e inclusive se den movimientos sísmicos o del terreno.

2.1.1 Estructuras para edificaciones. Los elementos básicos de una estructura ordinaria son: la base y la cubierta, incluidos todos los elementos de apoyo horizontal; columnas y muros, los mismos que actúan como soportes verticales y los arriostramientos o conexiones rígidas que sirven para dar la estabilidad a la estructura.

La estructura de acero característica es la de entramados con nudos articulados, con vigas simplemente apoyadas o continuas. Los edificios generalmente son de tres tipos de estructura: con paredes soportantes, estructuras aporticadas y estructuras de grandes dimensiones.

2.1.1.1 Estructuras aporticadas. Son más comunes y se constituyen por vigas, columnas y sistemas de arriostramientos. En el caso de edificios pequeños, se utilizan secciones de lámina delgada doblada en frío y en edificios altos se utilizan perfiles laminados en caliente o secciones armadas con placas soldadas. Se utilizan normalmente tres clases de uniones de vigas y columnas:

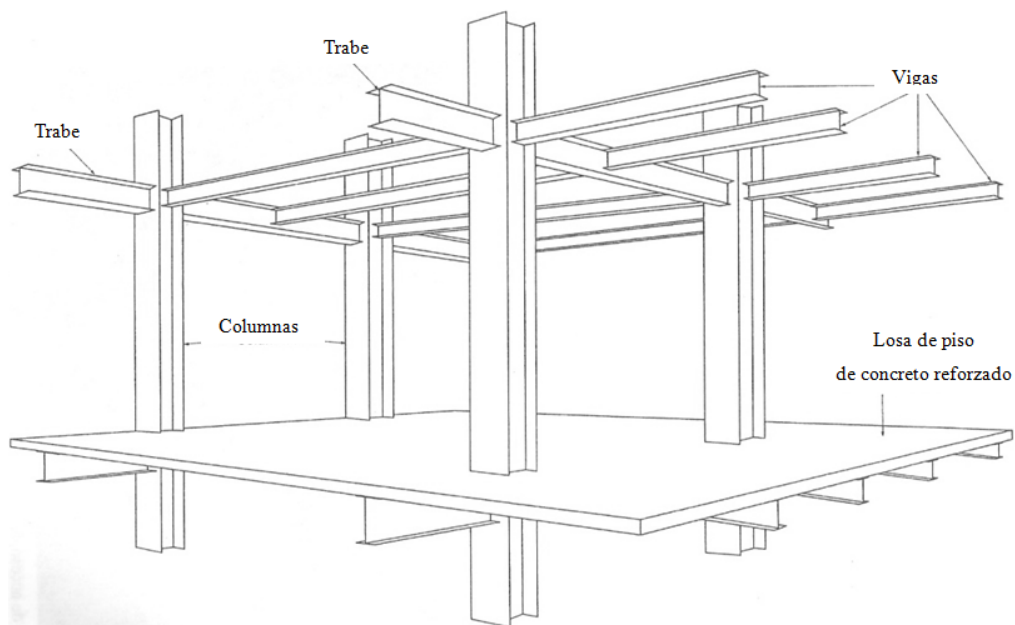
- Uniones rígidas, formando marcos rígidos.
- Uniones simples, solo transmiten fuerzas cortantes.
- Uniones elásticas, de comportamiento intermedio formando marcos semirrígidos.

2.1.1.2 Estructuras de grandes dimensiones. Se utilizan las vigas armadas construidas a partir de placas dobladas y soldadas que forman perfiles. Se utilizan para cubrir grandes áreas que soportan cargas considerables, mientras que celosías de perfiles T, L o C sirven para cargas menores.

2.1.2 Componentes estructurales de la estructura de acero. Las estructuras de acero para edificios de varios pisos se los hace en base a entramados de acero apoyados sobre columnas de acero, este tipo de estructuras puede montarse hasta grandes alturas, a menudo es mencionado como construcción de vigas y columnas o como sistema de pórticos rígidos.

En la construcción en base a pórticos rígidos, la estructura se conforma de columnas espaciadas a 5, 6, 7.5 y 9.5 m, vigas principales y vigas secundarias armadas entres sí en ambas direcciones, en cada nivel de piso.

Figura 1. Estructura típica de un edificio de acero



Fuente: AGUIRRE, Christian. Análisis Técnico-Económico entre Proyectos de Construcción de Estructura Metálica y Hormigón Armado para Edificios. Tesis. EPN. 2008

2.1.3 Conexiones de estructuras metálicas. El diseño de una junta, ya sea de unión entre vigas o entre columnas o viga columna, debe ser diseñado y verificado. En el código AISC se menciona las posibilidades de varios diseños de juntas, existen

básicamente 3 métodos de unión para elementos estructurales los cuales son: soldadura, pernos y remaches. De los métodos antes mencionados el más utilizado en la actualidad es la conexión por medio de soldadura, a continuación se presenta los tipos de conexiones de estructuras de acero.

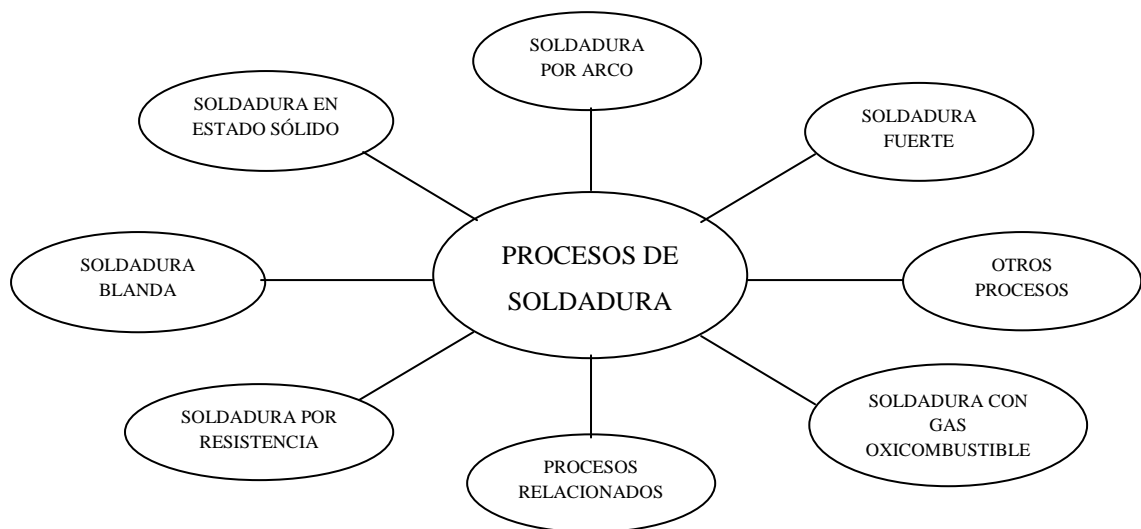
- Unión columna-columna.
- Unión viga-viga.
- Unión columna-viga principal.
- Unión viga principal-viga secundaria.
- Unión viga terciaria-vigas principal y secundaria (AGUIRRE, 2008).

2.2 Soldadura

Soldadura (Weld). La coalescencia localizada de metales o no metales producidas por el calentamiento de los materiales a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión solamente y con o sin uso de materiales de aporte (PÁSTOR, 2002).

2.2.1 Procesos de soldadura. Existe una gran variedad de procesos de soldadura, varios métodos y técnicas de aplicación y una extensa cantidad y variedad, en constante aumento, de metales base y de aporte, por lo que una revisión de tales procesos necesariamente resulta incompleta (PÁSTOR, 2002).

Figura 2. Clasificación de los procesos de soldadura



Fuente: PÁSTOR, Mario. Introducción a la Metalurgia de la soldadura. ESPOCH. 2002

Procesos de soldadura considerados por el código AWS D1.1-2010:

- SMAW - Soldadura de arco con electrodo revestido.
- SAW - Soldadura de arco sumergido.
- GMAW - Soldadura de arco con electrodo metálico y gas de protección.
- FCAW - Soldadura de arco con electrodo de corazón de fundente.
- GTAW - Soldadura de arco con electrodo de tungsteno.
- ESW - Soldadura con electro-escoria.
- EGW - Soldadura con electro-gas.
- Soldadura de pernos (Stud Welding).

Debido a que en este trabajo se tratarán específicamente los procesos SMAW, GMAW y lo que involucra sus aspectos técnicos, de producción, metalúrgicos, económicos y de otra índole, las consideraciones de este capítulo se limitan a los dos procesos, que son abordados desde los puntos de vista más estrechamente relacionados con la inspección de soldadura.

2.2.2 Soldadura por arco. En la soldadura por arco, el intenso calor que se necesita para fundir el metal es producido mediante un arco eléctrico, el mismo que se forma entre la pieza de trabajo y un electrodo, el electrodo generalmente es un alambre o varilla especial.

El arco eléctrico. El arco se forma cuando se produce una descarga de corriente elevada entre (19 y 2000 amperios) y de baja tensión (entre 10 – 50 voltios). La corriente de soldadura que pasa a través del aire (de gran resistencia) genera un calor muy intenso en el arco el cual puede ser de 3200 a 5500 °C.

2.2.3 Smaw (Shielded Metal Arc Welding). De acuerdo a Chan Angélica y Minilo Carlos en sus libros “Calificación de procedimientos de soldadura, operadores y soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al código AWS D1.1 para aceros estructurales” e “Inspectores de soldadura AWS QC1:2007” correspondientemente, se realiza la siguiente mención:

Descripción del proceso SMAW. Se utiliza un arco eléctrico como fuente de energía para fundir y unir metales y aleaciones. En éste proceso el arco es producido entre la pieza a soldar y un electrodo consumible que es el elemento que transporta la corriente. Se utiliza el calor del arco eléctrico para llevar la pieza de trabajo y un electrodo consumible al estado de fusión.

Descripción del equipo de soldadura. La máquina de soldar es la fuente de energía eléctrica que establece un circuito cerrado. Se utilizan dos cables, uno para conectar el porta electrodo a una de las terminales de la máquina (cable o terminal del electrodo), el otro cable conecta a la pinza de tierra (cable de tierra o de la pieza de trabajo).

2.2.3.1 Variables particulares más relevantes:

Características eléctricas del proceso de soldadura por arco:

- La soldadura puede ser hecha con CD o CA. El tipo específico de corriente utilizada influye en el rendimiento del electrodo.

Tabla 1. Relación tipo de corriente y polaridad

Tipo de Corriente	Tipo de Polaridad	Terminal (+)	Terminal (-)
CD	Polaridad directa (PD)	Cable de tierra	Cable del electrodo
	Polaridad inversa (PI)	Electrodo	Tierra (pieza de trabajo)
CA	No aplica	----	----

Fuente. Autor

- Caída de voltaje. Si se usa CA, la caída de voltaje en los cables es menor.
- Baja corriente. La CD ofrece mejores características de operación y un arco más estable.
- Espesor del metal. La CD se puede usar para soldar láminas y también secciones gruesas. Las condiciones del arco en los niveles de corriente bajos requeridos para materiales delgados son más estables cuando se usa CD.
- Inicio del arco. Con CD el encendido del arco es más fácil.
- Longitud del arco. La soldadura con arco corto (bajo voltaje de arco) es más fácil con CD que con CA.
- Desviación o sopleo del arco. La desviación del arco es un problema frecuente cuando se usa CD y es un problema significativo cuando se suelda acero ferrítico a causa de los campos magnéticos que rodean al arco.

- Existen curvas típicas de salida voltaje-amperaje de las fuentes de potencia tanto de CD como de CA, estas curvas pueden ser de voltaje o corriente constante.
- La fuente de potencia para el proceso SMAW debe ser del tipo de corriente constante, porque el cambio en la corriente es menor para un cambio dado en el voltaje del arco (longitud del arco), debido a la pendiente de la curva voltaje-amperaje (dentro del intervalo de soldadura).
- La corriente constante ayuda en el arranque de la soldadura.
- El voltaje constante evita que el electrodo se pegue en el pozo de soldadura.
- Las fuentes de voltaje constante requieren mantener la longitud del arco constante.
- Las curvas voltaje-amperaje más planas (voltaje constante) permiten mantener un control más preciso del tamaño del pozo de soldadura (cantidad de metal de aporte que se deposita), debido a que permite al soldador variar la corriente de soldadura dentro de un intervalo específico con solo modificar la longitud del arco.
- Para el soldador es difícil mantener la longitud del arco constante.

Características metalúrgicas del proceso de soldadura por arco:

- El metal líquido en el pozo es producido por la contribución del metal base y el metal de aporte.

2.2.3.2 Especificaciones y clasificaciones de electrodos y metales de aporte. Un electrodo consumible debe ser diseñado para que conduzca eficientemente la corriente, para suministrar el metal de aporte y sustancias protectoras del metal en el pozo de soldadura.

Electrodos revestidos:

- Se produce sobrecalentamiento debido a la elevada resistividad y la reducida sección transversal del material del electrodo. El sobrecalentamiento excesivo causa deterioro irreversible del revestimiento.
- El principio clave de este proceso es la protección, la cual se obtiene por la descomposición del recubrimiento del electrodo en el arco. En los recubrimientos de los electrodos se incorporan ciertas sustancias químicas para mantener el arco estable y consistente.
- En el extremo del electrodo la máquina de soldar entrega la energía en la cantidad y el tipo correctos.

Principales funciones del recubrimiento:

Función eléctrica:

- La creación de una atmosfera inerte.
- Hace más fácil el salto del arco.
- Ayuda a mantener el arco.
- Regula la profundidad de penetración.
- Afecta a la longitud del arco y al voltaje de trabajo.

Función física:

- La formación de una película de escoria de endurecimiento rápido, que protege la zona fundida de la soldadura y ayuda a darle forma.
- Controla la posición de aplicación en la que puede usarse el electrodo durante la soldadura.
- La naturaleza del revestimiento determina la viscosidad de la escoria líquida y el espesor del revestimiento
- Acción mecánica de los gases desprendidos por el revestimiento en el transporte de las gotas fundidas.
- La viscosidad de las escorias en la soldadura permite la obtención de depósitos en todas las posiciones y la protección total del metal fundido.

Función metalúrgica:

- La adición de elementos al metal de soldadura, a veces agrega agentes de aleación o restaura los elementos perdidos.
- La adición de desoxidantes o limpiadores para refinar la estructura granular del metal de soldadura.
- Los materiales de recubrimiento de los electrodos permiten lograr en forma automática una acción de limpieza y desoxidante en el metal fundido.

Otras funciones:

- Mejora el aspecto de la soldadura.
- Reduce la emisión de chispas.
- Sirve de aislante al alambre que constituye el núcleo del electrodo.

Clasificación de los revestimientos:

1. Revestimientos oxidantes. El metal fundido retiene gran cantidad de oxígeno o de óxido de hierro.
2. Revestimientos ácidos.
3. Revestimientos de óxido de titanio (rutílicos). Estos electrodos permiten realizar soldaduras de muy buen aspecto con buenas características mecánicas, presentan la ventaja de dar una gran estabilidad al arco y facilitan la ejecución de soldaduras en todas las posiciones.
4. Revestimientos celulósicos. Constituidos en base a productos volátiles. Estos electrodos producen una escoria poco voluminosa. El metal depositado es afinado, carece de oxígeno, pero contiene gran proporción de hidrógeno. Los electrodos celulósicos se emplean sobre todo cuando se pretende conseguir cierta penetración de la soldadura.
5. Revestimientos básicos (ciertos electrodos forman la clase de los llamados bajos en hidrógeno). Los electrodos básicos depositan un metal puro con inclusiones dispersas y estructura fina, que posee elevada capacidad de deformación, alargamientos del 30% y una resistencia de rotura media alta.

Electrodos para aceros al carbono. La designación AWS A5.1 para una soldadura está formado por una serie de 4 dígitos que lleva como prefijo la letra E que indica que se emplea en la soldadura eléctrica. Los números que van a la izquierda de los dos últimos dígitos, multiplicados por 1000, dan la resistencia mínima a la tensión, en lb/plg^2 , del metal depositado. El dígito junto al último número indica las características de la fuente de energía, y el último dígito el tipo de escoria, tipo de arco, penetración, presencia de polvo de hierro.

Materiales base. Si la pieza de trabajo es delgada y ligera se pondrá muy caliente porque ofrece gran resistencia al paso de la corriente (CHAN, 2005) (MINILO, 2007).

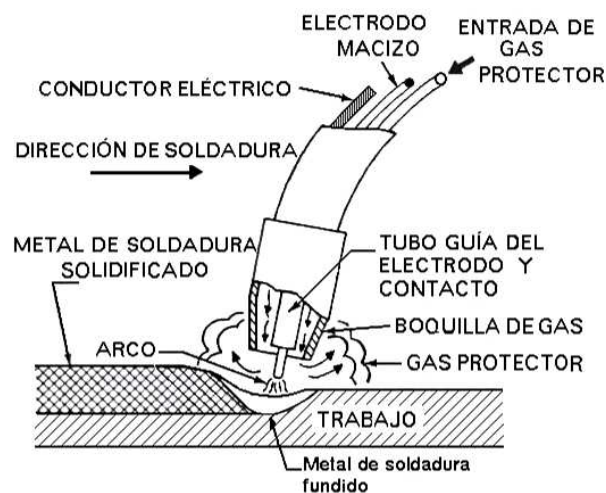
2.2.4 Gmaw (Gas Metal Arc Welding). De acuerdo a Bonilla Galo en su libro “Optimización de los procesos en la construcción de estructuras metálicas de edificios”, menciona que la soldadura con arco metálico y gas tiene como características principales el uso de gas de protección y la alimentación continua de material de aporte

a velocidad constante predeterminada. La fusión se produce por el calentamiento producido por el arco que se genera entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. La protección del arco se obtiene mediante el uso de gas suministrado en forma externa que puede ser inerte o activo.

2.2.4.1 Funciones del gas protector:

- Creación de una atmósfera que protege el metal líquido de la acción del oxígeno e hidrógeno del aire.
- Ayuda a estabilizar el arco.

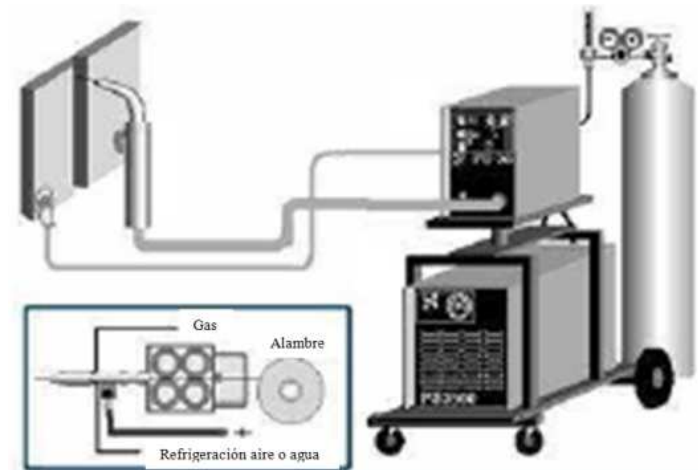
Figura 3. Esquema general de la soldadura GMAW



Fuente: CHAN, Angélica. Calificación de procedimientos de soldadura, operadores y soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al código AWS D1.1 para aceros estructurales. Tesis. ESPOL. 2005

2.2.4.2 Equipo de soldadura GMAW. El equipo básico para este tipo de soldadura debe ser una máquina soldadora que posea la característica voltio-amperio plana (voltaje constante), y además cuenta con: un alimentador de alambre – electrodo que impulsa automáticamente el mismo hacia el charco de soldadura a una velocidad constante previamente seleccionada, una pistola la cual permite la salida del electrodo y del gas de protección, un contenedor del gas para la protección.

Figura 4. Esquema general del equipo de soldadura GMAW



Fuente: BONILLA, Galo. Tesis. EPN. 2006

2.2.4.3 Tipos de transferencia de metal. El voltaje, amperaje y tipo de gas de protección, determinan la manera en la cual se transfiere el metal desde el alambre-electrodo hacia el charco de soldadura. Existen tres tipos de transferencia del metal que son: cortocircuito o por inmersión, spray o por aspersión, globular y por pulsos.

Cortocircuito (por inmersión). En cortocircuito la deposición de metal se da cuando el electrodo toca al metal base, lo cual produce un calentamiento y fusión del alambre electrodo en una pequeña longitud así como su posterior desprendimiento. Esta transferencia metálica se logra con el uso de dióxido de carbono como gas de protección o una mezcla entre dióxido de carbono y argón, además se necesitan voltajes y corrientes bajos.

Rocío (spray o aspersión). La deposición por rocío tiene como característica que el metal es transportado a altas velocidades en partículas muy finas a través del arco, aquí las fuerzas electromagnéticas son lo suficientemente fuertes para desprender las pequeñas gotas del electrodo. En este tipo de transferencia se usa argón y los voltajes y corrientes son elevados.

Transferencia globular. En la transferencia globular las gotas de metal de aporte son de gran tamaño por lo que su deposición se da debido a su peso que vence a la tensión superficial que tiende a sujetarlas en la punta del electrodo. Para que esto ocurra se necesitan voltajes y corrientes altos y como gas protector dióxido de carbono.

Pulsos. En la transferencia por pulsos se tiene que la alimentación del electrodo se da de manera pulsada, para este tipo de transferencia de metal se requieren intensidades altas y se puede usar dióxido de carbono como gas de protección.

2.2.4.4 *Ventajas:*

- Es un proceso que tiene un alto factor de operación.
- Se pueden tener varios grados de penetración dependiendo del gas de protección.
- Posibilidad de uso en todas las posiciones de soldadura.
- Tiene facilidad para la producción en serie.
- Mejor eficiencia de deposición que el proceso SMAW.
- No produce escoria sobre el cordón de soldadura.
- Se pueden soldar una mayor cantidad de materiales no ferrosos como son el aluminio y sus aleaciones y el cobre y sus aleaciones.

2.2.4.5 *Desventajas:*

- El uso de gas de protección hace que el transporte del equipo no sea fácil.
- El costo del equipo utilizado es mayor que para otros procesos manuales.
- Existe un mayor número de parámetros que se deben controlar.
- Se requiere personal con mayor capacitación.
- Mayor consumo de energía eléctrica.
- Se tiene un mayor riesgo de enfermedades en los soldadores cuando se usa argón como gas de protección.

2.2.4.6 *Aplicaciones:*

- Estanques que contengan productos químicos corrosivos.
- Industria alimenticia, de papel, turbinas, bombas.
- Recipientes y tubería a presión.
- Fabricación de chasis de carrocerías, muebles, extintores.
- Estructuras metálicas de puentes, edificios, entre otras.
- Recuperación de ejes por medio de recargues superficiales y posterior maquinado (BONILLA, 2006).

2.3 Códigos, normas y especificaciones

Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales; existe una variedad muy amplia de áreas, productos, servicios y sistemas objeto a las normas, y el alcance, campo de aplicación, extensión y estructura de estas también son muy variados. Algunas normas, particularmente los códigos, son muy extensos y se refieren a todos los aspectos de su campo de aplicación, por lo que con frecuencia su manejo e interpretación pueden resultar difíciles y provocan una reacción de rechazo por parte de los lectores (MINILO, 2007).

Origen de las normas. Las normas son desarrolladas, publicadas y actualizadas por organizaciones y entidades gubernamentales y privadas en el propósito de aplicarlas a las áreas y campos particulares de sus intereses (MINILO, 2007).

Tabla 2. Organizaciones, entidades gubernamentales y privadas que publican normas

BS	Institución Británico de Normas.	Emite las normas Británicas	British Standard Institution
CSA	Asociación de Normas de Canadá	Emite las normas Canadienses	Canadian Standards Association
DIN	Instituto Alemán de Normas	Emite las normas Alemanas	Deutsches Institute fuer Normung
JIS	Asociación Japonesa de Normas	Emite las normas industriales Japonesas	Japanese Standards Association
AFNOR	Asociación Francesa de Normalización	Emite las normas Francesas	NF - French Standard
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación	Emite las normas técnicas nacionales Españolas	UNE —una norma española
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas		American Nacional Standards Institute
ISO	Organización Internacional para la Normalización		
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización	Emite las normas Ecuatorianas	

Fuente: Autor

Las normas reflejan el consenso de las partes relacionadas con su campo de aplicación, por lo que cada organización que las prepara tiene comités o grupos de trabajo compuestos por representantes de las diferentes partes interesadas. Todos los miembros de esos comités son especialistas en sus campos, y preparan borradores o versiones preliminares de las normas, mismos que son revisados por grupos más amplios antes de que las versiones finales sean aprobadas (MINILO, 2007).

2.3.1 Definiciones. Los códigos, y otros documentos de uso común en la industria tienen diferencias en cuanto a su extensión, alcance, aplicabilidad y propósito.

Código (code). Es un conjunto de requisitos y condiciones generalmente aplicables a uno o más procesos, que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos (MINILO, 2007).

Es un cuerpo de leyes de una nación, estado o industria y constituyen un soporte legal, están organizados en forma sistemática para su fácil referencia en concordancia con los procesos, procedimientos, materiales y personal involucrado. Es el documento más importante, pues siempre se considerará obligatorio o mandatorio (ZAPATA, 2004).

Tabla 3. Ejemplos de códigos de soldadura

ANSI/AWS D1.1	Código de soldadura estructural-Acero >1/8 plg
ANSI/API 1104	Soldadura de líneas de tubería e instalaciones relacionadas
ANSI/ASME sec. IX	Calificaciones de soldadura y brazing

Fuente: Autor

Especificación. Es una forma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados por el producto han sido cumplidos o no (MINILO, 2007).

Consiste en el documento de soporte que contiene una detallada descripción de las partes de un conjunto, allí se ubican características específicas tales como: dimensiones, espesores, composición química, resultados de ensayos, etc. Es la descripción detallada de una parte que forma un todo (ZAPATA, 2004).

Tabla 4. Ejemplo de especificaciones

ANSI/AWS A5.1 a A5.30	Especificación para electrodos y materiales de aporte
ANSI/AWS A2.4	Símbolos normalizados para soldaduras y ensayos
API 12B	Para tanques cilíndricos para fluidos

Fuente: Autor

Norma o estándar (standard). Es un documento utilizado como bitácora, su aplicación adquiere carácter mandatorio cuando se referencia a un código específico, de igual forma se utiliza como norma o base de comparación en la ejecución de diferentes actividades (ZAPATA, 2004).

Aunque el estándar ha sido clasificado independiente con el término “norma”, tal y como es empleado por la AWS, ASTM, ASME y ANSI, es el nombre genérico que se asigna a diferentes documentos y se aplica de manera indistinta a los códigos, especificaciones, métodos, prácticas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por esta y la combinación de esta (MINILO, 2007). De acuerdo a Zapata los estándares nacionales de USA, son el resultado de un exigente procedimiento de revisión y votación de los diferentes documentos por parte del Instituto Americano Nacional de Estándares-ANSI, para ser adoptadas. Una vez aprobadas por ANSI, llevarán la identificación de ambas organizaciones, tanto la ANSI como la organización que prepara el estándar (ZAPATA, 2004). La norma también llamada estándar es el establecimiento de una condición para el uso como una regla o comparación de cantidad, calidad, valores relativos, etc.; por ejemplo el acero ASTM A36.

Tabla 5. Ejemplo de estándares

ANSI/ASME	B 31.1
ANSI/AWS	D1.1
ANSI/AWS	D1.3

Fuente: Autor

Prácticas recomendadas y guías. Su propósito principal es brindar asistencia, a través de la descripción de reglas y principios de efectividad comprobada sobre una actividad específica, para que los usuarios puedan entenderlos y aplicarlos de manera adecuada antes de emplear algún proceso, técnica o método (MINILO, 2007).

Clasificaciones. Generalmente establecen arreglos o agrupamientos de materiales, procesos o productos atendiendo a las características que tienen en común, tales como origen, composición, propiedades, procesos de fabricación o uso (MINILO, 2007).

Métodos y guías. Indican las prácticas reconocidas para realizar actividades tales como las pruebas, análisis, muestreos y mediciones aplicables a un campo específico. Este tipo de documentos establecen los procedimientos necesarios para determinar la composición, integridad, propiedades o funcionamientos de las partes o materiales a los que se aplican. Un método describe procedimientos uniformes que aseguran o mejoran la confiabilidad de los resultados a obtener, y no incluyen los límites numéricos de las propiedades o composición involucradas; tales límites o criterios de aceptación están contenidos en las especificaciones y códigos correspondientes. Ejemplos de este tipo de normas son los métodos de examen no destructivo (MINILO, 2007).

2.3.2 Códigos de diseño estructural. De acuerdo a Aguirre Chistian en su libro “Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios”, menciona que el diseño de las estructuras está especificado por normas o códigos aun si estas no rigen en el diseño, el proyectista quizá las tomara como guía, no importa cuántas estructuras haya diseñado. Al recurrir a las especificaciones, se recomendará el mejor material del que se dispone. Las autoridades estatales, preocupadas por la seguridad pública, han establecido códigos de control de la construcción de las estructuras bajo su jurisdicción. Los códigos que en realidad son reglamentos, especifican las cargas del diseño, esfuerzos de diseño, tipos de construcción, calidad de los materiales y otros factores.

Casi todos los códigos de construcciones municipales y estatales han adoptado las especificaciones AISC para las edificaciones de acero y las ACI para las de concreto, sin embargo existen otras comúnmente utilizadas (AGUIRRE, 2008).

Tabla 6. Normas de diseño estructural

AISC	American Institute of Steel Construction,	Specification for Structural Steel Buildings.
AISI	American Iron and Steel Institute	Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. August 19, 1986.
ACI	American Concrete Institute	
ACI 318	Building Code Requirements for Reinforced Concrete del American Concrete Institute	Normas de Construcción del Instituto Americano del Hormigón
IBC	Internacional Building Code	Uniform Building Code.

Fuente: Autor

En nuestro país se aplica el código y/o norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN, la cual, se encuentra en etapa de socialización de la nueva Norma Ecuatoriana de la Construcción-NEC-11.

2.3.3 Códigos de fabricación y montaje. De acuerdo a Minilo Carlos en su libro “Inspectores de soldadura AWS QC1:2007”, menciona que:

Códigos de soldadura para estructuras. Los documentos que gobiernan o establecen lineamientos para las actividades relacionadas con la industria de la soldadura tiene el propósito de asegurar que solo se producirán bienes soldados seguros y confiables, y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura no estarán expuestas a peligros indebidos ni a condiciones que pudieran resultar dañinas a su salud.

El propósito del ejercicio del inspector de soldadura es determinar si los productos soldados cumplen con los criterios de aceptación de las normas y otros documentos aplicables. Las principales entidades que generan las normas relacionadas con la industria de la soldadura son las siguientes:

Tabla 7. Organizaciones que generan normas relacionadas con soldadura

American Asosiation of State Highway and Trasportation Officials	AASHTO	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación	
American Bureau of shipping	ABS	Oficina Americana de Barcos	Reglas para embarcaciones de acero
American Institute of steel construction	AISC	Instituto Americano de Construcción	
American Nacional Standards Institute	ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas	
American Petroleum Institute	API	Instituto Americano del Petróleo	API: Estándar 1104
American Society of Mechanical Engineers	ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos	ASME: Sec. IX.
American Walter Works Asosiation	AWWA	Asociación Americana de Trabajos de Agua	
American Welding Society	AWS	Sociedad Americana de Soldadura	
Association of American Railroads	AAR	Asociación de Ferrocarriles Americanos	
Anteriormente The American Society for Testing and Materials	ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales	
Internacional Organization for Standarization	ISO	Organización Internacional para la Normalización	
Anteriormente The Society of Automotive Engineers	SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices	

Fuente: Autor

2.3.4 *Aplicabilidad de las normas y claves para su interpretación.* El cumplimiento de los requisitos de las normas es obligatorio cuando tales normas están referidas o especificadas en las jurisdicciones gubernamentales, o cuando están incluidas en contratos u otros documentos de compra.

El cumplimiento de las prácticas recomendadas o las guías es opcional. Sin embargo, si estos son referidos en los códigos o especificaciones aplicables o en acuerdos contractuales, su uso se hace obligatorio. Si los códigos o los acuerdos contractuales contienen secciones o apéndices no obligatorios, el empleo de las guías o las prácticas recomendadas queda a la discreción del usuario.

El usuario de una norma deberá conocer completamente el alcance, el uso previsto y el campo de aplicación de ésta, aspectos que están indicados en la introducción o en el alcance de cada documento. Asimismo, también es muy importante, pero a menudo más difícil, reconocer los aspectos no cubiertos por el documento. Cuando el uso de una norma es obligatorio como resultado de una regulación gubernamental o de un acuerdo de compra y venta, es esencial conocer la edición particular del documento que debe ser empleado. Siempre que existan dudas en cuanto a las ediciones o revisiones de los documentos a ser usados estas deberán aclararse antes de que se inicien los trabajos correspondientes.

Hay algunas palabras claves que se emplean ampliamente en las normas relacionadas con bienes soldados, a fin de asegurar su interpretación correcta, es conveniente precisar su significado e intención:

- **Shall (debe de)**, indican requisitos obligatorios, tales como el uso de ciertos materiales o la realización de determinadas acciones, o ambas cosas. Estos son términos que se encuentran con frecuencia en los códigos y especificaciones.
- **Should (podría y debiera)**, denota que el requisito o aspecto a que se refiere no es obligatorio, pero se recomienda como una buena práctica, las prácticas recomendadas y las guías generalmente emplean esta palabra.
- **May (puede)**, indica que la aplicación de la provisión a la cual se hace referencia es de carácter opcional.

2.3.5 *Normas para materiales y su control.* De una forma u otra, las diferentes normas establecen una serie de requisitos para los materiales a ser empleados en los trabajos cubiertos por sus respectivos campos, así como para la inspección, pruebas y control de dichos materiales. El código AWS D1.1, hace referencia directa para materiales base a las especificaciones de materiales ASTM y las relacionadas con consumibles de soldadura a las AWS aplicables.

2.3.5.1 *Las especificaciones ASTM* (The American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales). Desarrolla y publica especificaciones que se usan en la producción y prueba de materiales. Estas especificaciones cubren virtualmente todos los materiales que se emplean en la industria y el comercio, con excepción de los consumibles de soldadura.

Esta asociación publica un libro anual de normas ASTM que incorporan las normas nuevas y revisadas. Las especificaciones para los productos metálicos, métodos de prueba y procedimientos analíticos de interés en la industria de la soldadura se encuentran en las primeras tres secciones, compuestas por 18 volúmenes. Los prefijos que forman parte de la designación alfanumérica de cada especificación indican de manera general el contenido de éstas: para metales ferrosos se usa “A” para metales no ferrosos se usa “B”, y para materias diversas, entre las que incluyen exámenes, pruebas y métodos analíticos, el prefijo empleado es “E”.

2.3.5.2 *Especificaciones AWS para consumibles de soldadura.* La Sociedad Americana de Soldadura publica (entre una cantidad numerosa de normas sobre usos y calidad de materiales, productos, prueba, operaciones y procesos de soldadura) las especificaciones para varillas, electrodos, materiales de aporte y soldadura. Estas especificaciones cubren la mayor parte de los materiales consumibles empleados en procesos de soldadura y soldadura fuerte, e incluyen requisitos obligatorios y opcionales. La designación alfanumérica de la AWS para especificaciones de materiales de aporte consta de una letra “A” seguida de 5, un punto y uno o dos dígitos adicionales, por ejemplo la AWS A5.1, especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco metálico protegido.

Después de la descripción de las especificaciones ASTM para materiales base y AWS para materiales de aporte, se puede apreciar que los requisitos para estos están incluidos en las mismas especificaciones, pero el control de los materiales en rubros tales como: la inspección durante recibo, la identificación, habilidad, almacenamiento, manejo y preservación durante los procesos de fabricación y montaje, son requisitos establecidos por cada norma particular para bienes soldados, y hay que remitirse a estas, según la aplicación de que se trata (MINILO, 2007).

2.4 Códigos ANSI/AWS

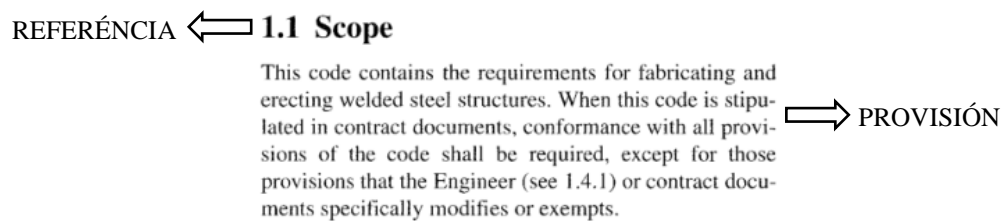
2.4.1 *Introducción al sistema AWS.* La American Welding Society - AWS ha desarrollado estándares, códigos, prácticas recomendadas y guías relacionadas con la construcción de elementos soldados, aportes para soldadura y procedimientos de soldadura. Para establecer la calidad de un producto, estos documentos son consultados. Para cada situación existirá un documento aplicable, con el cual el producto fabricado debe tener conformidad (AWS D1, 2010).

Todas las normas de la AWS son normas consensuadas voluntariamente que han sido desarrolladas de conformidad con las reglas de la American National Standards Institute - ANSI. En todos los casos, estas normas llevan la completa autoridad legal del contrato u otro documento que invoque la norma AWS. American National Standards/AWS es desarrollada a través de un proceso de consenso de desarrollo de normas que llevan juntos los puntos de vista e interés de varios representantes voluntarios para llevar a cabo los consensos. La AWS no es una empresa que presta servicios profesionales u otros servicios. Alguien usando estos documentos debería confiar en su propio juicio (opinión) independiente o, como propio, buscar el consejo de un profesional competente en pleno ejercicio del cargo justo (exacto, preciso, adecuado) en alguna circunstancia dada (AWS D1, 2010).

2.4.2 *Código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010.* El código estructural de soldadura - acero, (Structural Welding Code - Steel D1.1) especificación publicada por la AWS, regula el diseño, fabricación, inspección, calificación de procedimientos y personal para la construcción de estructuras soldadas de acero. Este código cubre los requerimientos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada hecha del comúnmente usado

acero estructural al carbono y de baja aleación. Este código está sujeto a revisión en cualquier momento por el AWS D1 Comité sobre Soldadura Estructural. Este código debe ser revisado cada cinco años, y si no es revisado, este código debe ser o reafirmado o retirado. Las modificaciones respecto al año anterior aparecen subrayadas con líneas horizontales o verticales (AWS D1, 2010).

Referencias, Clausulas, Disposiciones y Estipulaciones en el Código. Las especificaciones del código están expresadas en textos llamados provisiones. Cada *provisión* viene identificada por un número llamado *referencia*.



Para encontrar referencias se debe realizar lo siguiente:

1. Definir la pregunta a ser considerada.
2. Analizar la pregunta e identificar la palabra clave.
3. Localizar la palabra clave en el índice analítico a fin de establecer la referencia requerida.
4. Asegurar que la referencia encontrada es aplicable a las especificaciones del trabajo.

2.4.2.1 Estructura del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010

Organización general y contenido. El código AWS D1.1-2010 contiene 8 secciones (las secciones 2, 4, y 6 se subdividen en partes), 9 anexos normativos (A hasta J) y 12 anexos informativos (K hasta V) y al final del código se encuentran los anexos.

1. Requerimientos Generales. Contiene la información básica sobre el alcance y limitaciones del código.
2. Diseño de Conexiones Soldadas. Contiene requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas por perfiles tubulares y no tubulares.

- Parte A: Requerimientos comunes para el diseño de conexiones soldadas (miembros tubulares y no tubulares).
 - Parte B: Requerimientos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas estáticamente o cíclicamente).
 - Parte C: Requerimientos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargada cíclicamente).
 - Parte D: Requerimientos específicos para el diseño de conexiones tubulares (cargadas estáticamente o cíclicamente).
3. WPS's precalificados. Cubren los requisitos para poder excluir a los WPS (especificaciones de procedimiento de soldadura) de las exigencias de calificación propias del código.
 4. Calificación. Contiene los requisitos de calificación para las WPS's y personal de soldadura (soldadores, operadores de soldadura y armadores) necesarios para realizar trabajos de código.
 - Parte A: Requerimientos Generales.
 - Parte B: Especificación de Procedimientos de Soldadura (WPS).
 - Parte C: Calificación de Habilidad.
 - Parte D: Requerimientos para pruebas de impacto.
 5. Fabricación. Cubre los requisitos para la preparación, ensamble y mano de obra de las estructuras de acero soldadas.
 6. Inspección. Contiene los criterios para la calificación, las responsabilidades de inspecciones, los criterios de aceptación para soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar inspección visual y las pruebas no destructivas.
 - Parte A: Requerimientos Generales.
 - Parte B: Responsabilidades de Contratista.
 - Parte C: Criterio de Aceptación.
 - Parte D: Procedimientos de NDT.
 - Parte E: Ensayo Radiográfico (RT).
 - Parte F: Ensayo Ultrasónico (UT) de Soldaduras de ranura.
 - Parte G: Otros Métodos de Examinación.
 7. Soldadura de Pernos. Esta sección contiene los requisitos aplicables a la soldadura de pernos a acero estructural.

8. Reparación y Reforzamiento de Estructuras Existentes. Contiene la información básica relacionada con la modificación o reparación de estructuras de acero ya existentes.

Anexos Normativos: Anexos del A al J, total 9. Carácter mandatorio.- Garganta efectiva, planitud de almas de dovelas, cartas psicométricas para uso con electrodos, calibración de equipos de END, etc.

Anexos Informativos: Anexos del K al V, total 12. Carácter no mandatorio.- Términos y definiciones, ejemplos de formatos, contenido de WPS's precalificados, etc.

Comentarios sobre el código de soldadura estructural-acero.- Para una mejor aplicación de los aspectos del código.

2.4.3 Estándar ANSI/AWS A2.4. De acuerdo al estándar "AWS A2.4, Símbolos Normalizados para Soldeo, Soldeo Fuerte y Examen no destructivo", se menciona que este estándar se basa en un sistema de representación simbólica de soldaduras en los planos de ingeniería. Establece un método para la especificación de diversas informaciones sobre soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo por medio de símbolos. Este sistema facilita los medios para especificar una secuencia de las operaciones de soldeo o de soldeo fuerte y de los exámenes no destructivos, así como el método, frecuencia y extensión del examen.

Propósito y objetivo. El propósito de este estándar es facilitar la comunicación entre el proyectista, el taller y el personal de fabricación. Mientras que el objetivo es mostrar cómo la correcta aplicación de los símbolos, puede ser utilizada para transmitir la información sobre soldeo o examen.

- Esta norma no intenta representar prácticas recomendables de soldeo o diseño.
- Los usuarios de la información contenida en esta norma deben efectuar una investigación independiente de la validez de dicha información para cada aplicación particular y del estado de las patentes de cualquier artículo a la que se aplique.

Método. El sistema de representación simbólica de soldaduras en los planos de ingeniería utilizados en esta norma es consistente con el método de proyección del "tercer ángulo". Este es un método utilizado predominantemente en los Estados Unidos.

Interpretación:

- La base de referencia es la unión (la unión no se muestra en secciones).
- Cualquier unión soldada que se indique mediante un símbolo tendrá siempre un “lado de la flecha” y un “otro lado”. Así, los términos lado de la flecha, otro lado y ambos lados son utilizados para situar la soldadura en relación con la unión.
- La cola del símbolo se utiliza para designar el proceso de soldeo o corte, así como para las especificaciones o procedimientos de soldeo y la información suplementaria a utilizar en la ejecución de la soldadura. La notación a situar en la cola del símbolo indicando estos datos normalmente la establece cada usuario. Si no se utilizan notaciones, la cola del símbolo puede omitirse.
- La flecha del símbolo de soldeo señalará a una línea del plano que identifique de forma unívoca la unión en cuestión. Se recomienda que la línea señale a una línea continua.

2.4.3.1 Definiciones:

Símbolos de soldadura (Weld Symbol). Indican el tipo de soldadura, forman parte del símbolo de soldar. Los símbolos se representan sobre la línea de referencia.

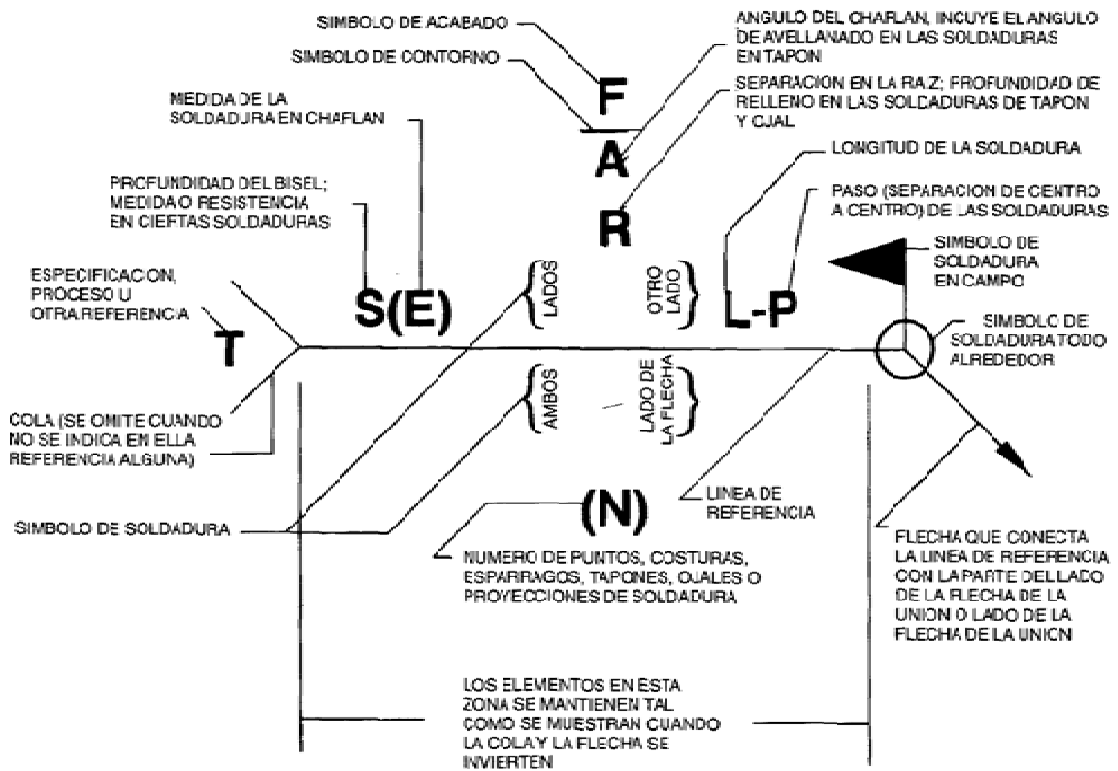
Figura 5. Símbolos de soldadura

CHAFLAN							
PLANO	INCLINADO	V	BISEL	U	J	V ENSANCHADA	BISEL ENSANCHADO

Fuente: Especificación AWS A 2.4. Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo. Estándar. 1993

Símbolos de soldeo (Welding Symbol). Es una representación gráfica de una soldadura, el tipo y cantidad de soldadura forman parte de símbolo de soldeo. La línea de referencia y la flecha son los únicos elementos requeridos, pueden incluirse elementos adicionales para facilitar información de soldeo específica. Todos los elementos, cuando se utilicen estarán en posiciones específicas del símbolo de soldeo.

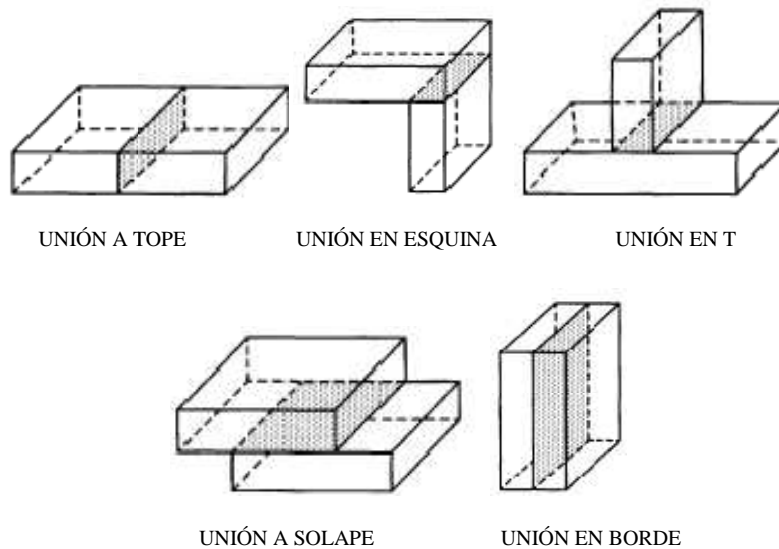
Figura 6. Normalización de los elementos de un símbolo de soldeo



Fuente: Especificación AWS A 2.4. Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo. Estándar. 1993

Tipos básicos de uniones. Son las siguientes:

Figura 7. Tipos de uniones básicas

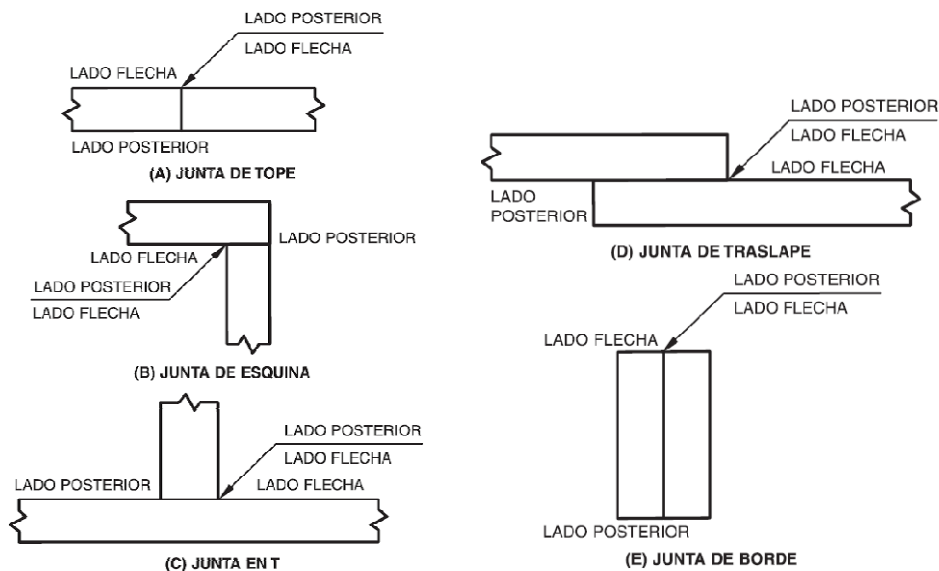


Fuente: Especificación AWS A 2.4. Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo. Estándar. 1993

2.4.3.2 Consideraciones generales:

Significado de la posición de la flecha. La información aplicable al lado de la flecha de una unión se situará por debajo de la línea de referencia. La información aplicable al otro lado de una unión se situará por encima de la línea de referencia.

Figura 8. Aplicación del lado de la flecha y del otro lado



Fuente: Especificación AWS A 2.4. Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo. Estándar. 1993

Símbolos de soldadura para ángulo (filete), chaflán (ranura) y borde. Para estos símbolos, la flecha conectará la línea de referencia del símbolo de soldeo con un lado de la unión, considerándose este lado como el lado de la flecha de la unión.

Orientación de los símbolos de soldadura específicos. Los símbolos de soldadura en ángulo, soldaduras con chaflán en bisel, en J y bisel ensanchado y soldadura de borde en esquina, se dibujaran siempre con el lado perpendicular a la izquierda (AWS A2, 1993).

Además, se deben tomar en cuenta consideraciones adicionales como: Flecha con quiebro, símbolos de soldadura combinados, líneas de flechas múltiples, líneas de referencia múltiples, símbolos de soldadura en campo, extensión de soldeo indicado por símbolos, símbolos de soldadura todo-alrededor, cola del símbolo de soldeo, contornos obtenidos por soldeo, acabados de las soldaduras, símbolo de refuerzo de raíz, refuerzo de raíz con soldaduras en borde, método de dibujo de los símbolos, unidades métricas y U.S.A, tolerancia de las dimensión de la soldadura.

Mapa de símbolo de soldeo. El mapa de símbolo de soldeo que se incluyen en la ANSI/AWS 2.4 tiene la intención de facilitar información básica y símbolos frecuentes utilizados de una forma adecuada, como ayuda a los talleres y oficinas técnicas. A lo largo de los años, los mapas han sido reproducidos y distribuidos por otras fuentes con o sin permiso de la AWS. Consecuentemente, existen numerosas versiones obsoletas y con errores. Se previene que la única versión completa y aprobada es la que se incluye en la última edición de la especificación ANSI/AWS A2.4-2012.

2.4.4 Estándar ANSI/AWS A3.0. La soldadura, al igual que la mayoría de los procesos industriales y disciplinas técnicas, posee sus propios términos especializados, mismos que resultan necesarios para lograr una comunicación efectiva entre la gente que de alguna manera está relacionada con los procesos, operaciones, equipo, materiales, diseño y otras actividades pertenecientes a los métodos de unión involucrados (MINILO, 2007). No es el propósito de este capítulo, ni sería posible, hacer una revisión de todos los términos del código AWS D1.1, ni siquiera de los más relevantes, ya que el estándar es relativamente extenso. En lugar de realizar tal revisión, se procederá a considerar algunos términos clave y las figuras convenientes para clarificar su significado.

2.4.4.1 Tipos de soldadura. De acuerdo al estándar “AWS A3.0, Términos y definiciones estándar de soldadura”, se menciona que:

Soldaduras de cordón. Se hace en una sola pasada, con el metal de aporte sin movimiento hacia uno y otro lado. Esta soldadura se utiliza principalmente para reconstruir superficies desgastadas, y en muy pocos casos se emplea para juntas.

Soldaduras ondeadas. Se logran haciendo un cordón con algo de movimiento hacia uno y otro lado. Entre estas soldaduras hay también varios tipos, como el zigzag, el circular, el oscilante entre otros. Esta soldadura también se usa principalmente para la reconstrucción de superficies.

Soldaduras de ranura (Groove). Se realiza entre el espacio que queda entre dos piezas de metal. Estas soldaduras se emplean en muchas combinaciones dependiendo de la accesibilidad, de la economía, del diseño, y del tipo de proceso de soldadura.

Soldaduras de filete (Fillet). Son similares a las de ranura, pero se hacen con mayor rapidez que éstas. Las juntas soldadas de filete son simples de preparar desde el punto de vista de preparación y ajuste de borde, aunque a veces se requieran de más soldadura que en las juntas soldadas de ranura.

Soldaduras de tapón (Plug) y de agujero alargado. Sirven principalmente para hacer las veces de remaches. Se emplean para unir por fusión dos piezas de metal cuyos bordes, por alguna razón, no pueden fundirse.

La AWS D1.1 relaciona tres tipos de soldadura de acuerdo a la configuración de las juntas.

1. Soldaduras de ranura (Groove)

- Ranura Recta
- Ranura en V
- Ranura en doble V
- Ranura en U
- Ranura en J
- Penetración parcial

2. Soldaduras de filete (Fillet)

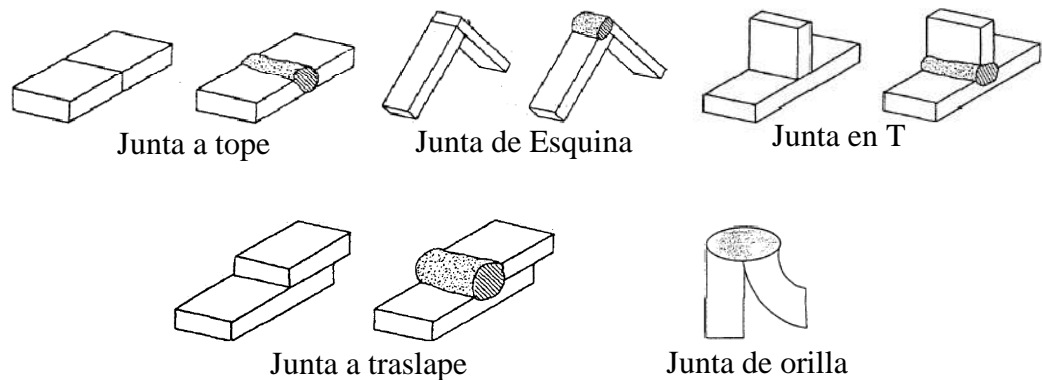
3. Soldaduras de pernos (Stud)

2.4.4.2 Tipos de juntas. Es la unión de los miembros, o de sus extremos, que van a ser unidos o que han sido unidos. Existen 5 tipos básicos de juntas:

1. Junta a tope (Butt Joint). Está comprendida entre los planos de las superficies de las dos partes. Las juntas a tope pueden ser simples, escuadradas, biseladas, en V, de ranuras de una sola J, de ranura de una sola U, o dobles.
2. Junta de esquina (Cormer Joint). Son los que implica su nombre: soldaduras hechas entre dos partes situadas a un ángulo de 90 grados. Estas pueden ser de medio traslape, de esquina a esquina, o de inserción completa, y pueden prepararse para formar un solo bisel, una sola V o ranuras de una sola U.
3. Junta en "T" (T Joint). Son precisamente lo que su nombre indica, pero también puede ser de un solo bisel, de doble bisel, de una J y de doble J.

4. Junta de traslape (Lap Joint). Están formadas en esencia por dos piezas de metal solapadas o traslapadas, que se unen por fusión mediante soldadura de puntos, de filete, de tapón o de agujero alargado.
5. Junta de borde u orilla (Edge Joint). Resultan de la fusión de la superficie adyacente de cada parte, de manera que la soldadura quede dentro de los planos superficiales de ambas partes. Estas pueden ser de una sola brida o de doble brida (MINILO, 2007).

Figura 9. Tipos de juntas



Fuente: BONILLA, Galo. Optimización de los procesos en la construcción de Estructuras Metálicas de Edificios. Tesis. EPN. 2006

2.4.4.3 Definiciones importantes:

Cupón de prueba. Un cupón de prueba es el ensamble soldado completamente para las pruebas de calificación.

Espécimen de prueba. Un espécimen de prueba es usualmente una porción del cupón de prueba el cual es escudriñado. Probeta de prueba con la sección reducida compuesta completamente del metal de soldadura.

Variable esencial (procedimiento). Un cambio en una condición de soldadura el cual afecta las propiedades mecánicas de la unión soldada.

Variable no esencial (procedimiento). Un cambio en una condición de soldadura el cual no afecta las propiedades mecánicas de la unión soldada.

Variable esencial (desempeño). Un cambio en una condición de soldadura el cual afecta la habilidad del soldador para depositar un metal soldado sano (NARANJO, 2011) (ROMERO).

2.5 Control de calidad

2.5.1 *Definiciones.* De acuerdo a Villacrés Christian en su libro “Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec”, menciona que se denomina **ensayo no destructivo** (también llamado END, o en inglés NDT de nondestructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades: físicas, químicas, mecánicas o dimensionales (incluso magnéticas). Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como: ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los ensayos no destructivos suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos. La amplia aplicación de los métodos de END en materiales se puede resumir en los tres grupos siguientes:

- Defectología. Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales, determinación de tensiones y detección de fugas.
- Caracterización. Evaluación de las características: químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales, propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas), transferencia de calor y trazado de isothermas.
- Metrología. Control de espesores, medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento, niveles de llenado.

2.5.2 *Incidencia de los END en el control de calidad.* Hoy en día no se puede construir y operar una instalación industrial, automotriz, petrolera, aeronáutica, naval, civil, química, etc., sin recurrir al control de la calidad de fabricación y a la inspección de los componentes en operación mediante el uso de los END, no sólo se reducen los costos iniciales, ya que su aplicación (muchas veces en operación) permite programar

las paradas para mantenimiento, evitando paradas de emergencia, también se puede programar la renovación de equipos. De esta forma se puede obtener una operación segura y continua, previniendo además agresiones al medio ambiente. Esto evita accidentes con altos costos materiales, humanos y comerciales. Además, permiten la optimización del diseño y uso de recursos, ya que posibilitan el aseguramiento de la calidad del producto final y la optimización de los procesos de fabricación.

Los END son una de las herramientas básicas para la evaluación de la integridad de equipos industriales, posibilitando además la extensión de vida de los mismos. La calidad de los END está directamente relacionada con la calidad de los operadores que brindan el servicio: un ensayo realizado por personal que no está adecuadamente entrenado y calificado no es fiable.

2.5.3 Defectología

2.5.3.1 Criterio del instituto internacional de soldadura (IIW). El IIW es una organización que agrupa varias entidades de distintos países que intentan regular, estandarizar, e incluso unificar los códigos que norman la soldadura, sus procedimientos, consumibles, equipamiento, personal, control de calidad, etc. con la finalidad de asegurar las estructuras soldadas y garantizar la capacidad de la unión.

La Sociedad Americana de Soldadura se encuentra adscrita en el instituto internacional, y por ello, los códigos expedidos por AWS siempre mantienen una estrecha correlación con los códigos equivalentes IIW, con la principal diferencia que el primero es de uso regular en el territorio de los Estados Unidos, mientras que el segundo se lo utiliza en los países principales participantes en el IIW. Por lo tanto, los criterios de aceptación y rechazo dados en las normas AWS resultan equivalentes a los logrados en consensos técnicos del IIW.

2.5.3.2 Definición de los defectos:

Exceso de penetración. Se producen por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Este exceso de penetración produce una chorreadura interna de material la que puede retener escoria en su interior.

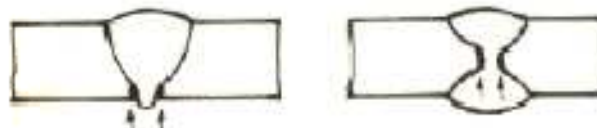
Figura 10. Exceso de penetración



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Falta de penetración. En las uniones en U ó en V la raíz se encuentra en la cara posterior. A menudo la raíz de la soldadura no quedará adecuadamente rellena con el metal, dejando un espacio vacío. Esta penetración incompleta puede ser debida a una separación muy pequeña de la raíz, o un electrodo demasiado grueso, a una corriente insuficiente, a la excesiva velocidad de pasada, fusión incorrecta en la ranura, etc.

Figura 11. Falta de fusión



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Concavidades:

Concavidad externa o falta de relleno. Es una soldadura que tiene una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el cordón.

Concavidad interna. Es el insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada, el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base.

Figura 12. Concavidad externa e interna



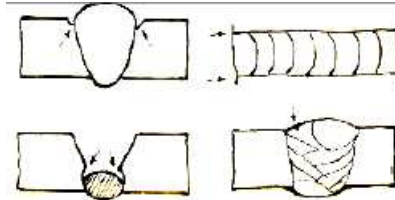
Concavidad externa

Concavidad interna

Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Socavaduras o mordeduras de bordes. La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobremonta, que no ha sido llenada por el material. Son debidas a un arco incorrecto, electrodo húmedo, alta velocidad de traslación del arco en los laterales del cordón.

Figura 13. Mordeduras de borde



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Quemón. Es una zona de la pasada de raíz donde la penetración excesiva ha causado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma soplándose. Hay destrucción completa de biseles.

Salpicaduras. Son imperfecciones consistentes, como su nombre lo indica, en esférulas de metal fundido, depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo.

Falta de continuidad del cordón. Se originan al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo. Su severidad es muy variable ya que, en los casos más severos, pueden considerarse auténticas faltas de fusión transversales, en tanto que en otras ocasiones, son simplemente surcos normales al eje del cordón.

Erosiones y huellas. Son un grupo de defectos que tienen un origen mecánico de erosión, deformación o arranque de material. Pueden dividirse en:

Exceso de rebajado: Producido durante el amolado mecanizado excesivo del cordón, en consecuencia este queda ligeramente cóncavo.

Huellas de amolado: Surcos en la superficie del metal vacío del cordón, marcados por la muela, mal manejados.

Huellas de mecanizado: Erosiones producidas por herramientas que preparan la soldadura o por un imperfecto mecanizado de la misma.

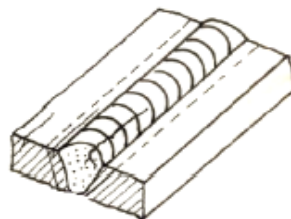
Martillazos, golpes en general. Son deformaciones locales producidas por choques de objetos contra el metal base o contra el cordón.

Restos de electrodos. Cuando se suelda con equipos automáticos en atmósfera inerte y electrodo continuo, pueden quedar, al efectuar el cordón de penetración, los restos de alambre electrodo que sobresalen, a veces, varios centímetros de la base de la unión soldada.

Fisuras. Pueden ser clasificadas en:

Fisuras longitudinales. Se pueden producir en el centro del cordón o en la interface del material básico del aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de correcto precalentamiento en grandes espesores). Cuando este defecto aparece en el metal de la socavadura se le llama fisura de solidificación, mientras si se produce en la ZAC se llama fisura de licuación (inter-granular). Estos dos tipos comprenden la llamada fisuración en caliente y se producen por la combinación de una composición química desfavorable y tensiones de solidificación, restricción o de formación. En este caso el precalentamiento no tiene casi influencia sobre estos defectos. La fisuración en frío (de hidrógeno) longitudinal es menos frecuente que la transversal.

Figura 14. Fisura longitudinal



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

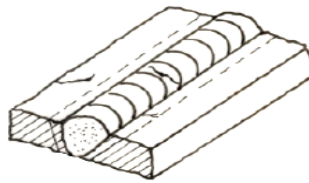
Fisuras transversales. Producidas principalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal produce una fisura que puede o no prolongarse a través del metal base. Pueden ser:

Fisuras en caliente. Denominándose así porque se producen durante la solidificación de la junta. Las causas principales de este efecto en aceros al carbón no aleados o de baja aleación son: el medio y alto tenor de carbono del metal base, alto tenor de impurezas S y P en el metal base, elevadas tensiones de contracción.

Fisuras en frío. Se llaman así porque se forman cuando la temperatura se acerca o alcanza la temperatura ambiente. La causa principal es el elevado tenor de hidrógeno en una zona fundida, una elevada velocidad de enfriamiento y las tensiones producidas sobre el cordón por el enfriamiento.

Fisura de interrupción o arranque (o de cráter). En el arranque de la soldadura por cambio de electrodo suelen producirse fisuras en forma de estrellas por efecto del brusco enfriamiento del recalentamiento del material (son fisuras en caliente). Cuando se interrumpe el arco, se formará un cráter de contracción, si la cavidad del arco no se rellena con una cantidad de material difundido adecuada.

Figura 15. Fisura transversal



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Fisuras alrededor del cordón (en ZAC):

Fisuración en frío. Se produce debido a la falta de precalentamiento en aceros duros o de mucho espesor. Estas fisuras se presentan invariablemente en los granos más gruesos de la zona afectada por el calor (ZAC) del acero. Esto se atribuye al efecto del hidrógeno disuelto liberado por el electrodo o por el metal que se solidifica. Tienen generalmente una dirección longitudinal, aunque algunas veces pueden también ser transversales; pueden ser internas o aflorar al lado del cordón.

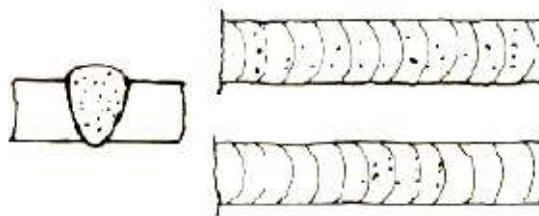
Desgarre laminar. Son fisuras que pueden aparecer en aceros dulces y baja aleación, generalmente asociadas con soldaduras muy tensionadas, cuya geometría produce tensiones perpendiculares al plano de laminación sobre el metal base. Aparece frecuentemente debajo de la ZAC (material base no afectada) y son típicas de las juntas de T o en L.

Porosidad. La porosidad gaseosa puede producirse en forma aislada (porosidad esférica aislada), agrupada (nido de poros), en forma alineada, etc.

Porosidad esférica aislada. Son bolsas esféricas producidas por una alteración en el arco, la oxidación en el revestimiento de electrodo, o el electrodo húmedo y/u oxidado, o una variación en la relación voltaje-amperaje-velocidad en la soldadura automática.

Porosidad agrupada (nido de poros). Producida generalmente por un agente oxidante o excesiva humedad del revestimiento. Pueden también encontrarse capas de óxido sobre los biselos, las que al fundirse desprenden gas. El tamaño de estos poros es aproximadamente igual en toda la zona.

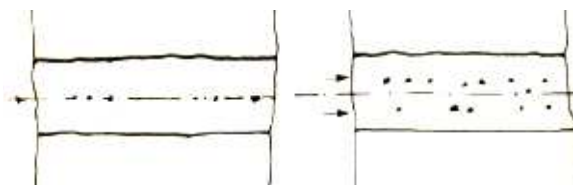
Figura 16. Porosidades agrupadas



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Porosidad alineada. Generalmente surge en la pasada de base del cordón soldado, por efecto de la dificultad de penetrar con el electrodo, por mala regulación eléctrica y por acumulación de algunos de los elementos del mismo.

Figura 17. Porosidades alineadas

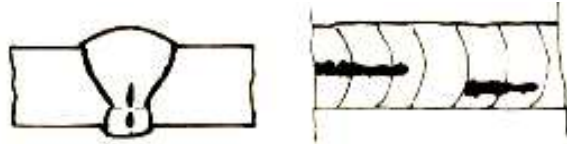


Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Porosidad alargada o vermicular. Producida al enfriarse el material, a medida que una burbuja de gas está tratando de escapar. Su morfología es alargada, a manera de tubitos

curvados, como bastones o sinuosidades, y suele tener tendencia a crear un recorrido vertical pudiendo llegar a dejar perforada toda una pasada de soldadura. Generalmente son más peligrosos que los esféricos debido al efecto de entalla que producen.

Figura 18. Porosidades tipo túnel o alargadas



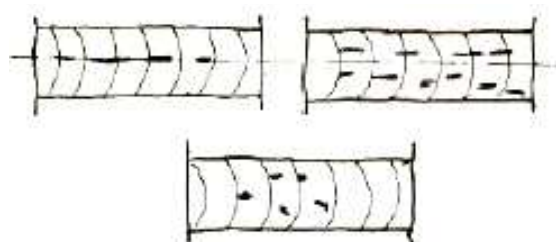
Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Inclusiones. Se consideran inclusiones, las impurezas producidas por gases atrapados en la masa del metal durante el proceso de fusión, o materiales extraños sólidos (metálicos y no metálicos). Por razones diversas, en el metal de soldadura fundido se pueden formar gases que pueden quedar atrapados si no hay tiempo suficiente para que escapen antes de la solidificación de la soldadura. Por lo general, tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidades esféricas, o de forma alargada llamados porosidad tubular o vermicular. La formación de estas inclusiones puede ser causada por reacciones químicas durante la soldadura con alto contenido de sulfuro en la plancha y/o en el electrodo; humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha de base; arco excesivamente corto; corriente incorrecta o polaridad inversa; corrientes de aire; o limpieza prematura de la escoria al terminar una pasada, pues, no hay que olvidar que la escoria evita el enfriamiento demasiado rápido del metal fundido.

Inclusiones no metálicas:

Inclusiones de escorias aisladas. La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Son depósitos de carbón, u óxidos metálicos y silicatos principalmente. Las inclusiones de escoria se asocian frecuentemente con falta de penetración, fusión deficiente, talón de raíz excesivamente grande, soldadura en V muy estrecha y manipulación defectuosa del electrodo.

Figura 19. Inclusiones de escoria de varios tipos



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Escorias alineadas. Producidas por inadecuados movimientos del electrodo por parte del soldador, quedan alineadas sobre el costado del cordón soldado. En el caso de la soldadura automática, el fundente suele quedar atrapado por una regulación de la máquina, o por falta de limpieza, pero en este caso estará en el centro del cordón. Este tipo de defecto es muy agresivo.

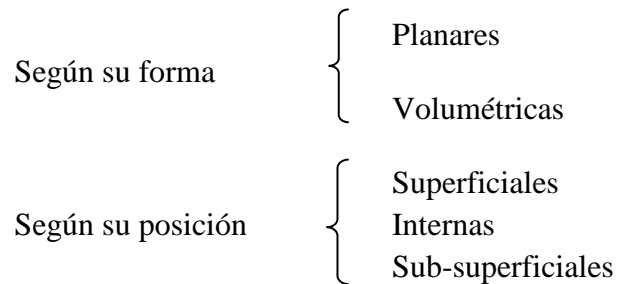
Línea de escorias (Wagontracks). Ubicadas entre el cordón de la primera y la segunda pasada. Por efecto de la mala limpieza en la zona de mordeduras que se forman sobre el bisel al efectuar la primera pasada.

Escorias en el interior de perforaciones. Dentro del metal soldado por efecto de una perforación, se suele producir un rechupe del material, incorporándose materiales extraños, proveniente por lo general del revestimiento del electrodo.

Inclusiones aisladas. Por efecto o combinación química de los elementos que intervienen en la soldadura, se suelen no fundir partículas de tungsteno que quedan aisladas en distintas áreas del cordón soldado (TIG), generalmente en acero inoxidable.

2.5.4 *END requeridos por el código AWS D1.1-2010 para el control de calidad.* Los END son la aplicación práctica del conocimiento técnico-científico logrados en el campo de la física y de las demás ciencias naturales, para la detección y evaluación de discontinuidades y fallas de los materiales, pero también se puede llegar a estudiar la composición y las variaciones de la estructura de los materiales usados en ingeniería.

Los END se pueden clasificar por las discontinuidades a detectar:



El código AWS D1.1-2010 provee en su sección 6 de inspección para el control de calidad de soldaduras de producción, cinco métodos de END para los cuales establece su documentación, criterios de aceptación y procedimientos de inspección.

2.5.4.1 Inspección visual (VT). La inspección visual fue definitivamente el primer método no destructivo empleado por el hombre. Actualmente la inspección visual es el más importante procedimiento de prueba para la detección y evaluación de discontinuidades. Se han desarrollado una gran cantidad de técnicas de inspección óptica avanzada para este propósito.

Para este ensayo, se utiliza instrumentos sencillos como galgas de medición, iluminación artificial, flexómetro, lentes de aumento, etc.

Figura 20. Instrumentos utilizados en inspección visual de soldadura



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

2.5.4.2 Tintas penetrantes (PT). La inspección por líquidos penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados, aprovechando algunas propiedades de los líquidos.

La **capilaridad** es la cualidad que posee una sustancia para absorber un líquido. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido. Este es el efecto que causa que los materiales porosos absorban líquidos.

La **viscosidad** es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

En términos generales, ésta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta. Actualmente existen al menos 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro, debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por post-emulsificación y un revelador seco.

Tabla 8. Clasificación de líquidos penetrantes

Tipo	Técnica	Pigmento	Caracterización
I	A	Fluorescente	Lavables con agua
	B		Post-emulsificables
	C		Removibles con solvente
II	A	Coloreado	Lavables con agua
	B		Post-emulsificables
	C		Removibles con solvente

Fuente: Autor

Figura 21. Kit para inspección con líquidos penetrantes



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un Sistema de Inspección para Control de Calidad de Soldaduras en Estructura Metálica con el uso de Ensayos no Destructivos para la Empresa INENDEC. Tesis. ESPE. 2009

2.5.4.3 Partículas magnéticas (MT). La inspección por partículas magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

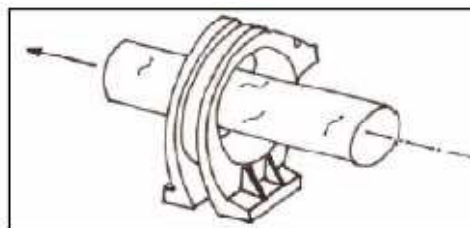
El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de polos cuando se genera o se induce un campo magnético en un material ferromagnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, éste se deforma o produce polos. Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

Actualmente existen al menos 32 variantes del método, cada método sirve para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad. Antes de seleccionar alguna de las variantes, es conveniente estudiar el tipo de piezas a inspeccionar, su cantidad, forma y peso, a fin de que el equipo a emplear sea lo más versátil posible.

Tipos de magnetización. Existen muchas formas de magnetización y varían sus efectos dependiendo de sus parámetros de funcionamiento, por lo que pueden ser escogidos para cada aplicación. A continuación se exponen algunos equipos de magnetización de uso común en este ensayo:

Bobinas: Generan un campo magnético con la dirección del eje de las espiras de la bobina.

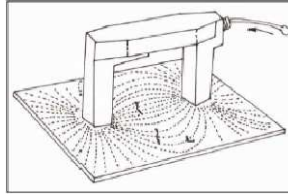
Figura 22. Esquema de bobina de magnetización



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Yugo magnético: Contiene en su interior una bobina que rodea un núcleo de hierro que concentra el magnetismo y conduce dicho efecto por medio de patas fijas o móviles a la pieza a examinar.

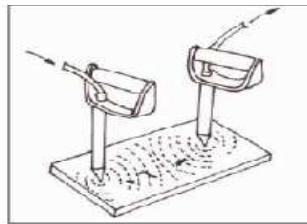
Figura 23. Esquema de un yugo magnético



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Puntas: A través de hacer circular una corriente determinada a través de la pieza a examinar, se genera en esta un campo magnético que servirá para la ejecución del ensayo.

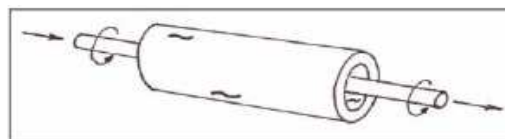
Figura 24. Esquema de magnetización por puntas



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Conductor central: La corriente eléctrica circula a través del conductor sólido de cobre que se coloca en el interior de la pieza hueca, generando así un campo magnético que rodea el conductor central y la pieza de examen.

Figura 25. Esquema de magnetización con conductor central



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

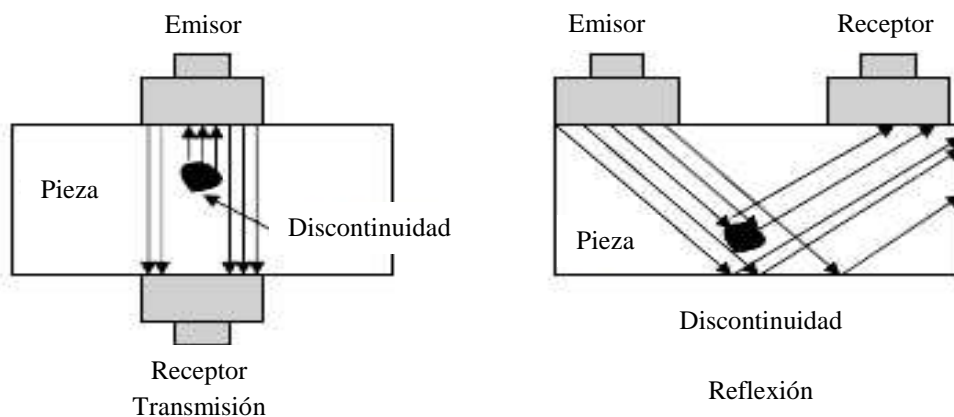
2.5.4.4 Ultrasonido (UT). El ultrasonido son vibraciones mecánicas que se transmiten en el material por medio de ondas de la misma naturaleza que el sonido, pero con frecuencias mayores a 20,000 ciclos/segundo (Hertz), es decir esta fuera del rango audible del oído humano.

El principio físico en el que se basa este método de inspección es la transmisión a velocidades constantes de señales de ultrasonido a través del material y la captación del eco producido cuando existe un cambio en el material, es decir un cambio en la impedancia acústica (resistencia que oponen los materiales al paso de una onda acústica). El ensayo consiste en detectar defectos internos basándose en la reflexión de las ondas ultrasónicas al atravesar medios de diferente densidad.

Con el método de ultrasonido se puede realizar control de calidad de materiales estructurales y este control puede ser de tres tipos:

- Detección de discontinuidades (defectología)
- Determinación de propiedades (caracterización)
- Medida de espesores (metrología)

Figura 26. Ensayo con ultrasonido



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

Un operador de ultrasonido para ser competente en cuanto a su desempeño, deberá tener a más de experiencia, conocimiento de las propiedades de los materiales y la incidencia que los defectos tienen sobre estas propiedades. Además, deben tener una calificación o certificación según los códigos aplicativos como nivel I, II y III. Dentro de la

inspección ultrasónica se manejan parámetros y variables que deben ser registradas en un informe de inspección. Los principales términos usados en la inspección ultrasónica son:

Ganancia. Es la amplitud o intensidad de la onda ultrasónica que una vez enviada por el equipo, es recibida de regreso por el mismo, y registrada en la pantalla. El uso y regulación de ésta, está detallado en el código y así mismo en el procedimiento escrito. Dependiendo de la atenuación que ofrezca el material, la ganancia deberá ser modificada para cumplir con los requerimientos del procedimiento. La ganancia se mide en dB (decibeles).

Campo. Es la representación en pantalla del “tiempo de vuelo” de la onda, que, según la escala escogida, es posible reflejar la distancia recorrida. Dependiendo del tipo de transductor usado, espesor a evaluar y discontinuidades buscadas, se puede escoger el tamaño del campo, para así, visualizar correctamente las indicaciones. El campo se puede visualizar, entonces, en unidades de longitud y tiempo (milímetros o segundos).

Velocidad del sonido. Esta es una constante para cada material y se puede escoger en el equipo para que el mismo, con este dato, pueda corregir las escalas de tiempo de vuelo y campo. La velocidad del sonido se mide en metros por segundo (m/s), o en pulgadas por segundo (plg/s).

Retardo (punto inicial de ventana). Es el punto variable para el usuario del equipo donde se considera el inicio de la onda en la pantalla, posibilitando desprestigiar los ecos internos del transductor, del acople con el material e incluso la pintura, escogiendo que se muestre solamente el eco correspondiente al material propio de estudio.

Frecuencia. Esta es una característica propia del transductor. Los transductores trabajan en un rango de 0,1 a 18 MHz.

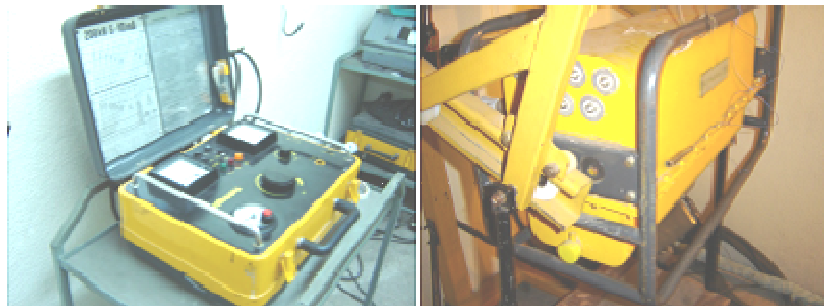
2.5.4.5 Radiografía industrial (RT). La inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física en una amplia variedad de materiales, permitiendo asegurar la integridad y

confiabilidad de un producto. Al aplicar RT, normalmente se obtiene una imagen del interior de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material (VILLACRÉS, 2009).

A pesar de que este trabajo intenta cubrir la mayor parte de técnicas no destructivas de diagnóstico, la teoría de Radiografía Industrial no será desarrollada de forma extensa en este proyecto por razones que entre otras detallo a continuación:

- El riesgo para el personal operador y no operador que se permite es muy alto.
- El costo para este ensayo resulta alto en bajas y altas cantidades.

Figura 27. Consola de mando y cabezal de Rx marca Balteau ®



Fuente: VILLACRÉS, Christian. Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldaduras en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa Inendec. Tesis. ESPE. 2009

CAPÍTULO III

3. ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La especificación de procedimiento de soldadura (W.P.S) (E.P.S) significa la combinación de las variables usadas para realizar cierta soldadura. Los términos “procedimiento de soldadura”, o “procedimiento” también se pueden usar (MENDOZA, 2010).

La W.P.S es un documento, una guía para soldar donde se especifican las variables, o sea, una hoja de guía que sirve para dar guías al soldador para que realice su trabajo. Cuando se diseña la WPS, la idea es garantizar las propiedades mecánicas de la junta soldada, luego este documento se les da a los soldadores para que reproduzcan lo que se especificó. Como mínimo, la W.P.S depende del proceso; especificación, clasificación y diámetro del electrodo; características eléctricas, especificación del metal base; temperatura mínima de precalentamiento entre pasadas; corriente de soldadura; voltaje del arco, velocidad de avance; posición de la soldadura; tratamiento térmico post soldadura, velocidad de flujo y tipo de gas de protección y detalles del diseño de la junta (MENDOZA, 2010).

3.1 Variables de procedimientos de soldadura

La ejecución de la soldadura tiene variables; en la WPS se deben especificar todas las variables que se deben cumplir en el proceso de soldadura. En el AWS D1.1-2010 hay un listado de variables mínimas que se deben especificar en una WPS, no de manera directa, pero en el Anexo N, Formulario N-1 del código AWS D1.1-2010, están todas las variables que se deben especificar. En este caso el código AWS D1.1-2010 establece dos tipos de variables, variables esenciales y variables esenciales suplementarias.

Variables esenciales. Cuando un cambio en una condición de soldadura afecta a las propiedades mecánicas de la unión soldada. Según el código AWS D1.1-2010 las variables son dependientes del proceso de soldadura que se usa.

Variables esenciales suplementarias. Cuando un cambio en una condición de soldadura afecta a las propiedades de tenacidad a las entallas de una unión soldada. Las variables esenciales suplementarias son adicionales a las variables esenciales para cada proceso de soldadura.

Rangos de variables. El código AWS D1.1-2010 establece rangos para algunas variables, ejemplo, rango de espesores, grupo de materiales, etc.; entonces, para sacarle el máximo provecho a una WPS se debe aprovechar bien los rangos, dado que *En producción se hace lo que el procedimiento (WPS) permite.* Se debe diseñar la WPS con los rangos tan amplios como el código lo permita, los códigos dan especialmente estos rangos para todos los que son variables esenciales; para variables no esenciales el código no da ningunos límites y el diseñador de la WPS es quien debe poner estos límites, y se deben poner los límites tan amplios como las prácticas recomendadas (conocimiento, experiencia) lo permitan.

3.2 Propósito de las WPS's

La W.P.S es la herramienta primaria usada para comunicar al soldador, supervisor e inspector como una soldadura específica debe realizarse. La conveniencia de una soldadura realizada por un soldador diestro de acuerdo con los requerimientos de una W.P.S solo puede ser tan buena como la W.P.S. misma (MENDOZA, 2010).

Las W.P.S son los medios primarios de comunicación para todas las partes involucradas. Por consiguiente deben estar disponibles para los capataces, inspectores y soldadores. Existen muchas maneras para suministrarlas, pero indiferentemente del método, las W.P.S. deben estar disponibles para aquellas personas autorizados para utilizarlas. 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.

Para evitar actividades innecesarias tales como la remoción y reemplazo de una soldadura inaceptable, las W.P.S. ayudan a asegurar la calidad de la soldadura y la construcción económica. El costo de la soldadura es inversamente proporcional a la velocidad de deposición.

3.3 Objetivo de las WPS's

El objetivo de la WPS es garantizar que las propiedades mecánicas de la junta soldada sean las que se requiere; me ayuda a asegurar que las propiedades mecánicas de la junta soldada sean alcanzadas, dando direccionamientos de cómo realizar la soldadura.

3.4 Estudio del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010

3.4.1 WPS's precalificadas. El código AWS D1.1-2010 en su Sección 3, permite el uso de W.P.S precalificado. La precalificación de la WPS se define como la excepción de las pruebas de calificación de los WPS requeridos en la sección 4 del código AWS D1.1-2010. Las W.P.S precalificadas son aquellas que el comité del AWS D1.1 ha determinado que a lo largo del tiempo tiene una historia de ejecución aceptable en múltiples aplicaciones, por lo cual no están sometidas a una calificación impuesta por otros procedimientos de soldadura (MENDOZA, 2010).

Todas las WPS's deben estar por escrito (ver Anexo N y Anexo Q del código AWS D1.1-2010) pues este código establece que si se van a hacer soldaduras de calidad que sean validadas por lo que el código establece, deben ser hechas usando una WPS escrita. Los soldadores, operadores y punteadores usados en la soldadura con una WPS precalificada deben ser calificados de acuerdo a la sección 4 del código.

El ingeniero debe juzgar si una junta precalificada es apropiada para el trabajo y es él quien autoriza utilizar WPS's precalificadas. Previo a iniciar las soldaduras se debe remitir al ingeniero las WPS precalificadas que se quiere utilizar y pedir la aprobación, si no da la aprobación se deben calificar procedimientos.

En la sección 3 del código AWS D1.1-2010 se detallan los requerimientos que debe tener una WPS para estar exceptuado de los requerimientos de calificación del código. El único requerimiento exceptuado por la precalificación son los requerimientos de calificación de procedimientos de soldaduras de la sección 4 del código, los cuales son el ensayo mecánico y no destructivo, todas las demás secciones del código deben cumplirse de forma obligatoria, específicamente todos los suministros de destrezas impuestos por la sección 5 de fabricación del código AWS D1.1-2010.

Variables precalificadas de WPS. El código AWS D1.1-2010, establece en su sección 3 de precalificación solamente variables precalificadas de WPS, no establece diferencias entre si son esenciales o esenciales suplementarias. Las variables de WPS precalificadas son dependientes del proceso de soldadura que se usa y los parámetros se establecen en la Tabla 3.8 págs. 74, 75 del código AWS D1.1-2010.

Nomenclatura:

PJP (partial joint penetration): Junta de penetración parcial.

CJP (complete joint penetration): Junta de penetración completa.

PWHT (post weld heat treatment): Tratamiento térmico post soldadura.

CVN (Charpy V-notch Test): Ensayo de impacto Charpy.

ZAT (heat-affected zone): Zona afectada térmicamente.

3.4.1.1 Variables que se deben conocer y cumplir para que una WPS sea precalificada

Los procedimientos de soldaduras precalificados deben estar de acuerdo con todos los requerimientos precalificados en el código AWS D1.1-2010, o sea, todas sus variables deben ser precalificadas y se deben conocer y cumplir las siguientes condiciones:

Procesos de soldadura. Se debe usar un proceso de soldadura precalificado (especificación 3.2.1, pág. 59 del código AWS D1.1-2010), son precalificados los siguientes procesos:

- SMAW (la fuente de i constante es más apta)
- GMAW (excepto GMAW-S) (con fuente de voltaje constante)
- FCAW (con fuente de voltaje constante)
- SAW

Las WPS's con procesos GTAW, GMAW-S, ESW, EGW requieren de calificación.

Combinación de material base y material de aporte. Debe usarse una combinación material base/aporte precalificada (referencia 3.3 y Tabla 3.1 págs. 59 y 64-67 del código AWS D1.1-2010), observar los requerimientos en cuanto a la relación de resistencia entre el material base y el material de aporte.

Pre calentamiento mínimo y temperatura de interpasos. Se debe usar una temperatura de pre calentamiento y entre pasadas pre calificada (referencia 3.5 y Tabla 3.2 págs. 60 y 68-70 del código AWS D1.1-2010); esto evita el agrietamiento por 2 razones: por el hidrógeno que se puede quedar, y por el enfriamiento brusco. A mayor tiempo que se quede caliente el material, el hidrógeno tiene mayor tiempo para abandonar (300 °C más o menos). El pre calentamiento que se hace en la junta se mide a un mínimo de 3 plg (8 mm) a la redonda.

Requerimientos específicos. Referentes básicamente sobre los detalles de las juntas como los tamaños, las dimensiones, los ángulos, etc., para varios tipos de soldaduras, las cuales deben mantenerse:

- Los requerimientos para las soldaduras de filete deben ser de acuerdo con la referencia 3.9 pág. 61 del código AWS D1.1-2010, y el tamaño mínimo del filete no menor a lo que establece la Tabla 5.8 pág. 209 del código AWS D1.1-2010.
- Los requerimientos para las soldaduras de tapón y ranura/acanaladas de acuerdo con la referencia 3.10 pág. 61 del código AWS D1.1-2010.
- Los requerimientos para soldaduras de ranura de PJP y las dimensiones requeridas se muestran en el párrafo 3.12 pág. 62 del código AWS D1.1-2010.
- Los requerimientos para soldaduras de ranura de bisel CJP y las dimensiones requeridas se muestran en el párrafo 3.13 pág. 62, 63 del código AWS D1.1-2010. Además se deben cumplir con los requerimientos comunes de soldadura de bisel para uniones PJP y CJP (referencia 3.11 del código AWS D1.1-2010).
- Los requerimientos de PWHT deben ser de acuerdo con la referencia 3.14 pág. 63 del código AWS D1.1-2010.

Juntas pre calificadas para soldaduras de ranura del tipo CJP o PJP. Se especifican detalladamente en las Figuras 3.3 y 3.4 págs. 77-115 del código AWS D1.1-2010, los detalles de las juntas recomendadas se deben seleccionar dependiendo del tipo de junta PJP o CJP. Aun si los detalles de juntas pre calificadas son empleados, el procedimiento de soldadura debe ser calificado mediante ensayos si otras condiciones pre calificadas no se conocen.

Requerimientos generales de las WPS's. Los requerimientos generales de una WPS se establecen en la referencia 3.7 pág. 60, 61 del código AWS D1.1-2010, y se resumen en la Tabla 3.7 pág. 73 del código AWS D1.1-2010; se presentan a continuación:

- El estatus de precalificado requiere estar de acuerdo a una variedad de parámetros procedimentales ampliamente contenidos en la Tabla 3.7 del código AWS D1.1-2010, entre las cuales se incluyen limitaciones para: diámetros máximos de electrodos, corriente de soldadura, espesor del pase de raíz, espesor del pase de relleno, tamaño de la soldadura de filete pasada simple y ancho de capas de soldadura pasada simple.
- Requerimientos de soldadura de posición vertical progresión ascendente, a excepción de elementos tubulares donde se puede usar la progresión ascendente o descendente (referencia 3.7.1 pág. 60 del código AWS D1.1-2010).
- Se debe cumplir la relación ancho/profundidad (referencia 3.7.2 pág. 60 y Figura 3.1 pág. 76 el código AWS D1.1-2010), trata sobre la geometría no permitida de los cordones, lo que implica que se debe evitar que se produzcan estas formas.

Limitaciones de las variables de la WPS (referencia 3.6 pág. 60 del código AWS D1.1-2010). Todas estas variables deben estar dentro de los rangos que el proveedor del consumible proporciona. Entonces aquí se necesita la literatura del proveedor.

- Intensidad de corriente
- Voltaje
- Velocidad de soldeo
- Flujo de gas de proyección

Cambios más allá de lo especificado en la WPS precalificada requiere de un nuevo WPS o revisión del actual. Además de los requerimientos de la sección 3 del código AWS D1.1-2010, la soldadura desarrollada con WPS precalificada debe estar de acuerdo con las otras provisiones del código contenido en la sección 5 de fabricación.

El código no supone que el uso de una WPS implique que se generará uniones que cumplan los requerimientos o condiciones de calidad exigidas por el código. Es responsabilidad del constructor verificar/asegurar que las variables particulares relacionados dentro de los requerimientos de WPS precalificadas son adecuadas para la aplicación específica.

3.4.2 Calificación de las WPS's. El código AWS D1.1-2010 en su sección 4 parte A, B y D establece los requerimientos para los ensayos de calificación de las WPS's. Existen dos razones primarias del porque los procedimientos de soldadura pueden ser calificados mediante ensayos. En primer lugar, puede ser un requerimiento contractual. Segundo, una o más condiciones específicas encontradas en la producción pueden desviarse de los requerimientos precalificados. En cada caso, un ensayo de soldadura puede ser hecho antes de establecer la WPS final. Los valores específicos de las variables del procedimiento (WPS) deben ser obtenidos de los resultados de la calificación (PQR) (MENDOZA, 2010).

Registro de calificación del procedimiento (PQR). El PQR (Procedure Qualification Record) es el documento que valida, respalda, modifica o soporta a la WPS calificada mediante ensayos. Es un registro de los valores reales de las variables esenciales (y de otras variables si se requieren) empleadas cuando se suelda un cupón. Documenta los resultados del trabajo de soldadura y los de los ensayos de los cupones.

Contenido del PQR. Los datos tomados al soldar y ensayar una probeta, deben consignarse en el PQR. Solamente debe consignarse la información real que se observe durante la prueba, no deben registrarse datos que no fueron observados. El PQR debe contener:

- Las variables esenciales de los procesos empleados en el procedimiento.
- Las variables esenciales suplementarias cuando se requiera pruebas de impacto.
- Toda información que se considere necesaria.

El PQR verifica las propiedades mecánicas de la soldadura mediante la documentación de los resultados obtenidos de los ensayos destructivos. Suministra la prueba de soldabilidad y lista los valores reales (actuales) de las variables empleadas para realizar la soldadura. Deben escribirse las variables esenciales para cada proceso empleado.

Etapas de un PQR:

1. Escribir una WPS preliminar.
2. Soldar un cupón de prueba con base en la WPS preliminar.
3. Preparar los especímenes de prueba.
4. Realizar directamente u ordenar los ensayos requeridos.

5. Evaluar los resultados de los ensayos.
6. Documentar los resultados en un PQR.

El primer paso en la calificación de un procedimiento de soldadura mediante ensayos es determinar el procedimiento a calificar. Las mismas fuentes citadas para los puntos de inicio de las W.P.S. precalificadas podrían ser usadas para las W.P.S. calificadas mediante ensayos (MENDOZA, 2010).

3.4.2.1 Parte A – Requerimientos generales. Los requerimientos de la Parte A del código AWS D1.1-2010 son requisitos generales y comunes tanto para la calificación de procedimientos como para la calificación del personal de soldadura (la calificación de soldadores se lo analiza con detenimiento en el capítulo 4 de este proyecto). El código AWS D1.1-2010 en la sección 4, Parte A se refiere sobre el tema correspondiente a la calificación de procedimientos en los siguientes términos:

- Responsabilidad del contratista: Calificar las WPS's de acuerdo a la Parte B de la sección 4 del código AWS D1.1-2010.
- Responsabilidad del ingeniero: Aceptar la calificación de otros códigos, establecer requerimientos de impacto (CVN) según la Parte D de la sección 4 del código AWS D1.1-2010, si el CVN no está especificado en los documentos de contrato esto no es obligatorio realizar.
- Validez de las calificaciones: Se refieren solamente al personal de soldadura no al tiempo de valides de las WPS, esto significa que una WPS seria valido por siempre.
- Registros PQR: Siempre deben estar disponibles para el inspector de verificación y el ingeniero. En tanto que las WPS siempre deben estar disponibles para los soldadores.

Requerimientos comunes para la calificación de la WPS y el desempeño del personal de soldadura. Se encuentran en la referencia 4.3 pág. 126 del código AWS D1.1-2010, entre los más importantes están las posiciones de soldadura.

Posiciones de soldadura. Se deben diferenciar dos tipos de posiciones de soldadura:

1. Posiciones de soldaduras de producción.
2. Posiciones de ensayo para soldaduras de calificación.

Tabla 9. Relación y clasificación de las posiciones de soldadura

Clasificación de Posiciones							
Posiciones de Soldaduras de Producción:		Posiciones de Ensayo para Soldaduras de Calificación (Pruebas)					
Ranura fig. 4.1*	Filete fig. 4.2*	Ranura			Filete		
		Planchas fig. 4.3*	Tubos fig. 4.4*		Planchas fig. 4.5*	Tubos fig. 4.6*	
	Posiciones		Multi- posiciones			Posiciones	Multi- posicione
Plana (F)		1G	1G**	5G 6G 6GR	1F**	1F	5F
Horizontal (H)		2G	2G		2F***	2F	
Vertical (V)		3G			3F		
Sobre cabeza(OH)		4G			4F	4F	

* figuras del código AWS D1.1-2010

** que el tubo rota.

*** que el tubo esta fija o rotando.

Fuente: Autor

El análisis de las Figuras 4.1 y 4.2 págs. 157, 158 del código AWS D1.1-2010 sirven para determinar la posición en la que está ubicada una soldadura en el espacio en la producción, tomar en cuenta la cara y raíz de la soldadura. Según estas figuras la soldadura tienen dos ejes: uno axial o longitudinal a la soldadura, y el otro eje de rotación. En la producción de una obra se necesita tener varias WPS's, pues la obra dice que se tiene que soldar en tales posiciones, entonces, en la planificación de la producción se dice cuántas WPS's se necesita calificar para hacer tales soldaduras.

3.4.2.2 Parte B – Especificación de procedimientos de soldadura. La parte B de la sección 4 del código AWS D1.1-2010 contiene los requerimientos de los ensayos de calificación de las WPS's.

Empezando el análisis de esta parte del código AWS D1.1-2010 se debe tener en cuenta que hay diferencia y/o relación entre: soldadura de producción y soldadura de calificación, variables de calificación y variables de producción, posiciones de calificación y posiciones de producción y, tipos de soldaduras de calificación y tipos de soldaduras de producción. Estas variables de producción al estar relacionadas con las variables de calificación, significan, que son variables de producción de soldaduras calificadas por una WPS (calificada).

1) **Posiciones calificadas de soldadura para producción.** En la Tabla 4.1, pág. 138 del código AWS D1.1-2010 se encuentran detalladas las posiciones de calificación y las posiciones para la producción; o sea, las posiciones de soldadura de producción calificadas por una WPS. En otras palabras, si se califica un procedimiento en alguna de estas posiciones de calificación, se ve, que tipo de soldadura y en que posiciones habilita a soldar en producción ésta WPS calificada.

La Tabla 4.1, pág. 138 del código AWS D1.1-2010 prevé las posibilidades de hacer la calificación de la WPS ya sea utilizando placas o elementos tubulares, por ejemplo, si se hace una calificación con placa se puede calificar utilizando una unión de ranura, de filete o uniones de punto y/o ranura.

Tabla 10. Distribución de parámetros de calificación y producción según la Tabla 4.1, pág. 138 del código AWS D1.1-2010

Calificación ← → Producción

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	Positions	Groove CJP	Groove PJP	Fillet ⁱ	Butt Joint		T-, Y-, K- Connections		Fillet ⁱ	Butt Joint		T-, Y-, K- Connections		Fillet ⁱ
							CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP	
P L A T E	CJP Groove ^a	1G	F	F	F	F ^b	F ^b			F	F	F			F	
		2G	F, H	F, H	F, H	(F, H) ^b	(F, H) ^b			F, H	F, H	F, H			F, H	
		3G	V	V	V	V ^b	V ^b			V	V	V			V	
	4G	OH	OH	OH	OH ^b	OH ^b			OH	OH	OH			OH		
Fillet ^a	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														
T U B U L A R	CJP Groove	1G Rotated	F	F	F	F ^c	F		F	F	F ^c	F		F	F	
		2G	F, H	F, H	F, H	(F, H) ^c	F, H		F, H	F, H	(F, H) ^c	F, H		F, H	F, H	
		5G (2G + 5G)	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ^c	F, V, OH	All ^e	F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ^c	F, V, OH	All ^f	F, V, OH	F, V, OH	
		6G	All	All	All	All ^c	All	All ^e	All	All	All ^c	All	All ^f	All	All	
	6GR	All ^d	All	All	All ^d	All	All ^e	All	All	All ^d	All	All ^f	All	All		
Fillet	1F Rotated			F						F					F	
	2F			F, H						F, H					F, H	
	2F Rotated			F, H						F, H					F, H	
	4F			F, H, OH						F, H, OH					F, H, OH	
5F			All						All					All		

Fuente: Autor

Se puede observar en la Tabla 4.1 pág. 138 del código AWS D1.1-2010 que, hacer una calificación en placa es muy limitada porque solamente permite soldar en producción en la posición que se hace la calificación; esto repercute específicamente en el número de WPS's necesarios para un trabajo. Mientras que hacer una calificación en tubería es más amplio, porque permite soldar en producción en otras posiciones e inclusive para ciertos casos permite soldar en todas las posiciones.

Además, hay que tomar en consideración que al hablar de soldaduras de producción se está hablando de las especificaciones de procedimientos de soldaduras (WPS final), mientras que al considerar la calificación de las soldaduras se está considerando el registro de calificación del procedimiento (PQR).

Tipos de soldadura. En la misma Tabla 4.1 del código AWS D1.1-2010, se define el tipo y la posición de la soldadura que se tienen que hacer en la producción; y en su función se selecciona el tipo de prueba de calificación, decidiendo el tipo de material (placa o tubular), el tipo de soldadura y la posición de soldadura de calificación.

Al diferenciar entre producción (WPS final) y calificación (PQR) se ve que hay diferentes variables tanto para producción como para calificación.

Tabla 11. Resumen de variables de calificación y producción según el código AWS D1.1-2010

PRODUCCIÓN			
Tipos de soldadura	Soldaduras de ranura del tipo CJP o PJP para conexiones tubulares y no tubulares.		Tabla 4.1
	Soldaduras de filete para conexiones tubulares y no tubulares.		Tabla 4.1
	Soldaduras del tipo punto y ranura (Plug/Slot) para conexiones no tubulares.		Tabla 4.1
Posiciones de soldadura	(1) Posiciones de soldaduras de ranura.		Fig. 4.1
	(2) Posiciones de soldaduras de filete.		Fig. 4.2
	(3) Posiciones calificadas de soldadura para producción.		Tabla 4.1
Variables de la WPS	Se obtienen de los resultados de la calificación, o sea del PQR.		
CALIFICACIÓN			
Tipos de soldadura	(1) Soldaduras ranuradas CJP para conexiones no tubulares		Ver 4.10
	(2) Soldaduras ranuradas PJP para conexiones no tubulares		Ver 4.11
	(3) Soldaduras de filete para conexiones tubulares y no tubulares		Ver 4.12
	(4) Soldaduras ranuradas CJP para conexiones tubulares		Ver 4.13
	(5) Soldaduras ranuradas PJP para conexiones tubulares T, Y y K and uniones a tope		Ver 4.14
	(6) Soldaduras de punto y ranura para conexiones no tubulares		Ver 4.15
Posiciones de soldadura	(1) de ranuras en planchas		Fig. 4.3
	(2) de ranuras en cañerías		Fig. 4.4
	(3) de filete en planchas		Fig. 4.5
	(4) de filete en cañerías o tuberías		Fig. 4.6
Tipo y número de pruebas para calificar una WPS	Soldaduras de Ranura de CJP		Tabla 4.2
	Soldaduras de Ranura de PJP		Tabla 4.3
	Soldaduras de Filete		Tabla 4.4
Variables del PQR	Esenciales	SMAW, SAW, GMAW, GTAW y FCAW	Tabla 4.5
		ESW, EGW	Tabla 4.7
	Esenciales Suplemen	SMAW, SAW, GMAW, GTAW y FCAW	Tabla 4.6
Material base	Aceros calificados por el PQR		Tabla 4.8

Fuente: Autor

2) Tipos de soldadura para la calificación de procedimientos. Son requerimientos específicos de los tipos de soldadura que se utilizan para calificar una WPS. El código AWS D1.1-2010 presenta una clasificación de los tipos de soldadura que se pueden utilizar para el propósito de calificar la WPS. El código presenta 6 tipos de soldadura con las cuales se puede calificar una WPS.

1. Soldaduras de ranura CJP para conexiones no tubulares (ver la referencia 4.10 pág. 129 del código AWS D1.1-2010.)
2. Soldaduras de ranura PJP para conexiones no tubulares (acampanadas) (ver la referencia 4.11 pág. 129 del código AWS D1.1-2010.)
3. Soldaduras de filete para conexiones no tubulares y tubulares (ver la referencia 4.12 pág. 129 del código AWS D1.1-2010.)
4. Soldaduras de ranura CJP para conexiones tubulares (ver la referencia 4.13 pág. 130 del código AWS D1.1-2010.)
5. Soldaduras de ranura PJP para conexiones tubulares K, Y, J (ver la referencia 4.14 pág. 131 del código AWS D1.1-2010.)
6. Soldaduras de tapón y de ranura para conexiones tubulares y no tubulares (ver la referencia 4.15 pág. 131 del código AWS D1.1-2010.)

Cupones, tipo y número de especímenes de prueba para la calificación de una WPS. Para definir el cupón de prueba se debe primeramente establecer los especímenes de prueba. Si ya se define el tipo de probeta (placa o tubo) y la posición de soldadura para hacer la calificación, entonces, se puede establecer los especímenes de prueba, que están en función del tipo de probeta escogido (placa o tubular), el tipo de soldadura para calificación de procedimientos, y el espesor de los materiales a utilizarse en la producción.

Los especímenes de prueba están especificados en las Tablas 4.2, 4.3, y 4.4 págs. 139-141 del código AWS D1.1-2010; donde se debe escoger el espesor del cupón de prueba, de tal manera que permita hacer todas las soldaduras en producción (si es factible) o hay que ver cuál es más ventajoso. Seguidamente al escoger el espesor del cupón de prueba, la tabla indica los ensayos mecánicos que se deben hacer, dando el número y tipo de especímenes de prueba. En estas tablas se especifican los ensayos mecánicos estándar (en condiciones estándar) no los ensayos mecánicos adicionales. Finalmente como información específica y muy importante, las Tablas 4.2, 4.3 o 4.4 (la que sea

aplicable) del código AWS D1.1-2010 dan el rango de espesores y diámetros en el cual el procedimiento de soldadura quedará calificado.

Una vez establecido los especímenes de prueba necesarios para calificar una WPS, se deben verificar los tamaños de dichos especímenes, con lo cual finalmente se puede obtener el cupón de prueba y establecer su tamaño. Entonces, para el proceso de calificación de la soldadura se tiene que dimensionar el cupón de prueba y ver como se sacan las probetas (o especímenes) debido a que hay un orden y tamaños específicos.

Tabla 12. Distribución de parámetros de calificación y producción según la Tabla 4.2, pág. 139 del código AWS D1.1-210

espesor de espécimen		especímenes de prueba				espesores calificados			
Table 4.2									
WPS Qualification—CJP Groove Welds: Number and Type of Test Specimens and Range of Thickness and Diameter Qualified (see 4.5) (Dimensions in Millimeters)									
1. Tests on Plate ^{a,b}									
Nominal Plate Thickness (T) Tested, mm	Number of Specimens				Nominal Plate, Pipe or Tube Thickness ^{c,d} Qualified, mm				
	Reduced Section Tension (see Fig. 4.14)	Root Bend (see Fig. 4.12)	Face Bend (see Fig. 4.12)	Side Bend (see Fig. 4.13)	Min.	Max.			
3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(Note i)	3	2T			
10 < T < 25	2	—	—	4	3	2T			
25 and over	2	—	—	4	3	Unlimited			
2. Tests on Pipe or Tubing ^{a,z}									
Nominal Pipe Size or Diam., mm	Nominal Wall Thickness, T, mm	Number of Specimens				Nominal Diameter ^e of Pipe or Tube Size Qualified, mm	Nominal Plate, Pipe or Tube Wall Thickness ^{c,d} Qualified, mm		
		Reduced Section Tension (see Fig. 4.14)	Root Bend (see Fig. 4.12)	Face Bend (see Fig. 4.12)	Side Bend (see Fig. 4.13)		Min.	Max.	
Job Size Test Pipes	< 600	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(Note i)	Test diam. and over	3	2T
		10 < T < 20	2	—	—	4	Test diam. and over	T/2	2T
		T ≥ 20	2	—	—	4	Test diam. and over	10	Unlimited
	≥ 600	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(Note i)	Test diam. and over	3	2T
		10 < T < 20	2	—	—	4	600 and over	T/2	2T
		T ≥ 20	2	—	—	4	600 and over	10	Unlimited
Standard Test Pipes	50 mm OD × 6 mm WT or 75 mm OD × 6 mm WT	2	2	2	—	20 through 100	3	20	
	150 mm OD × 14 mm WT or 200 mm OD × 12 mm WT	2	—	—	4	100 and over	5	Unlimited	
3. Tests on ESW and EGW ^{a,h}									
Nominal Plate Thickness Tested	Number of Specimens				Nominal Plate Thickness Qualified				
	Reduced Section Tension (see Fig. 4.14)	All-Weld-Metal Tension (see Fig. 4.18)	Side Bend (see Fig. 4.13)	CVN Tests	Min.	Max.			
T	2	1	4	(Note f)	0.5T	1.1T			

Fuente: Autor

Tamaños de los especímenes. Los tamaños de los especímenes de prueba se muestran en las Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.18 págs. 168-170, 173 del código AWS D1.1-2010, donde se encuentran detallados los tamaños para los especímenes de doblado de cara y de raíz tanto longitudinal como transversalmente, el tamaño de los especímenes de doblado de lado y el tamaño/detalles para el ensayo de tensión de sección reducida.

Tamaño del cupón y localización de especímenes. El código AWS D1.1-2010 especifica en las Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 el tamaño del cupón de prueba con la respectiva localización y distribución de los especímenes de ensayo.

Para calificar una WPS se debe determinar el tamaño del cupón de prueba en función de los especímenes de prueba necesarios, referirse ha:

- Para tubos. Se especifican de 2 formas:
 - Cañería (o tubo): En la Figura 4.7 pág. 163 del código AWS D1.1-2010.
 - Tubo de caja: En la Figura 4.8 pág. 164 del código AWS D1.1-2010.

- Para placas. Específicamente para WPS se habla de 3 formas:
 - Para los procedimientos ESW y EGW: En la Figura 4.9 pág. 165 del código AWS D1.1-2010.
 - Espesores mayores a 3/8 plg (10mm): En la Figura 4.10 pág. 166 del código AWS D1.1-2010.
 - Espesores iguales o menores a 3/8 plg (10mm): En la Figura 4.11 pág. 167 del código AWS D1.1-2010.

Cuando el cupón es un miembro tubular (tubo o elemento tipo caja), es importante considerar que cuando se suelda en posición 5G o 6G el punto donde el soldador inicial su soldadura es:

- Top: desde arriba hacia abajo si el electrodo es celulósico
- Bottom: desde abajo hacia arriba si el electrodo es de bajo hidrógeno.

Esto es importante porque es precisamente en estos puntos donde se saca la probeta de tensión.

Importante: Una vez terminado este proceso de análisis, se debe verificar si va a ser factible, o sea, si con esto se cubre la producción, si es así, entonces, se realiza la calificación.

3) Variables esenciales de calificación. Son *requerimientos generales* para la calificación de la WPS según especialmente el proceso de soldadura a utilizar en la producción. Las variables esenciales del PQR tienen sus rangos y por lo tanto limitaciones. Cuando se producen cambios en las variables esenciales de la WPS más allá de los límites de las variables esenciales del PQR, entonces la WPS requiere de recalificación. Estos límites de las variables esenciales del PQR están en función del proceso de soldadura, y se especifican en las Tablas 4.5, 4.6 y 4.7 págs. 142-147 del código AWS D1.1-2010.

La Tabla 4.5 pág. 142 del código AWS D1.1-2010 permite, para la producción, ampliar el rango de las variables con el que se hizo el cupón de calificación. Estas variables son para la calificación estándar (sin requerimientos de impacto). Por ejemplo, cuando ya se tiene la WPS calificada, ya se puede soldar en producción, y para ver las máximas limitantes que se tienen en producción con esta WPS calificada se debe ir a la Tabla 4.5 pág. 142 del código AWS D1.1-2010, donde están las variables esenciales de calificación, la cual especifica que tanto se puede variar una variable sin necesidad de volver a calificar la WPS calificada.

Finalmente, si una WPS ha sido calificada para requerimientos de impacto se van a sumar algunas otras variables, las denominadas variables esenciales suplementarias, que están en la Tabla 4.6 pág. 145 del código AWS D1.1-2010.

Calificación del metal base. El método de calificación del metal base se especifica en la Tabla 4.8 pág. 147 del código AWS D1.1-2010, en la cual se especifica que el metal base para el PQR se lo encuentra en la Tabla 3.1, Tabla 4.9 del código AWS D1.1-2010 o puede ser un acero no listado en dichas tablas, con lo cual se selecciona el material para el cupón sobre el que se quiere hacer la prueba. Considerando la Tabla 4.8 del código AWS D1.1-2010, un grupo de metales base sujetos a pruebas de calificación (PQR) califican a otros grupos de metales base para la producción (WPS); de la misma manera, los metales que no están en las listas (Tabla 3.1 y Tabla 4.9 del código AWS D1.1-2010) deben ser aprobados por el ingeniero y calificados. Por lo tanto, el criterio de selección del metal base para soldar el cupón de calificación sería aquel que hay en el mercado y que es más barato, siempre y cuando su calificación permita realizar las soldaduras necesarias en producción.

Además, la Tabla 4.9 págs. 148, 149 del código AWS D1.1-2010 contiene recomendaciones para metales de aporte de esfuerzo calificado y temperaturas mínimas de precalentamiento e inter pases.

Sabiendo que la WPS es lo que se hace en Producción y que el PQR es lo que se hace en Calificación, en la Tabla 4.8 pág. 147 del código AWS D1.1-2010 se puede analizar y ver el hecho de que, un solo PQR puede soportar varios WPS's.

Conclusión: Siguiendo los requerimientos del código AWS D1.1-2010, se determina primeramente cual es el cupón de prueba, seguidamente se ha determinado el tipo, tamaño y material.

Terminado la calificación intrínseca se procede a la calificación extrínseca. Calificación intrínseca quiere decir que la calificación se hace internamente desde dentro del mismo código, sin necesidad de hacer absolutamente nada más que observar y aplicar sus estipulaciones, es la calificación básica, esencial y fundamental. Calificación extrínseca significa que la calificación se hace externamente desde afuera hacia dentro, o sea, para cumplir con las estipulaciones del código se deben hacer ensayos físicos externos y luego comparar sus resultados con los criterios de aceptación internos.

4) Tipos de pruebas de calificación de WPS's y criterios de aceptación. El tipo y número de ensayos de calificación requeridos para calificar una WPS se especifican en las Tablas 4.2, 4.3 4.4 del código AWS D1.1-2010, que ya se analizaron en el punto 2) de este capítulo. Los tipos de pruebas (END y ensayos mecánicos) son:

- Inspección Visual (VT)
- END
- Doblado de cara, raíz y lado
- Tensión de sección reducida
- Tensión de todo-metal-soldado
- Macro ataque

Una vez realizada la soldadura en el cupón de prueba, se debe primeramente: hacer la VT, si la VT es positivo, entonces se puede hacer el END tomando en consideración los criterios de aceptación (para la calificación de la WPS), si el END es positivo, entonces

se procede a separar los especímenes de prueba o probetas con los tamaños correspondientes según las Figuras 4.7 a 4.11 págs. 163-167 del código AWS D1.1-2010, para ser preparados nuevamente para las pruebas en conformidad con las Figuras 4.12, 4.13, 4.14, y 4.18, págs. 168-170, 173 del código AWS D1.1-2010 en función de los ensayos mecánicos que se deben realizar.

Los ensayos mecánicos que están relacionados con las probetas, para calificar la WPS según lo que el código AWS D1.1-2010 establece, son:

Tabla 13. Clasificación de los ensayos mecánicos a realizar para la calificación de una WPS según el código AWS D.1.1-2010

	Ensayos mecánicos (4.9.3)	Tipo de ensayos			Preparación de las probetas	Criterios de aceptación
Cuando se califica soldaduras de Ranura CJP	Ensayos mecánicos estándar	Tensión reducida			Figura 4.14	Su ≥ Su mín. del metal base
		Doblado	Transversal	Cara	Figura 4.12	4.9.3.3
				Raíz	Figura 4.12	
			Lateral	Figura 4.13		
		Longitudinal	Cara	Figura 4.12		
	Raíz		Figura 4.12			
Ensayos mecánicos adicionales	Impacto	A solicitud del ingeniero en caso de que se tenga estructuras de resistencia sísmica				
Cuando se califica soldaduras de Filete	-----	Macrografía				4.9.4.1

Fuente: Autor

Con todo lo analizado hasta aquí, un procedimiento quedaría calificado mediante un PQR respectivo, restando la realización del formulario que se puede hacer mediante los formularios de ejemplo del Anexo N pág. 353 del código AWS D1.1-2010. El fabricante debe preparar por escrito la WPS especificando todas las variables esenciales aplicables, pero los valores específicos de estas variables esenciales deben obtenerse del PQR. Algunas de las variables esenciales del PQR son aplicables a las variables esenciales del WPS, no al revés. No todas las variables del WPS son aplicables a las variables esenciales del PQR, sino que, todas las variables esenciales del WPS fueron obtenidas de algunas de las variables del PQR. Si la calificación es generar el PQR, entonces el PQR sirve como confirmación escrita de una calificación de WPS exitosa.

Reensayo del espécimen de prueba. Si una de las probetas no cumple los criterios de aceptación (ensayos mecánicos), entonces, dos nuevas probetas obtenidas del mismo cupón de calificación, pueden ser ensayadas. Las dos probetas deben cumplir los requerimientos de la prueba.

3.4.2.3 Parte D – Requerimientos del ensayo de impacto Charpy. La Parte D pág. 136 del código AWS D1.1-2010 establece los requerimientos para los ensayos de impacto y poder hacer la verificación de la tenacidad de las juntas soldadas. Esta Parte D no da el método de ensayo, simplemente establece que el ensayo se debe hacer a requerimiento del ingeniero, y que se pueden realizar las guías/procedimientos con cualquiera de los 3 estándares siguientes:

- ASTM E23. Métodos estándar para Charpy V Notch test de materiales metálicos.
- ASTM A370. Métodos de prueba estándar y definiciones para ensayos mecánicos de productos de acero.
- AWS B4.0. Métodos estándar para pruebas mecánicas en juntas soldadas.

Cuando se va a realizar el ensayo Charpy se debe especificar en qué zona hacerla:

- En la zona de la soldadura, o
- En la ZAT: Se debe especificar si se la hace a 1mm o a 5mm de la ZAT.

Un problema en los ensayos de impacto Charpy es la confiabilidad de los resultados, y hay que tener controles en la fabricación de la probeta, verificando que cumplan con las tolerancias de cualquiera de las especificaciones mencionadas anteriormente. Para esto, se debe hacer el levantamiento metrológico de todas las probetas que se ensayan y verificar en un microscopio si los perfiles cumplen con el estándar. Se debe verificar que cumplan con las tolerancias, debido a que la carga de impacto es súbita y las tolerancias tienen una influencia bastante significativa, y no darán los mismos resultados si las tolerancias varían mucho.

Requerimientos para el ensayo de impacto CVN. Los requerimientos para la prueba CVN están en la Tabla 4.14 pág. 156 del código AWS D1.1-2010, donde se obtienen los valores de energía promedio mínima absorbida, energía individual mínima absorbida, que son los valores que hay que comparar con los obtenidos.

Criterios de aceptación. Según las referencias 4.37.2 y 4.37.3 pág. 137 del código AWS D1.1-2010 las 3 probetas deben cumplir los siguientes requisitos:

- Que el promedio de energía absorbida sea mayor o igual al especificado en la Tabla 4.14 pág. 156 del código AWS D1.1-2010.
- Que la menor energía absorbida individual no sea menor al especificado en la Tabla 4.14 pág. 156 del código AWS D1.1-2010.

Este código también permite hacer ensayos Charpy con sub-especímenes, según la Tabla 4.15 pág. 156 del código AWS D1.1-2010. Todos los resultados deben ser reportados en el PQR.

Reensayo (retest). Cuando los requerimientos de los criterios de aceptación no se reúnen se puede realizar una reprobación. Si el grupo de 3 probetas falla, hay que sacar otro grupo de 3 probetas y someterlas al ensayo, luego las 3 probetas deben cumplir con los criterios de aceptación, si no es así se debe volver a hacer un nuevo cupón donde se hagan todo los ensayos mecánicos nuevamente, lógicamente el nuevo cupón deberá soldarse con algunas modificaciones en la WPS preliminar para garantizar la tenacidad de la soldadura.

3.5 Procedimientos-guía para preparar las WPS's precalificadas y calificadas

Una guía de desarrollo de especificación de procedimientos de soldadura es el método más adecuado para explicar el correcto uso, manejo e interpretación del código AWS D1.1-2010, y describir sistemáticamente las etapas y secuencias del método planteado. El uso de esta guía es una garantía de que la especificación de procedimiento de soldadura (WPS) sea adecuada con una correcta aplicación del código.

En el presente párrafo de este proyecto se desarrollan las guías para las WPS's precalificadas y calificadas aplicadas en la soldadura de estructuras metálicas de acuerdo al código AWS D1.1-2010, la metodología que se presenta a continuación es iniciativa del autor y tiene un carácter metódico, empezando desde consideraciones iniciales hasta terminar con el objetivo de esta guía técnica, que es la de obtener una WPS precalificada o calificada según los requerimientos del código AWS D1.1-2010. Este procedimiento es revisado por un profesional para verificar su validez y aplicación.

3.5.1 Esquema general del procedimiento-guía. Un procedimiento-guía de desarrollo de especificación de procedimiento de soldadura (WPS) contiene lo siguiente:

Tema. Se refiere al procedimiento-guía descrito, al tipo de procedimiento a utilizarse para cierta actividad.

Objetivos. Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento-guía.

Alcance. Define para que puede ser utilizado el procedimiento-guía, lo que va a hacer y sus limitaciones.

Información general. En este punto se indica la información referente a la documentación de la WPS calificada o precalificada según las secciones del código AWS D1.1-2010, que se toman en consideración.

Documentos de referencia. Se refiere a todos los documentos que apoyen el desarrollo de la especificación de procedimiento de soldadura (WPS).

Definiciones. Se refieren a las definiciones o terminologías que se deben especificar, las cuales pueden ser propias del procedimiento-guía y/o las que vienen del código aplicable. Las propias del procedimiento-guía son definiciones específicamente para la comprensión de este procedimiento-guía. Las que vienen del código son definiciones específicamente para la comprensión del código AWS D1.1-2010.

Personal. En este punto se debe determinar el nivel de preparación que debe tener el inspector de soldadura o el personal que elabora y/o califica la WPS.

Responsabilidades. Son las responsabilidades para la adecuada ejecución y cumplimiento de este procedimiento-guía.

Procesos. Se describe en forma detallada, la metodología sistemática de las etapas y secuencias de la aplicación correcta del código AWS D1.1-2010, desde el inicio hasta el final de la elaboración de la WPS, de tal manera que se logren los objetivos planteados en este procedimiento-guía.

3.5.2 *Elaboración del procedimiento-guía para las WPS's precalificadas*

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Precalificada	Rev. 0
		Página 1 de 4

Objetivo

La finalidad de este documento es establecer una metodología estándar, a través de los requerimientos generales y específicos, para realizar WPS's-Precalificadas correspondientes a uniones soldadas de componentes estructurales de acero.

Alcance

Este procedimiento-guía se utiliza en la elaboración de una WPS-Precalificada, para uniones de soldadura en elementos de estructuras de acero, según los requerimientos del código AWS D1.1-2010.

Información general

- La elaboración de una WPS-Precalificada debe ser considerada como una condición de excepción, de los requerimientos de ensayo de calificación descritos en la sección 4 del código AWS D1.1-2010. El requerimiento que se exceptúa para la precalificación es el ensayo mecánico y no destructivo. Todos los suministros de destrezas impuestos en la sección 5 de fabricación del código también aplican.
- Las WPS-Precalificadas deben estar de acuerdo con todos los requerimientos precalificados en el código, la falla se ajusta con una simple condición de precalificación que elimina la oportunidad para que una WPS sea precalificada, y su utilización deberá ser acordada a través de los documentos de contrato y del ingeniero de soldadura responsable.
- Toda WPS, tanto del tipo precalificada como calificada, deberá ser escrita y es considerado como un documento de ingeniería y/o fabricación.
- El personal de soldadura que utiliza las WPS-Precalificadas debe estar calificado en conformidad con la sección 4, parte C del código AWS D1.1-2010.

Documentos de referencia

En la elaboración de una WPS-Precalificada se seguirá las directrices especificadas en:

- AWS D1.1-2010. Sección 3 y Sección 5.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Precalificada	Rev. 0
		Página 2 de 4

Definiciones

WPS: Especificación de procedimiento de soldadura.

Personal de soldadura: Soldadores, operadores de soldadura, armadores o punteadores

PWHT: Temperatura de post calentamiento

CJP: Junta de penetración completa

PJP: Junta de penetración parcial

Personal

El personal que elabora las WPS precalificadas, así como supervisa su ejecución debe ser certificado nivel II o III, según la norma AWS QC1.

Responsabilidades

- El fabricante o contratista debe tener un programa de soldadura, el cual debe direccionar y cumplir con todas las provisiones a ser incluidas en una WPS precalificada.
- El código no supone que una WPS automáticamente alcanzará las condiciones de calidad requeridas por el código. Es responsabilidad del contratista asegurar que los parámetros particulares relacionados dentro de los requerimientos de las WPS's-precalificadas son apropiados para la aplicación específica.
- Es responsabilidad del contratista verificar las conveniencias de los parámetros sugeridos antes de que el soldador aplique el procedimiento actual en un proyecto.

Equipos y materiales

- Todas las máquinas de soldar para realizar la soldadura tienen que estar certificadas y calibradas.
- Todo el material de aporte utilizado para soldar, (electrodos, alambre, varillas, electrodo tubular, entre otros) deben presentar su certificado de calidad del fabricante y deberá estar almacenado en un lugar adecuado donde esté protegido de la humedad.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Precalificada	Rev. 0
		Página 3 de 4

Procesos

Para que una WPS sea precalificada, se requiere de la conformidad con todos los requerimientos aplicables de la sección 3 del código AWS D1.1-2010. Las WPS's que no estén conforme a los requerimientos de la sección 3 deben ser calificadas en conformidad con la sección 4 del código AWS D1.1-2010.

Cuando se desarrolla W.P.S's precalificadas, se debe utilizar la siguiente guía:

1. El punto de inicio son unos parámetros apropiados de soldadura para la aplicación a ser considerada.

El espesor del material dispone el tamaño de los electrodos y correspondientes niveles de corrientes. Los metales de relleno específicos seleccionados reflejarán los requerimientos de la resistencia de la junta. Los parámetros para la soldadura sobre cabeza naturalmente variarán de aquellos requeridos para la posición plana. Muchos otros puntos deben ser considerados. Dependiendo del nivel de familiaridad y comodidad que el contratista tiene con los valores particulares seleccionados, un modelo de soldadura puede ser apropiado.

2. Una vez que los parámetros son establecidos, es esencial inspeccionar que cada uno de los parámetros estén de acuerdo con la sección 3 del código AWS D1.1-2010.

Las WPS's-Precalificadas indicaran básicamente lo siguiente:

- El proceso de soldadura debe ser precalificado.
- La combinación metal base/metal de relleno, debe ser precalificado.
- El precalentamiento mínimo y la temperatura entre pasadas debe ser la prescrita.
- Los requerimientos específicos de los detalles de las juntas precalificadas deben mantenerse.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Precalificada	Rev. 0
		Página 4 de 4

- Los requerimientos generales deben estar de acuerdo a una variedad de parámetros procedimentales ampliamente contenidos en la Tabla 3.7 pág. 73 del código AWS D1.1-2010, incluyendo diámetro máximo del electrodo, corriente de soldadura, espesor del pase de raíz, espesor del pase de relleno, tamaño de la soldadura de filete pasada simple y capas de soldadura pasada simple.
 - Además, tomar en consideración las provisiones de la sección 5 de fabricación, pág. 193 del código AWS D1.1-2010.
3. El próximo paso es documentar por escrito los valores de la W.P.S. El fabricante puede utilizar cualquier formato conveniente. Un formato de muestra es incluido en el anexo N del código AWS D1.1-2010, pág. 354.

Formato de WPS

Al final de este procedimiento-guía se fija el formulario modelo establecido por el código AWD D1.1-2010, en el anexo N pág. 354, con los contenidos necesarios para la confección de la WPS-Precalificada, y se establecen instructivos para su llenado.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

3.5.2.1 Instructivo para el llenado del formato de la WPS precalificada

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si
 PRECALIFICADO X CALIFICADO POR ENSAYO
 o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Número de Identificación: [28]
 Revisión: [29] Fecha: [30] Por: [31]
 Autorizado por: [32] Fecha: [33]
 Tipo ----- Manual Semiautomática
 Máquina Automática
 Nombre de la Empresa: [1]
 Proceso de Soldadura: [2]
 PQR de apoyo No.(s): [3]

DISEÑO DE JUNTA USADO
 Tipo de soldadura: [4]
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: [5]
 Abertura de raíz: [6] Tamaño cara de raíz: [7]
 Angulo de ranura: [8] Radio (J-U): [9]
 Repelado de raíz: Si No Método: [10]

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: [34] Filete: [35]
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: [11]
 Tipo o Grado: [12]
 Espesor: Ranura [13] Filete [14]
 Diámetro (Tubo) [15] Espesor (Plancha) [16]

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito [36] Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEN
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro [37]
 Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: [38]
 Tipo: [39]

METALES DE RELLENO
 Especificación AWS [17]
 Clasificación AWS [18]

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: [40]
 Pasada múltiple o pasada única (por lado) [41]
 Número de Electrodos [42]
 Separación de Electrodos: Longitudinal [43]
 Lateral [44]
 Angular [45]
 Distancia del tubo de contacto a la pieza [46]
 Martillado [47]
 Limpieza entre pasadas: [48]

PROTECCIÓN
 Fundente: [19] Gas [20]
 Composición [21]
 Electrodo Fundente [22] Veloc. de Flujo [23]
 Tamaño copa de Gas [24]

PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín. [25]
 Temp. entre pasadas, Mín. [26] Máx. [27]

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: [49]
 Tiempo: [50]

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación del Alambre			
[51]	[52]	[53]	[54]	[55]	[56]	[57]	[58]	[59]

De acuerdo a MENDOZA, William en su manual “Especificación de procedimientos de soldadura W.P.S. según código D1.1-2010 A.N.S.I. /A.W.S” menciona que:

1. Colocar el nombre de la empresa que solicita la WPS.
2. Seleccione el nombre del proceso de soldadura precalificado según párrafo 3.2, pág. 59 del código.
3. Qué tipo de WPS soporta el PQR.
4. Seleccione el tipo de junta precalificada según leyenda para Figuras 3.3 y 3.4, pág. 78-115 del código.
5. Ver 5.2.2.2, pág. 193 del código.
6. Ver figura seleccionada en 4.
7. Ver figura seleccionada en 4.
8. Ver figura seleccionada en 4.
9. Ver radio de la ranura en la figura seleccionada en 4.
10. Método por el cual se realiza el repelado de la raíz. Puede ser esmeril.
11. Ver Tabla 3.1, pág. 64-67 del código.
12. Ver Tabla 3.1, pág. 64-67 del código.
13. Ver figura seleccionada en 4.
14. Ver Tabla 5.8, pág. 209 del código.
15. Ver especificaciones del fabricante.
16. De la plancha que se debe soldar.
17. Ver Tabla 3.1, pág. 64-67 del código.
18. Ver Tabla 3.1, pág. 64-67 del código.
19. Ver 5.3.3, pág. 194 del código.
20. Ver párrafo 5.3.1.3, pág. 193 del código.
21. Ver párrafo 5.3.1.3, pág. 193 del código.
22. Ver 3.1, pág. 64-67. Ver párrafo 5.3.3, 5.3.3.1, 5.3.3.2, pág. 194 del código.
23. Consultar manual G.T.A.W o G.M.A.W.
24. Consultar manual G.T.A.W o G.M.A.W.
25. Ver Tabla 3.2, pág. 68-70. Ver párrafo 3.5, 3.5.1, pág. 60 del código.
26. Ver Tabla 3.2, pág. 68-70. Ver párrafo 3.5, 3.5.1, pág. 60 del código.
27. Ver Tabla 3.2, pág. 68-70 del código.
28. Colocar la identificación a la WPS.
29. Colocar el número de revisión.

30. Colocar la fecha de la revisión.
31. Colocar el nombre de la persona que realizó la revisión.
32. Colocar el nombre de la persona solicitante.
33. Colocar la fecha de la solicitud.
34. Ver Tabla 4.1, pág. 138 del código.
35. Ver Tabla 4.1, pág. 138 del código.
36. Ver C-3.2.1, pág. 453 del código (este modo de transferencia no aplica para procedimientos precalificados ver 3.2, pág. 59).
37. Otros materiales de aporte. Ver 5.3.4 y 5.3.4.1, pág. 195 del código (ver 17. y 18.; Tabla 3.1 pág. 64-67 del código).
38. Ver 5.3.5, pág. 195 del código.
39. Ver 5.3.5, pág. 195 del código.
40. Ver C-3.7.2, pág. 454 del código.
41. Ver C-3.7.2, pág. 454 del código.
42. Ver Tabla 3.7, pág. 73 del código.
43. Ver párrafo 3.8, pág. 61 del código (proceso SAW).
44. Ver párrafo 3.8, pág. 61 del código (proceso SAW).
45. Ver párrafo 5.27, pág. 206 del código.
46. Ver manual del fabricante del proceso.
47. Ver C-5.27, pág. 479. (Ver párrafo 5.27, pág. 206.) del código.
48. Ver C-5.30, pág. 479. (Ver párrafo 5.30, pág. 207.) del código.
49. Ver C-3.14, pág. 457 del código.
50. Ver C-3.14, pág. 457 del código.
51. Ver C-3.7.2, pág. 454 del código (relacionado con 40. y 41.).
52. Igual que el 2.
53. Igual que el 18.
54. Ver manual del fabricante de relleno.
55. Según fabricante o usados en producción.
56. Según fabricante o usados en producción.
57. Según fabricante o usados en producción.
58. Ver manual del fabricante. Ver Tabla 4.5, numeral 18), pág. 143 del código.
59. Colocar figura seleccionada en 4 (MENDOZA, 2010).

3.5.3 *Elaboración del procedimiento-guía para las WPS's-calificadas*

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 1 de 8

Objetivo

La finalidad de este documento es establecer una metodología estándar, a través de los requerimientos generales y específicos para realizar las WPS's-calificadas mediante ensayos.

Alcance

Este procedimiento-guía se utiliza en la elaboración de una WPS-calificada mediante ensayos, para uniones de soldadura en elementos de estructuras de acero, según los requerimientos del código AWS D1.1-2010.

Información general

- Para cada WPS-calificada mediante ensayos deberá emitirse un documento denominado registro de calificación de procedimiento (PQR).
- La utilización por parte del contratista de la documentación de la WPS que ha sido calificada y que cuenta con la correspondiente PQR, deben ser verificadas y aprobadas para su aplicación por el ingeniero responsable.
- Las calificaciones que se realizaron y que cumplieron con las ediciones anteriores del AWS D1.1-2010 son válidas y pueden usarse mientras esas ediciones estén vigentes. El uso de ediciones anteriores deberá prohibirse para las nuevas calificaciones en lugar de la edición actual, a menos que la edición anterior específica esté especificada en los documentos de contrato.
- El fabricante o contratista deberá mantener los registros de los resultados de los ensayos, los cuales deberán estar disponibles para toda persona autorizada a verificarlos.
- Toda WPS, tanto del tipo precalificada como calificada, deberá ser escrita y es considerado como un documento de ingeniería y/o fabricación.
- Todos los requerimientos del desarrollo de una WPS-precalificada pueden ser aplicados o servir de guía a una WPS-calificada con emisión de PQR.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 2 de 8

Documentos de referencia

Los requerimientos para las pruebas de calificación, están descritos en:

- AWS D1.1-2010. Sección 4, Parte B; y Sección 6.

Definición

WPS: Especificación de Procedimiento de Soldadura.

PQR: Registro de Calificación de Procedimiento.

END: Ensayo no destructivo.

Personal

El personal que califica las WPS's-calificadas mediante ensayo, debe ser:

- Inspector de soldadura CWI nivel II o III, certificado según la norma AWS QC1.

Responsabilidades

- El contratista o fabricante es el responsable de la calificación, debe efectuar los ensayos requeridos por el código AWS D1.1-2010 para calificar la WPS.
- Es responsabilidad del ingeniero aceptar la calificación de una WPS, de otros estándares.

Procesos (*Guía para preparar las WPS's-calificadas*)

El primer paso en la calificación de una WPS mediante ensayos es determinar el procedimiento a calificar (WPS preliminar). Las mismas fuentes citadas para los puntos de inicio de las W.P.S. precalificadas podrían ser usadas para las W.P.S. preliminares.

1. Determinar el procedimiento preliminar a calificar

En función de:

- Las mismas fuentes citadas para los puntos de inicio de las WPS-precalificadas podrían ser utilizadas.
- Parámetros apropiados de soldadura.
- Inspección de cada uno de los parámetros de acuerdo con AWS D1.1-2010.
- Documentar por escrito, los valores de la WPS preliminar.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 3 de 8

- En el caso más simple, las condiciones exactas que serán encontradas en producción serán repetidas en el ensayo de calificación del procedimiento.

Los parámetros para el ensayo de soldadura son registrados en un registro de calificación de procedimiento (P.Q.R.). Los valores actuales usados deben ser registrados en este documento. Una vez determinado la WPS preliminar se procede a calificarlo.

2. Ensayos de calificación de la WPS

Básicamente es la planificación de los ensayos de calificación, donde se obtienen el tipo y tamaño del cupón y especímenes de prueba. El tipo de cupón está en función de las posiciones que se requiere en producción, mientras que el tamaño del cupón de prueba está en función del espesor necesario en producción.

Calificación primaria: En la Tabla 4.1 pág. 138 del código AWS D1.1-2010:

Definir:

- Las posiciones y el tipo de soldadura que se tiene que hacer en producción.

Escoger:

- Las pruebas de calificación
- Seleccionar el tipo de cupón (placa o tubo), la posición y el tipo de soldadura para calificar una WPS.

Tipo de soldadura para calificar una WPS: Son requerimientos específicos de los tipos de soldadura que se utilizan para calificar una WPS.

En la Tabla 4.2, 4.3, 4.4 págs. 139,141 del código AWS D1.1-2010.

Escoger:

- Los especímenes de prueba,
- Los ensayos mecánicos estándar (en condiciones estándar) y,
- Los rangos que se autorizan a soldar en producción.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 4 de 8

Con lo cual se obtiene el tipo y tamaño de los especímenes de prueba, y seguidamente se puede obtener los tipos y tamaños del cupón de prueba.

Cupones y especímenes de prueba: Los especímenes de prueba están especificados en las Tablas 4.2, 4.3, y 4.4 págs. 139-141 del código AWS D1.1-2010; en estas tablas se debe escoger el espesor del cupón de prueba, de tal manera que se permita hacer todas las soldaduras en producción (si es factible) o hay que ver cuál es más ventajoso. Consecutivamente al escoger el espesor del cupón de prueba, la tabla indica los ensayos mecánicos que se deben hacer, dando el número y tipo de especímenes de prueba. En estas tablas se especifican los ensayos mecánicos estándar (en condiciones estándar) no los ensayos mecánicos adicionales. Finalmente, la Tabla 4.2, 4.3 o 4.4 (la que sea aplicable) del código AWS D1.1-2010 da el rango de espesores y diámetros en el cual el WPS quedará calificado.

Los tamaños de los especímenes de prueba se pueden encontrar en las Figuras 4.12, 4.13, 4.14, 4.18 págs. 168-170,173 del código AWS D1.1-2010. En estas figuras se encuentran detallados los tamaños para los especímenes de doblado de cara y de raíz tanto longitudinal como transversalmente, el tamaño de los especímenes de doblado de lado, y el tamaño/detalles para el ensayo de tensión de sección reducida.

El código AWS D1.1-2010 especifica en sus Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11, el tamaño del cupón de prueba con la respectiva localización y distribución de los especímenes de ensayo.

3. Requerimientos generales del PQR

Son las *variables esenciales* a tomar en consideración en el PQR que servirán para la preparación de la WPS final. Aquí se deben tomar en consideración:

- Tabla 4.5, 4.6 y 4.7 del código según los procesos de soldadura a utilizar.
- Tabla 4.8 del código, para la calificación del metal base para el PQR.
- Tabla 3.2, o Anexo I, para la temperatura de precalentamiento y entre pasadas.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 5 de 8

4. Ensayos de soldadura

Básicamente se trata de la calificación del cupón de prueba según los ensayos de soldadura, y según los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010.

Primera parte: Hacer el cupón y soldar según lo establezca el procedimiento preliminar. Después que la plancha del ensayo es soldada y enfriada, es sometida a:

Segunda parte: Para que el cupón de ensayo sea aceptable debe pasar la inspección visual (VT), seguida de un ensayo no destructivo (END). Mientras que para los especímenes de ensayos se deben hacer los ensayos mecánicos (para ranura) o ensayos de macro ataque (para filete) como lo prescribe el código AWS D1.1-2010.

- Inspección visual VT (4.9.1 pág. 127 del código AWS D1.1-2010). El cupón debe ser sometido a VT tanto para soldaduras de ranura como para soldaduras filete, hacer este ensayo es específicamente verificar si existe algún tipo de discontinuidad, los criterios de aceptación para los tipos de discontinuidad se encuentran en la referencia 4.9.1 pág. 127 del código AWS D1.1-2010, si la VT es satisfactoria el cupón se somete a:
- Ensayos no destructivos END (4.9.2 pág. 128 del código AWS D1.1-2010). El END es un ensayo de tipo volumétrico, según la opción del contratista pueden usarse ensayo radiográfico (RT) o ensayo por ultrasonido (UT) para verificar la sanidad en la parte interna, y los criterios de calificación están en la referencia 4.9.2. pág. 128 del código AWS D1.1-2010. Antes de preparar las probetas para los ensayos mecánicos, se hace la prueba de calificación del cupón mediante END.

Tabla 14. Clasificación de los END a realizar para la calificación de una WPS según el código AWS D1.1-2010

END		Procedimiento de Inspección	Criterios de aceptación
RT	Placas	sección 6, parte E o F	sección 6, parte C
	Tubulares	sección 6, parte C	
UT	Placas	sección 6, parte E o F	
	Tubulares	sección 6, parte C	

Fuente: Autor

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 6 de 8

Los procedimientos de inspección para los END, se encuentran en la sección 6 del código AWS D1.1-2010. Entonces, si los END son positivos, se cortan las probetas y se las prepara para proceder a hacer lo siguiente:

- Ensayos mecánicos (4.9.3 pág. 128 del código AWS D1.1-2010). Los ensayos mecánicos requeridos para la calificación de los especímenes de prueba involucran:
 - Doblado de cara, raíz o lado (seguridad). Los criterios de aceptación según la referencia 4.9.3.3 del código AWS D1.1-2010 son comunes para todos los tipos de doblado.
 - Doblado de cara. Se estira la cara.
 - Doblado de raíz. Se estira la raíz.
 - Doblado de lado. Se estira cualquiera de los lados.
 - Tensión de sección reducida (resistencia). Lo que se pide es registrar la resistencia última a la rotura, el criterio de aceptación según la referencia 4.9.3.5 pág. 128 del código AWS D1.1-2010 es: $S_{u\text{ probeta}} \geq S_{u\text{ min. especificada del metal base}}$, no importa donde se rompa (como en otros códigos) la rotura se puede dar en: el material base, en la ZAT, o en el material de aporte, no importa, lo único que interesa es el criterio de aceptación; la $S_{u\text{ min especificada del metal base}}$ se encuentran en la Tabla 3.1 pág. 64 del código AWS D1.1-2010.

Si éste ensayo se aprueba, entonces hasta aquí, para soldaduras de ranura se tiene una WPS calificada de manera estándar; que tiene un VT, END, y 4 ensayos de doblado y 2 ensayos de tracción.
 - Macrografía (4.9.4 pág. 128 del código AWS D1.1-2010) (seguridad).- Este ensayo se lo realiza cuando se está calificando un cupón con soldadura de filete y lo importante es utilizar un reactivo apropiado para tener una clara definición de la soldadura. Los criterios de aceptación se encuentran en la referencia 4.9.4.1 pags.128, 129 del código AWS D1.1-2010.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 7 de 8

Entonces hasta aquí, se tiene una WPS calificada de manera estándar para soldaduras de filete; con un VT, END, y 1 ensayos de macrografía.

- Tensión en todo el material de soldadura (4.9.3.6 pág. 128 del código AWS D1.1-2010). Si se quiere calificar el metal de aporte para poder utilizar un electrodo que no sigue los estándares AWS y se quiere demostrar que el electrodo cumple con las especificaciones del código se hace el ensayo de tensión en todo el material de soldadura, lo cual se trata de un ensayo de tensión con la probeta únicamente constituida del material de soldadura depositado. Los valores obtenidos se comparan con los del estándar correspondiente al electrodo que se utilizó y se verifica que estén dentro de los límites especificados. Con esto se obtiene un electrodo calificado que tiene las propiedades que el código establece.

- Ensayo Charpy CVN (Parte D pág. 136 del código AWS D1.1-2010). Si en el contrato se especifica ensayos de impacto; se debe especificar el lugar de impacto, ya sea, en el metal soldado o en la ZAT, en función de esto se saca las 5 probetas, siendo la probeta estándar de 10x10.

En el ensayo Charpy son dos variables las que se deben verificar: primero, la temperatura a la cual se hace el ensayo, segundo, el nivel de energía que debe absorber. Los requerimientos para la prueba CVN están en la Tabla 4.14, pág. 156 del código AWS D1.1-2010.

5. Escritura de las WPS finales de PQR exitosos

Los resultados de los ensayos son registrados en el PQR de acuerdo con el código AWS D1.1-2010, mediante los formularios de ejemplo del Anexo N pág. 353 del código AWS D1.1-2010.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-Calificada	Rev. 0
		Página 8 de 8

Si los resultados de los ensayos presentan todos los requerimientos prescritos, el ensayo es exitoso y las WPS's pueden estar soportados por el PQR. Si los resultados del ensayo son desafortunados, el PQR no puede ser usado para respaldar la WPS.

El fabricante debe preparar por escrito la WPS especificando todas las variables esenciales aplicables, pero los valores específicos de estas variables esenciales deben obtenerse del PQR; o sea hay variables esenciales en el WPS (de producción) y en el PQR (de calificación), y las variables esenciales especificadas en el WPS deben venir de las variables esenciales del PQR. En este caso (WPS-calificada), cada uno de los campos del formulario del WPS puede tener la categoría de variable esencial.

Formato de WPS y PQR

Al final de este procedimiento-guía se fijan los formularios modelos establecidos por el código AWD D1.1-2010, con los contenidos necesarios para la confección tanto de la WPS, como del PQR, y se explican sus llenados.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

3.5.3.1 Instructivo para el llenado del formato del PQR

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si
 PRECALIFICADO _____ CALIFICADO POR ENSAYO _____
 o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Número de Identificación: _____ [28]
 Revisión: [29] Fecha: [30] Por: [31]
 Autorizado por: _____ [32] Fecha: _____ [33]
 Tipo ----- Manual Semiautomática
 Máquina Automática

Nombre de la Empresa: _____ [1]
 Proceso de Soldadura: _____ [2]
 PQR de apoyo No.(s): _____ [3]

DISEÑO DE JUNTA USADO
 Tipo de soldadura: _____ [4]
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: _____ [5]
 Abertura de raíz: _____ [6] Tamaño cara de raíz _____ [7]
 Angulo de ranura: _____ [8] Radio (J-U) _____ [9]
 Repelado de raíz: Si No Método _____ [10]

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: _____ [34] Filete: _____ [35]
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: _____ [11]
 Tipo o Grado: _____ [12]
 Espesor: Ranura _____ [13] Filete _____ [14]
 Diámetro (Tubo) _____ [15] Espesor (Plancha) _____ [16]

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito [36] Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEN
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro _____ [37]
 Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: _____ [38]
 Tipo: _____ [39]

METALES DE RELLENO
 Especificación AWS _____ [17]
 Clasificación AWS _____ [18]

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: _____ [40]
 Pasada múltiple o pasada única (por lado) _____ [41]
 Número de Electrodos _____ [42]
 Separación de Electrodos: Longitudinal _____ [43]
 Lateral _____ [44]
 Angular _____ [45]
 Distancia del tubo de contacto a la pieza _____ [46]
 Martillado _____ [47]
 Limpieza entre pasadas: _____ [48]

PROTECCIÓN
 Fundente: _____ [19] Gas _____ [20]
 Composición _____ [21]
 Electrodo Fundente _____ [22] Veloc. de Flujo _____ [23]
 Tamaño copa de Gas _____ [24]

PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín. _____ [25]
 Temp. entre pasadas, Mín. _____ [26] Máx. _____ [27]

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: _____ [49]
 Tiempo: _____ [50]

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
[51]	[52]	[53]	[54]	[55]	[56]	[57]	[58]	[59]

Llenado del formato de PQR (1/2)

1. Colocar el nombre de la empresa que realiza la calificación.
2. Seleccione el nombre del proceso de soldadura.
3. No aplica.
4. Colocar el tipo de junta utilizada.
5. Ver 5.2.2.2, pág. 193 del código.
6. Según el tipo de junta establecida en 4.
7. Según el tipo de junta establecida en 4.
8. Según el tipo de junta establecida en 4.
9. Según el tipo de junta establecida en 4.
10. El método de limpieza o repelado de raíz puede ser con esmeril.
11. Colocar la especificación del material que se utiliza en la soldadura.
12. Colocar el tipo de material que se utiliza en la soldadura.
13. Ver Figura 4.2, 4.3, págs. 139-141 del código.
14. Ver Figura 4.4, pág. 141 del código.
15. Ver Figura 4.2, 4.3 o 4.4, págs. 139-141 del código. Ver especificaciones del fabricante.
16. Espesor de la plancha que se va a soldar.
17. Colocar la especificación del electrodo con el cual se realiza la soldadura.
18. Colocar la clasificación del electrodo con el cual se realiza la soldadura.
19. Ver 5.3.3, pág. 194 del código.
20. Ver párrafo 5.3.1.3, pág. 193 del código.
21. Ver párrafo 5.3.1.3, pág. 193 del código.
22. Ver 3.1, pág. 64-67. Ver párrafo 5.3.3, 5.3.3.1, 5.3.3.2, pág. 194 del código.
23. Consultar manual del fabricante G.T.A.W o G.M.A.W
24. Consultar manual del fabricante G.T.A.W o G.M.A.W
25. Ver Tabla 3.2, pág. 68-70. Ver párrafo 3.5, 3.5.1, pág. 60.
26. Ver Tabla 3.2, pág. 68-70. Ver párrafo 3.5, 3.5.1, pág. 60.
27. Ver Tabla 3.2, pág. 68-70.
28. Colocar la identificación de la PQR.
29. Colocar el número de revisión.
30. Colocar la fecha de la revisión.
31. Colocar el nombre de la persona que realizó la revisión.

32. Colocar el nombre de la persona solicitante.
33. Colocar la fecha de la solicitud.
34. Ver las Figuras 4.3, 4.4, págs. 159-160 del código. Ver Tabla 4.1, pág. 138.
35. Ver las Figuras 4.5, 4.6, págs. 161-162 del código. Ver Tabla 4.1, pág. 138.
36. Colocar el modo de transferencia que se aplica para realizar la soldadura, si es proceso GMAW.
37. Otros materiales de aporte. Ver 5.3.4 y 5.3.4.1, pág. 195 (ver 17. y 18.).
38. Ver párrafo 5.3.5, pág. 195 del código.
39. Ver párrafo 5.3.5, pág. 195 del código.
40. Colocar la técnica del cordón que se utiliza en la soldadura. Ver C-3.7.2, pág. 454.
41. Colocar el número de pasadas que se hace en la soldadura. Ver C-3.7.2, pág. 454
42. Colocar el número de electrodos con el que se ejecutó la soldadura.
43. En caso de haber más de un electrodo colocar la separación longitudinal entre ellos (proceso SAW).
44. En caso de haber más de un electrodo colocar la separación lateral entre ellos (proceso SAW).
45. En caso de haber más de un electrodo colocar la separación angular entre ellos (proceso SAW).
46. Ver manual del fabricante del proceso de soldadura utilizado.
47. Especificar si se permite o no el martillado.
48. Especificar cómo se limpió las entre pasadas de soldadura.
49. No aplica.
50. No aplica.
51. Especificar el número de pasadas que se realizó en la soldadura.
52. Igual que el 2.
53. Igual que el 18.
54. Especificar el diámetro del electrodo con el que se soldó, según el manual del fabricante.
55. Usados en la soldadura, según fabricante y a usarse en producción.
56. Usados en la soldadura, según fabricante y a usarse en producción.
57. Usados en la soldadura, según fabricante y a usarse en producción.
58. Usados en la soldadura, según fabricante y a usarse en producción.
59. Usados en la soldadura, según las necesidades de la calificación.

REGÍSTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) # _____ [1] _____

Resultado de los Ensayos

ENSAYO DE TRACCIÓN

Espécimen No.	Ancho	Espesor	Área	Carga de Tensión Última, lb	Resistencia a la tracción, psi	Tipo de falla y localización
[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]

ENSAYO DE DOBLADO GUIADO

Espécimen No.	Tipo de Doblado	Resultado	Observaciones
[9]	[10]	[11]	[12]

INSPECCIÓN VISUAL

Apariencia _____ [13]
 Socavación _____ [14]
 Porosidad Vermicular _____ [15]
 Convexidad _____ [16]
 Fecha de Ensayo _____ [17]
 Inspeccionado por _____ [18]

Ensayo ultrasónico-radiográfico

RT informe No: _____ [20] Resultado: _____ [21]
 US informe No: _____ [22] Resultado: _____ [23]

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE SOLDADURA DE FILETE

Tamaño mínimo de pasada múltiple, Macrografía
 1. _____ [24] 2. _____ 3. _____
 Tamaño máximo de pasada múltiple, Macrografía
 1. _____ [25] 2. _____ 3. _____

Otros Ensayos [19]

Ensayo de tracción del metal de soldadura

Resistencia a la tracción, psi _____ [26]
 Límite de fluencia, psi _____ [27]
 Alargamiento porcentual de rotura en 50mm (%) _____ [28]
 Laboratorio de ensayo No. _____ [29]

Nombre del Soldador: _____ [30]
 Ensayos dirigidos por: _____ [33]

Hora no. _____ [31] Estampa no. _____ [32]
 Laboratorio _____ [34]

Número de Ensayo _____ [35]

Por _____ [36]

Los abajo firmantes, certificamos que lo expuesto en estos registros es correcto y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Capítulo 4 del código AWS D1.1/D1.1M, ()
 Código de Soldadura Estructural-Acero. Año

Firmado _____ [37]
 Fabricante o contratista

Por _____ [38]

Título _____ [39]

Fecha _____ [40]

Llenado del formato de PQR (2/2)

1. Colocar el número de identificación del PQR.
2. Ver Tabla 4.2, 4.3, o 4.4, págs. 139-141 del código.
3. Ver Figura 4.14, pág. 170 del código.
4. Ver Figura 4.14, pág. 170 del código.
5. Se obtiene multiplicando el ancho por el espesor de la sección transversal del espécimen de ensayo.
6. Valor de la carga de tensión última según la indicación de la maquina universal.
7. Se obtiene dividiendo la carga de tensión última sobre el área de la sección transversal.
8. Puede ser dúctil o frágil.
9. Ver Tabla 4.2, 4.3, o 4.4, págs. 139-141 del código.
10. Ver párrafos 4.9.3.1 y 4.9.3.2 del código. Pueden ser doblado de raíz, cara y lado, o también doblado longitudinal.
11. Si aprueba o no.
12. Según los criterios de aceptación del párrafo 4.9.3.3 del código.
13. Si es aceptable o no según los criterios de aceptación del párrafo 4.9.1 del código.
14. Si es aceptable o no según los criterios de aceptación del párrafo 4.9.1 del código.
15. Si existe o no, según los criterios de aceptación del párrafo 4.9.1 del código.
16. Si existe o no, según los criterios de aceptación del párrafo 4.9.1 del código.
17. Colocar la fecha en la que se realizó la inspección visual.
18. Colocar el nombre de la persona que realizó la inspección visual.
19. En caso de haber otros ensayos.
20. Colocar el número del informe de la inspección radiográfica.
21. Establecer si el ensayo radiográfico aprueba o no, según el informe de la inspección radiográfica.
22. Colocar el número del informe de la inspección ultrasónica.
23. Establecer si el ensayo ultrasónico aprueba o no, según el informe de la inspección ultrasónica, y según el procedimiento de inspección ultrasónica.
24. Ver el párrafo 4.9.4, págs. 128, 129 del código.
25. Ver el párrafo 4.9.4, págs. 128, 129 del código.

26. Ver párrafo 4.9.3.6, pág. 128 del código.
27. Ver párrafo 4.9.3.6, pág. 128 del código.
28. Ver párrafo 4.9.3.6, pág. 128 del código.
29. Ver párrafo 4.9.3.6, pág. 128 del código.
30. Colocar el nombre del soldador.
31. Colocar la hora de soldeo.
32. Colocar el número de estampa del soldador.
33. Colocar el nombre de la persona o institución que dirige la soldadura.
34. Colocar el nombre del laboratorio donde se llevó a cabo los ensayos.
35. Colocar el número de ensayo, identificación del PQR.
36. Colocar el nombre de la persona que dirigió la calificación.
37. Firma del fabricante o contratista.
38. Nombre de la persona encargada de la calificación.
39. Título de la persona encargada de la calificación.
40. Fecha en que se realizó la calificación.

Nota: A éste PQR se le deben adjuntar:

- El certificado del material base.
- Los certificados del laboratorio donde se realizaron las pruebas mecánicas.
- Los certificados de los electrodos.
- El certificado del laboratorio que realizó el END mediante la técnica del ultrasonido.

3.5.3.2 Instructivo para el llenado del formato de la WPS calificada

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si
 PRECALIFICADO _____ CALIFICADO POR ENSAYO X
 o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Número de Identificación: _____ [28]
 Revisión: [29] Fecha: [30] Por: [31]
 Autorizado por: _____ [32] Fecha: _____ [33]
 Tipo ----- Manual Semiautomática
 Máquina Automática

Nombre de la Empresa: _____ [1]
 Proceso de Soldadura: _____ [2]
 PQR de apoyo No.(s): _____ [3]

DISEÑO DE JUNTA USADO
 Tipo de soldadura: _____ [4]
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: _____ [5]
 Abertura de raíz: _____ [6] Tamaño cara de raíz _____ [7]
 Ángulo de ranura: _____ [8] Radio (J-U) _____ [9]
 Repelado de raíz: Si No Método _____ [10]

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: _____ [34] Filete: _____ [35]
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: _____ [11]
 Tipo o Grado _____ [12]
 Espesor: Ranura _____ [13] Filete _____ [14]
 Diámetro (Tubo) _____ [15] Espesor (Plancha) _____ [16]

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito [36] Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEN
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro _____ [37]
 Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: _____ [38]
 Tipo: _____ [39]

METALES DE RELLENO
 Especificación AWS _____ [17]
 Clasificación AWS _____ [18]

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: _____ [40]
 Pasada múltiple o pasada única (por lado) _____ [41]
 Número de Electrodo(s) _____ [42]
 Separación de Electrodo(s): Longitudinal _____ [43]
 Lateral _____ [44]
 Angular _____ [45]
 Distancia del tubo de contacto a la pieza _____ [46]
 Martillado _____ [47]
 Limpieza entre pasadas: _____ [48]

PROTECCIÓN
 Fundente: _____ [19] Gas _____ [20]
 Composición _____ [21]
 Electrodo Fundente _____ [22] Veloc. de Flujo _____ [23]
 Tamaño copa de Gas _____ [24]

PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín. _____ [25]
 Temp. entre pasadas, Mín. _____ [26] Máx. _____ [27]

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: _____ [49]
 Tiempo: _____ [50]

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
[51]	[52]	[53]	[54]	[55]	[56]	[57]	[58]	[59]

Llenado del formato de WPS calificada

1. Colocar el nombre de la empresa que realizó la calificación.
2. Seleccione el nombre del proceso de soldadura calificado.
3. Especificar el número del PQR que soporta la WPS calificada.
4. Colocar el tipo de junta calificada.
5. Material de respaldo calificado. Ver 5.2.2.2, pág. 193 del código.
6. Según el tipo de junta calificada en 4.
7. Según el tipo de junta calificada en 4.
8. Según el tipo de junta calificada en 4.
9. Según el tipo de junta calificada en 4.
10. El método de limpieza o repelado de raíz, puede ser con esmeril.
11. Colocar la especificación del material calificado. Ver Tabla 4.8, pág. 147 del código.
12. Colocar el tipo de material calificado.
13. Rango de espesores para planchas de ranura calificada. Ver Figura 4.2, 4.3, págs. 139-141 del código.
14. Rango de espesores calificados para filetes en planchas. Ver Figura 4.4, pág. 141 del código.
15. Diámetro de tubo calificado. Ver Figura 4.2, 4.3 o 4.4, págs. 139-141 del código.
16. Espesor calificado de la pared del tubo.
17. Especificación del electrodo con el cual se realiza la soldadura. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
18. Clasificación del electrodo con el cual se realiza la soldadura. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
19. hasta 24. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
25. hasta 27. Ver Tabla 4.5, pág. 144 del código.
28. Colocar la identificación de la WPS calificada mediante ensayos.
29. Colocar el número de revisión.
30. Colocar la fecha de la revisión.
31. Colocar el nombre de la persona que realizó la revisión.
32. Colocar el nombre de la persona solicitante.
33. Colocar la fecha de la solicitud.

34. Posiciones calificadas, según Tabla 4.1, pág. 138 del código. Ver la Figura 4.1, pág. 157 del código.
35. Posiciones calificadas, según Tabla 4.1, pág. 138 del código. Ver la Figura 4.2, pág. 158 del código.
36. Modo de transferencia que se aplica para realizar la soldadura, si es proceso GMAW. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
37. No aplica.
38. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
39. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
40. Técnica del cordón que se utilizó en la soldadura.
41. Número de pasadas con el que se calificó la soldadura.
42. Número de electrodos con el que se calificó la soldadura.
43. Separación longitudinal entre electrodos (proceso SAW) con el que se calificó.
44. Separación lateral entre electrodos (proceso SAW) con el que se calificó.
45. Separación angular entre electrodos (proceso SAW) con el que se calificó.
46. Distancia del tubo de contacto a la pieza con el que se calificó.
47. Según se calificó.
48. Según se calificó.
49. No aplica.
50. No aplica.
51. Según se calificó.
52. Según se calificó.
53. Igual que el 18. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
54. Especificar el diámetro del electrodo con el que se soldó, Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
55. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
56. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
57. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
58. Ver Tabla 4.5, pág. 142 del código.
59. Según se calificó.

3.6 Escritura de las WPS's de PQR exitosos

De acuerdo a MENDOZA, William en su manual “Especificación de procedimientos de soldadura W.P.S. según código D1.1-2010 A.N.S.I. /A.W.S” menciona que cuando los ensayos requeridos son exitosos, los procedimientos de soldaduras pueden ser escritos del P.Q.R., los valores registrados en el P.Q.R. son transcritos en un formato separado, ahora conocido como W.P.S. Es posible escribir una o más W.P.S de un P.Q.R. exitoso. Los procedimientos de soldadura que son lo suficientemente similar para aquellos ensayados pueden ser soportados por el mismo P.Q.R. variaciones importantes de aquellas condiciones, sin embargo requiere calificación adicional del ensayo.

Cambios lo suficientemente significativos para garantizar ensayos adicionales (recalificación) son considerados variables esenciales, y estas aparecen en el código AWS D1.1-2010, Tabla 4.5, págs. 142-144, Tabla 4.6, pág. 145, y Tabla 4.7 págs. 146 y 147.

El rango de los tipos de soldaduras y las posiciones calificadas por varios ensayos están listados en AWS D1.1-2010, Tabla 4.1, pág. 138. Esta es la más y/o mejor tabla usada, no tanto como un hecho después de la evaluación de la aplicabilidad de los ensayos ya realizados, pero si para la planificación de los ensayos de calificación. Similarmente, AWS D1.1-2010, Tabla 4.8, pág. 147 define que los cambios pueden ser realizados en los metales base usados en producción vs. ensayos de calificación.

Si la calificación de la W.P.S desarrollada en una geometría de la junta no precalificada comprueba que es aceptable, las W.P.S. pueden escribirse de ese P.Q.R. utilizando cualquiera de las geometrías de juntas precalificadas (AWS D1.1-2010, Tabla 4.5, ítem 32), págs. 142, 143 y 144 (MENDOZA, 2010).

CAPÍTULO IV

4. CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE SOLDADURA

La calificación del desempeño del soldador (W.P.Q) significa la combinación de variables según una WPS calificada usadas por el soldador para calificar su habilidad. Los términos “calificación de habilidad”, o “calificación de desempeño” también se pueden usar.

El WPQ es un documento que registra el valor actual de las variables utilizadas en la calificación, así como, los rangos de las variables esenciales del soldador dentro de las cuales el soldador está autorizado a ejecutar soldaduras.

Personal de soldadura. El personal de soldadura se divide de la siguiente manera:

Soldador. Es una persona que ejecuta manual o semiautomáticamente una operación de soldadura. Es la persona que puede controlar la longitud del arco manualmente. Un soldador controla la acción durante la soldadura de una unión.

Operador de soldadura. Es aquella persona que tiene la habilidad para calibrar, manejar u operar una máquina automática, y ejecuta las labores de soldadura usando un tipo de soldadura de máquina, o automática. Es la persona que solamente puede ajustar algunas de las variables de soldadura más no la longitud del arco manualmente. El operario de soldadura ajusta la máquina y presiona el interruptor de arranque, mientras que la maquina realiza la soldadura.

Punteador o armador. Es aquella persona que conoce los elementos mecánicos (vigas, columnas, arriostamientos, etc.), verifica que queden en posición, y realiza los puntos de armado, antes de dar los cordones finales. Si el punto de soldadura va a ser parte de la soldadura final, el punteador debe ser calificado. Si el punto de soldadura no va a ser parte de la soldadura final (si se esmerila el punto de armado), el punteador no debe ser calificado.

Registro de calificación de la habilidad de los soldadores. La información tomada de la calificación de soldadores y/u operarios de soldadura debe registrarse por escrito. Este documento se conoce como WPQR (Welder Performance Qualification Record), o WQR (Welder Qualification Record). Allí deben registrarse como mínimo las variables esenciales para los soldadores, el tipo de pruebas realizadas y sus resultados, y los rangos calificados para cada soldador u operario. Entonces, el WPQR es un documento usado para registrar a los soldadores que han sido calificados por el fabricante para determinar su habilidad, utilizando una WPS.

4.1 Variables del personal de soldadura

La calificación del personal de soldadura tiene solamente variables esenciales, y su definición es fundamental debido a que deben permitir cumplir con lo especificado en el procedimiento, entre las cuales se encuentran: la posición de soldadura, la configuración de la junta, el tipo y tamaño del electrodo, el proceso de soldadura, el tipo de metal base, el espesor del metal base y la técnica específica de soldadura.

Variables esenciales (para el personal de soldadura). Se define como una condición de soldadura, la cual cuando es cambiada afecta la habilidad del personal de soldadura para depositar soldaduras sanas, para manejar u operar una maquina automáticamente, y para realizar puntos de armado. Para el personal de soldadura según el código AWS D1.1-2010 no existen variables No esenciales, ni variables suplementarias.

4.2 Propósito de las WPQ

La WPQ es una herramienta usada para garantizar la habilidad del soldador, y es una garantía de que la soldadura es sana. Cuando un soldador realiza una soldadura de acuerdo con una WPS, esta soldadura solo puede ser tan buena como la WPS misma.

El propósito de la calificación de un soldador es determinar su habilidad manual para depositar soldaduras sanas. No se habla de soldaduras perfectas o sin defectos, se habla de soldaduras sanas, es decir, que las soldaduras se garanticen en sus propiedades mecánicas. Basados en este criterio se fijan las variables empleadas para calificar soldadores.

El propósito de la calificación de un operario de soldadura es determinar su habilidad mecánica para ajustar y operar la máquina o equipo de soldadura.

Las WPQR son los certificados de garantía para todas las partes involucradas. La realización de las soldaduras por el personal con su debido certificado WPQR evita que se produzcan soldaduras inaceptables. Por consiguiente deben estar disponibles para las personas autorizadas como los inspectores. La no obtención del WPQR por parte del personal involucrado en la fabricación y montaje de una estructura puede resultar en una soldadura que no tiene los requerimientos de calidad impuestas por el código.

4.3 Objetivo del WPQ

El objetivo de la calificación del personal de soldadura (WPQ) es garantizar que las propiedades mecánicas de la junta soldada requeridas por una WPS sean cumplidas. Ayuda a asegurar que las propiedades mecánicas de la junta soldada direccionadas por la WPS sean alcanzadas, garantizando que se producirán soldaduras sanas.

4.4 Estudio del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010

4.4.1 *Calificación de soldadores.* El código AWS D1.1-2010 en su sección 4 parte A y C establece los requerimientos para los ensayos de calificación del personal de soldadura.

4.4.1.1 *Parte A – Requerimientos generales.* Son requerimientos generales y comunes tanto para la calificación de WPS's como para la calificación del personal soldadura. El código AWS D1.1-2010 en la sección 4, parte A se refiere sobre el tema correspondiente a la calificación del personal de soldadura en los siguientes términos:

- Responsabilidad del ingeniero: La aceptación de la calificación de la habilidad según otros estándares, además, aprobar y aceptar al personal de soldadura que tenga la evidencia de la calificación de habilidad previa.
- Responsabilidad del contratista: Calificar a los soldadores, operadores y armadores; especialmente se debe calificar a los armadores cuando el punto de armado va a ser parte de la soldadura de lo contrario no.

- Validez de las calificaciones: Se refieren solamente al personal de soldadura no al tiempo de validez de las WPS's.
- Validez de la calificación de los soldadores: La calificación de los soldadores tiene un tiempo de validez que valdría por siempre, siempre que se mantenga soldando continuamente y no tenga una para de 6 meses corridos.
- Registros WQR (WPQR): Siempre deben estar disponibles para el inspector de verificación y para el ingeniero. En tanto que las WPS's siempre deben estar disponibles para los soldadores.

Requerimientos comunes para la calificación de la WPS y el desempeño del personal de soldadura. Se encuentran en la referencia 4.3 pág. 126 del código AWS D1.1-2010, entre los más importantes están las posiciones de soldadura.

Posiciones de soldadura. Se deben diferenciar dos tipos de posiciones de soldadura:

- Posiciones de soldaduras de producción.
- Posiciones de ensayo para soldaduras de calificación.

Tabla 15. Relación y clasificación de las posiciones de soldadura

Clasificación de Posiciones							
Posiciones de Soldaduras de Producción:		Posiciones de Ensayo para Soldaduras de Calificación (Pruebas)					
Ranura fig. 4.1*	Filete fig. 4.2*	Ranura			Filete		
		Planchas fig. 4.3*	Tubos fig. 4.4*		Planchas fig. 4.5*	Tubos fig. 4.6*	
	Posiciones		Multi- posiciones			Posiciones	Multi- posicione
Plana (F)		1G	1G**	5G 6G 6GR	1F**	1F	5F
Horizontal (H)		2G	2G		2F***	2F	
Vertical (V)		3G			3F		
Sobre cabeza(OH)		4G			4F	4F	

* figuras del código AWS D1.1-2010

** que el tubo rota.

*** que el tubo esta fija o rotando.

Fuente: Autor

En la producción de una obra se necesita calificar soldadores en las posiciones requeridas por la obra y determinadas también en las WPS's. La obra indica que se tiene que soldar en tales posiciones, entonces, en la planificación de la producción se establece en qué posición (de calificación) se necesita calificar al soldador, para hacer tales soldaduras en las posiciones (de producción) requeridas por la obra.

4.4.1.2 Parte C – Calificación de habilidad. La Parte C de la sección 4 del código AWS D1.1-2010 contiene los requerimientos para los ensayos de calificación de la WPQ, y no deben ser utilizadas como guía para soldar la estructura, no son de ninguna manera un indicativo de cómo soldar la estructura.

1) Posiciones de calificación de habilidad. En cuestiones operativas, los soldadores se califican por posiciones de soldadura y para ver las posiciones de soldadura con que se califica al soldador y después, éste soldador que puede hacer en producción se tiene la Tabla 4.10 pág. 150 del código AWS D1.1-2010.

La Tabla 4.10 pág. 150 del código AWS D1.1-2010 es una tabla para la calificación de la habilidad de los soldadores, aunque es similar a la Tabla 4.1 pag.138 del código AWS D1.1-2010 (para calificar una WPS) no es una tabla de calificación de WPS. Comparando las dos tablas se puede concluir que la calificación de la habilidad es una calificación más extendida, y da mayor amplitud a la calificación, debido a que el soldador tiene un rango más amplio de hacer en producción.

La Tabla 4.10 pág. 150 del código AWS D1.1-2010 da la posición de calificación para las respectivas posiciones necesarias en producción, para el soldador y el operario de soldadura. Los armadores se califican en una placa de ensayo en cada posición que realizará el armado en la producción.

Tabla 16. Distribución de parámetros de calificación y producción de la Tabla 4.10 del código AWS D1.1-2010

Calificación		Producción					Table 4.10				
Welder and Welding Operator Qualification—Production Welding Positions Qualified by PI											
Qualification Test		Production Plate Welding Qualified			Production Pipe Welding Qualified						
Weld Type	Positions ^a	Groove CJP	Groove PJP	Fillet	Butt-Groove		T-, Y-, K-Groove		Fillet		
					CJP	PJP	CJP	PJP			
P L A T E	Groove ^b 1G 2G 3G 4G 3G + 4G	F	F	F, H	F	F		F	F, H		
		F, H	F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H		
		F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V	F, H, V		F, H, V	F, H, V		
Fillet	1F 2F 3F 4F 3F + 4F			F, H					F, H		
				F, H					F, H		
				F, H, V					F, H, V		
T U B E L A	Groove ^a (Pipe or Box) 1G Rotated 2G 5G 6G 2G + 5G (Note i) 6GR (Fig. 4.27) 6GR (Fig. 4.27 & 4.29)	F	F	F, H	F	F		F	F, H		
		F, H	F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H		
		F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH		
		All	All	All	All	All		All	All		
		All	All	All	All	All	All	All	All		
		All	All	All	All	All	All	All	All		
		All	All	All	All	All	All	All	All		

Fuente: Autor

2) Clasificación de los tipos de soldadura para la calificación de la habilidad.

Los *requerimientos específicos* de los tipos de soldadura con que se califica al soldador y operador de soldadura según la referencia 4.21, pág. 133 del código AWS D1.1-2010 se clasifican como:

1. Soldadores para juntas CJP de ranura para conexiones no tubulares (ver la referencia 4.24 pág. 133 del código AWS D1.1-2010)
2. Soldadores para juntas PJP de ranura para conexiones no tubulares (ver la referencia 4.25 pág. 134 del código AWS D1.1-2010)
3. Soldadores de filete para conexiones no tubulares (ver la referencia 4.26 pág. 134 del código AWS D1.1-2010)
4. Soldadores para juntas CJP de ranura para conexiones tubulares (ver la referencia 4.27 pág. 134 del código AWS D1.1-2010)
5. Soldadores para juntas PJP de ranura para conexiones tubulares (ver la referencia 4.28 pág. 134 del código AWS D1.1-2010)
6. Soldadores de filete para conexiones tubulares (ver la referencia 4.29 pág. 134 del código AWS D1.1-2010)
7. Soldadores de tapón y de ranura para conexiones tubulares y no tubulares (ver la referencia 4.30 pág. 134 del código AWS D1.1-2010)

Estas 7 referencias indican la ubicación de las figuras para la posición y espesor de calificación requeridos para soldadores y operarios de soldadura; para un correcto análisis, se debería utilizar de manera conjunta con la Tabla 4.11, pág. 151 del código AWS D1.1-2010. De esta manera se obtienen los requerimientos específicos de los cupones de ensayo, como son, el tamaño del cupón, el diseño de la junta, y la localización de los especímenes de ensayo. Las Tablas 4.10 y 4.11 del código AWS D1.1-2010 se las debe analizar conjuntamente y su análisis es retrospectivamente, o sea, de la Tabla 4.10 a la Tabla 4.11 y luego de la Tabla 4.11 a la Tabla 4.10 y nuevamente de la Tabla 4.10 a la Tabla 4.11 del código.

Número y tipo de especímenes de pruebas y rango de calificación de habilidad. La Tabla 4.11 págs. 151-154 del código AWS D1.1-2010 además de que indica la figura del cupón de ensayo, establece el número de especímenes necesarios para cierta calificación dando los tipos específicos de ensayos, también especifica el rango de espesores y diámetros calificados. Debido a toda la información que brinda esta tabla es

de un uso especial y se debe referir a ella por lo menos cuatro veces: *Primero*, para comparar con la Tabla 4.10 del código y ver si contempla el tipo de soldadura de calificación y de producción necesarios. *Segundo*, para comparar con la referencia 4.21 del código y determinar los requerimientos específicos de los tipos de soldadura de ensayo que se van a realizar en la calificación, con lo cual se determinan los detalles del cupón. *Tercero*, para encontrar el espesor del cupón de ensayo en función del espesor necesario para la producción (espesor calificado), el tipo de probeta de calificación, y el tipo de soldadura de producción. *Cuarto*, para ver el número y tipo de especímenes de ensayo.

Tabla 17. Distribución de parámetros de calificación y producción en la Tabla 4.11 del código AWS D1.1-2010

Calificación							Producción						
Table 4.11 (Continued) Welder and Welding Operator Qualification—Number and Type of Specimens and Range of Thickness and Diameter Qualified (Dimensions in Millimeters) (see 4.19.2.1)													
(1) Test on Plate			Number of Specimens ^a					Qualified Dimensions					
Production Groove or Plug Welds			Face Bend ^b (Fig. 4.12)	Root Bend ^b (Fig. 4.12)	Side Bend ^b (Fig. 4.13)	Macro-etch	Nominal Plate, Pipe or Tube Thickness Qualified, mm						
Type of Test Weld (Applicable Figures)	Nominal Thickness of Test Plate, T, mm						Min	Max					
Groove (Fig. 4.31 or 4.32)	10		1	1	(Note c)	—	3	20 max ^d					
Groove (Fig. 4.21, 4.22, or 4.30)	10 < T < 25		—	—	2	—	3	2T max ^d					
Groove (Fig. 4.21, 4.22, or 4.30)	25 or over		—	—	2	—	3	Unlimited ^d					
Plug (Fig. 4.38)	10		—	—	—	2	3	Unlimited					
Production Fillet Welds (T-joint and Skewed)			Number of Specimens ^a					Qualified Dimensions					
Type of Test Weld (Applicable Figures)	Nominal Test Plate Thickness, T, mm	Fillet Weld Break	Macro-etch	Side Bend ^b	Root Bend ^b	Face Bend ^b	Nominal Plate Thickness Qualified, mm		Dihedral Angles Qualified ^b				
							Min	Max	Min	Max			
Groove (Fig. 4.31 or 4.32)	10	—	—	(Note 3)	1	1	3	Unlimited	30°	Unlimited			
Groove (Fig. 4.31 or 4.32)	10 < T < 25	—	—	2	—	—	3	Unlimited	30°	Unlimited			
Groove (Fig. 4.21, 4.22, or 4.30)	≥ 25	—	—	2	—	—	3	Unlimited	30°	Unlimited			
Fillet Option 1 (Fig. 4.37)	12	1	1	—	—	—	3	Unlimited	60°	135°			
Fillet Option 2 (Fig. 4.33)	10	—	—	—	2	—	3	Unlimited	60°	135°			
Fillet Option 3 (Fig. 4.20) [Any diam. pipe]	> 3	—	1	—	—	—	3	Unlimited	30°	Unlimited			
(2) Tests on Pipe or Tubing ^c			Number of Specimens ^a						Nominal Pipe or Tube Size Qualified, mm		Nominal Plate, Pipe or Tube Wall Thickness ^d Qualified, mm		
Production CJP Groove Butt Joints			1G and 2G Positions Only			5G, 6G and 6GR Positions Only			Min	Max	Min	Max	
Type of Test Weld	Nominal Size of Test Pipe, mm	Nominal Test Thickness, mm	Face Bend ^b	Root Bend ^b	Side Bend ^b	Face Bend ^b	Root Bend ^b	Side Bend ^b	Min	Max	Min	Max	
Groove	≤ 100	Unlimited	1	1	(Note e)	2	2	(Note e)	20	100	3	20	
Groove	> 100	≤ 10	1	1	(Note e)	2	2	(Note e)	(Note e)	Unlimited	3	20	
Groove	> 100	> 10	—	—	2	—	—	4	(Note e)	Unlimited	5	Unlimited	

(continued)

Fuente: Autor

De la Tabla 4.11 págs. 151-154 del código AWS D1.1-2010 se deduce que para cupones tipo placa son 2 pruebas de doblado y para cupones tipo tubo dependiendo del tipo de posición pueden ser de 2 o 4 pruebas de doblado.

Conclusión, en primera instancia se debe comparar la Tabla 4.10 con la Tabla 4.11 del código, para luego completar el análisis con la referencia 4.21 del código.

Tamaño de los especímenes. Se los puede encontrar en las Figuras 4.12, 4.13, págs. 168, 169 del código AWS D1.1-2010. Estas figuras son las mismas que se utilizan en la calificación de una WPS. En estas figuras se encuentran detallados los tamaños para los especímenes de doblado transversal de cara y de raíz (en este caso no se puede hacer un doblado longitudinal), y los tamaños de doblado de lado.

Tamaño del cupón y localización de especímenes. Los tamaños de los cupones de prueba se referencian en la Tabla 4.11 págs. 151-154 y en la referencia 4.21, pág. 133 del código AWS D1.1-2010. La Tabla 4.11 y la referencia 4.21 del código direccionan hacia las figuras específicas a consultar donde se encuentran los cupones de prueba requeridos con sus respectivos tamaños, y la localización de los especímenes. Estas figuras están clasificadas por el espesor del metal base y hacia quien se dirige la calificación ya sea para el soldador u operador de soldadura de la siguiente manera:

- Para calificar al soldador:
Las Figuras 4.21, 4.24, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.37, 4.38 pág. 176, 178, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190 del código AWS D1.1-2010.
- Para calificar al operador de soldadura:
Las Figuras 4.22, 4.33, 4.36-4.38 pág. 176, 186, 188-190 del código AWS D1.1
- Para calificar al armador:
Las Figuras 4.39, 4.35 pág. 191, 188 del código AWS D1.1-2010.

Cupón y prueba de calificación de armadores. La calificación de los armadores es muy sencilla, se requiere hacer un cupón según la Figura 4.39 pág. 191 del código AWS D1.1-2010, y realizar la rotura del espécimen según lo indica la Figura 4.35, pág. 188 y la referencia 4.32 pág. 136 del código, además, se encontraran los métodos de ensayo y los criterios de aceptación.

3) Variables esenciales de calificación de habilidad. Las variables esenciales son *requerimientos generales* para la calificación de la habilidad, están especificadas en la Tabla 4.12, pág. 155 del código AWS D1.1-2010, las cuales se clasifican según el tipo de personal de soldadura. Las variables esenciales para calificar habilidad son 7, pero, como el personal de soldadura para su calificación debe seguir una WPS, todas las limitaciones de las variables esenciales de la referencia 4.8 de calificación de WPS del código también deben aplicarse sumadas a las variables esenciales de habilidad.

La Tabla 4.12 pág. 155 del código AWS D1.1-2010 permite ampliar los rangos de las variables esenciales con las cuales se calificó el desempeño al personal de soldadura, sin que se necesite la recalificación. Cuando se producen cambios en las variables esenciales del WPQ más allá de los límites de las variables esenciales del WPQR, entonces los WPQ requieren de recalificación.

Grupos de clasificación de electrodos. La Tabla 4.13 pág. 155 del código AWS D1.1-2010 está relacionada directamente con el ítem 2 de la Tabla 4.12 pág. 155 del código AWS D1.1-2010; básicamente existen 4 tipos de electrodos que se pueden utilizar.

Tabla 18. Clasificación de electrodos en grupos según la Tabla 4.13 del código AWS D1.1-2010

Grupos de clasificación de electrodos		
Designación del grupo	Tipo de electrodo	Observaciones
F1	Electrodos de alta producción	Son de fácil manipulación, mejor apariencia de cordón, arco más estable.
F2	Electrodos rutilicos	
F3	Electrodos celulósicos	Son de arco potente que dan mayor penetración.
F4	Electrodos de bajo hidrógeno	Son los más difíciles de manipular y se requiere de parte del soldador una mayor habilidad.

Fuente: Autor

Los electrodos del grupo F4 son los más difíciles de manipular, es claro que el arco es fácil, pero por la cantidad densa de escoria se pueden crear inclusiones internas.

El código AWS D1.1-2010 especifica que no se puede soldar en producción con número F menor al número F calificado, entonces, desde este punto de vista siempre es más conveniente calificar con el electrodo más difícil (o sea de número F4).

Hasta aquí se termina la calificación intrínseca del personal según el código, se continúa con la calificación extrínseca. Calificación intrínseca quiere decir que la calificación se hace internamente desde dentro del mismo código, solamente se observan y aplican sus estipulaciones, es la calificación básica, esencial y fundamental. Calificación extrínseca significa que la calificación se hace externamente desde afuera hacia adentro, o sea, para cumplir con las estipulaciones del código se deben hacer ensayos físicos externos y luego comparar sus resultados con los criterios de aceptación internos del código.

4) Tipos de pruebas de calificación y criterios de aceptación para la calificación de la habilidad. Los detalles sobre los requerimientos para las pruebas de calificación de la habilidad del personal de soldadura y sus criterios de aceptación se especifican en las referencias 4.31, pág. 134, 135 y 4.20, pág. 132 del código AWS D1.1-2010. Los métodos de ensayo especificados son:

- Para soldadores y operarios:
 - Inspección visual.
 - Ensayo de macro ataque.
 - Ensayo de rotura de soldadura de filete.
 - Ensayo de dobles de cara, raíz y lado (o Inspección radiográfica).
- Para armadores:
 - Inspección visual.
 - Ensayo de rotura de soldadura de filete.

Para soldadores y operarios. Los criterios de aceptación se especifican en la referencia 4.31 pág. 134-136 del código AWS D1.1-2010, las mismas que son:

- Inspección visual (4.31.1 pág. 134 del código AWS D1.1-2010). Los criterios de aceptación para la inspección visual se dan en la referencia 4.9.1 pág. 127 del código AWS D1.1-2010, igual a la calificación de la WPS.
- Macrografías (4.31.2. pág. 134 del código AWS D1.1-2010). Procedimientos de ensayos diferentes para soldaduras de filete, tipo tapón redondo y para conexiones T, Y, y K. Los criterios de aceptación para una inspección visual en una probeta de macro ataque se dan en la referencia 4.31.2.3 pág. 135 del código AWS D1.1-2010.

- END – RT (4.31.3 pág. 135 del código AWS D1.1-2010). Se puede usar en lugar del ensayo de doblado. El procedimiento y la técnica de la RT debe estar en conformidad con la parte E, sección 6 del código AWS D1.1-2010. Los criterios de aceptación deben estar conforme a los requerimientos de la especificación 6.12.2, pág. 222 del código, excepto que la especificación 6.12.2.2 no aplica.
- Rotura de filete (4.31.4 pág. 135 del código AWS D1.1-2010). Los criterios de aceptación deben estar en conformidad con la especificación 4.31.4.1 del código AWS D1.1-2010, lo que hay que tener presente en esta especificación es que los ítems (1), (2) y (3) son mutuamente excluyentes, es decir, si al hacer la prueba no se rompe, se aplica el criterio (1), si sucede la rotura se aplican los criterios (2) y (3).
- Doblado de cara, raíz y lado (4.31.5 pág. 135 del código AWS D1.1-2010). Los criterios de aceptación son los mismos que para las WPS's, es decir según la referencia 4.9.3.3 pág. 128 del código AWS D1.1-2010. En la calificación de habilidad NO es posible hacer doblado longitudinal.

Para los armadores. Los criterios de aceptación se dividen en dos partes:

- Inspección visual (4.32.1 pág. 136 del código AWS D1.1-2010).
- Rotura de filete (4.32.2 pág. 136 del código AWS D1.1-2010).

De esta manera se cumple con todos los requerimientos especificados por el código AWS D1.1-2010 para la calificación del personal de soldadura.

Reensayo de las pruebas para calificar la habilidad. Los requerimientos para los reensayos se encuentran en la especificación 4.33 pág. 136 del código AWS D1.1-2010. Se lo realiza cuando un soldador, operador de soldadura o armador ha fallado una prueba de calificación, si hay alguna razón específica para cuestionar su habilidad, o si ha caducado el periodo de vigencia de la calificación; se debe hacer lo siguiente:

Para el soldador y operario:

- Recalificación inmediata. Dos soldaduras de cada tipo y posición que fallo.
- Recalificación después de un período de entrenamiento evidenciado.
- Recalificación luego de expirar una calificación. Usar un espesor del cupón de 10 mm para espesor mayor de 3mm.

Para un armador:

- Recalificación sin un entrenamiento adicional.
- Recalificación luego de un entrenamiento o práctica adicional.

4.5 Procedimientos-guía para preparar la calificación del personal de soldadura

Una guía de desarrollo para la calificación del personal de soldadura es el método más adecuado para explicar el correcto uso, manejo e interpretación del código AWS D1.1-2010, y describir sistemáticamente las etapas y secuencias del método planteado. El uso de esta guía es una garantía de que la calificación del personal de soldadura (WPQ) sea adecuada con una correcta aplicación del código.

En el presente párrafo de este proyecto se desarrollan las guías para la calificación del personal de soldadura de estructuras metálicas de acuerdo al código AWS D1.1-2010, la metodología que se presenta a continuación es iniciativa del autor y tiene un carácter metódico, empezando desde consideraciones iniciales hasta terminar con el objetivo de esta guía técnica que es la de obtener un WPQR calificado mediante ensayo. Este procedimiento es revisado por un profesional para verificar su validez y aplicación.

Una vez que la WPS ha sido calificada, no se puede utilizar hasta que todo el personal de soldadura a trabajar en la producción hayan sido calificados de acuerdo con las especificaciones de esa WPS. Sin embargo, cuando un soldador u operador de soldadura califique una WPS, también califica como soldador dentro de los límites establecidos para la calificación de soldador u operador. Mientras que para el resto del personal de soldadura (o sea el personal de soldadura que no calificó la WPS) las empresas que se desempeñen en el área de soldadura deben calificar la habilidad del personal para cumplir con las necesidades de la WPS a utilizarse en producción. Para lo cual se debe establecer todo un procedimiento-guía de calificación de habilidad, la cual eventualmente puede establecer que se puede utilizar la misma WPS calificada, o que se necesita desarrollar una nueva WPS que puede ser calificada o precalificada, la cual debe cumplir con los requerimientos de la WPS a utilizarse en producción, según las limitaciones establecidas para la calificación del personal de soldadura. De esta manera se tendrá personal técnico altamente calificado que permita asegurar que el depósito de

soldadura aplicado por el soldador está acorde a la WPS y que estos tienen la capacidad y habilidad para ejecutar satisfactoriamente las soldaduras de producción acorde a los criterios de aceptación previamente definidos en los códigos. Según el análisis realizado en este párrafo, se aprecia que se puede realizar dos procedimientos que son:

- Procedimiento-guía para la calificación del personal de soldadura que califique una WPS.
- Procedimiento-guía para la calificación del personal de soldadura que No califique una WPS.

4.5.1 Esquema general del procedimiento-guía. Un procedimiento-guía de desarrollo de la calificación de personal de soldadura (WPQ) contiene lo siguiente:

Tema. Se refiere al tipo de procedimiento-guía descrito a utilizarse.

Objetivos. Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento-guía.

Alcance. Define para lo que puede ser utilizado el procedimiento-guía, lo que va a hacer y sus limitaciones.

Información general. Se indica la información referente a la documentación de la WPQR según las secciones del código AWS D1.1-2010, que se toman en consideración.

Documentos de referencia. Se refiere a todos los documentos que apoyen el desarrollo de la calificación del personal de soldadura (WPQ).

Definiciones. Se refieren a las definiciones o terminologías que se deben especificar para una adecuada comprensión del procedimiento-guía y/o el código aplicable.

Personal. En este punto se debe determinar el nivel de preparación que debe tener el inspector de soldadura o el personal que elabora y/o califica al personal de soldadura.

Responsabilidades. Son las responsabilidades para la adecuada ejecución y cumplimiento de este procedimiento-guía.

Procesos. Se describe en forma detallada, la metodología sistemática de las etapas y secuencias de la aplicación correcta del código AWS D1.1-2010, desde el inicio hasta el final de la elaboración del WPQR, de tal manera que se logren los objetivos planteados en este procedimiento-guía.

4.5.2 *Elaboración del procedimiento-guía para la calificación de la habilidad del soldador y operador de soldadura.*

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 1 de 8

Objetivo

La finalidad de este documento es establecer una metodología estándar a seguir a través de requerimientos generales y específicos, para realizar la calificación de la habilidad del personal de soldadura (WPQ) correspondientes a uniones soldadas de componentes estructurales de acero.

Alcance

Este procedimiento-guía se utiliza en la elaboración una WPQR calificada mediante ensayos, para uniones de soldadura en elementos de estructuras de acero, según los requerimientos del código AWS D1.1-2010.

Información general

- Los ensayos de calificación son especialmente designados para determinar la habilidad del personal de soldadura de producir soldaduras sanas en cualquier unión de prueba siguiendo una determinada WPS. Después de completar exitosamente las pruebas de calificación del personal, este debería considerarse que tiene las calificaciones mínimas aceptables.
- Las calificaciones que se realizaron y que cumplieron con las ediciones anteriores del AWS D1.1-2010 son válidas y pueden usarse mientras esas ediciones estén vigentes. El uso de ediciones anteriores deberá prohibirse para las nuevas calificaciones en lugar de la edición actual, a menos que la edición anterior este especificada en los documentos de contrato.
- El fabricante o contratista deberá mantener los registros de los resultados de los ensayos, los cuales deberán estar disponibles para toda persona autorizada a verificarlos. Toda WPQ deberá ser escrita y es considerado como un documento de ingeniería y/o fabricación. Para cada WPQ deberá emitirse un documento denominado registro de calificación del personal de soldadura (WPQR). La calificación deberá ser aprobada por el ingeniero responsable.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 2 de 8

- El proceso de calificación podrá ser realizado por el contratista con la aprobación y certificación del Ingeniero responsable o a través de entes de calificación y certificación habilitados. Cualquiera de las dos formas de calificación se especificará en los documentos de contrato.
- El personal de soldadura a ser empleado bajo este código, y que usen los procesos de soldadura por arco SMAW, SAW, GMAW, GTAW, FCAW, ESW, o EGW, deben ser calificados mediante este procedimiento-guía.
- La vigencia de la calificación del soldador y operador se considera como permanente de manera indefinida a menos que: Primero, tenga seis meses de para continua y, Segundo, haya alguna razón específica para cuestionar su habilidad.
- El armador se considera como elegible para realizar puntos de armado indefinidamente en la posición y con el proceso en el cual fue calificado a menos que haya alguna razón específica para cuestionar su habilidad.

Documentos de referencia

Los requerimientos para las pruebas de calificación de las WPQ-calificadas mediante ensayos, son descritas en:

- AWS D1.1-2010. Sección 4. Parte C.

Definiciones

Personal de Soldadura: Es el soldador, operario de soldadura, y/o el armador.

WPQ: Calificación del personal de soldadura.

WPQR: Registro de calificación del personal de soldadura.

SMAW: Soldadura por arco metálico protegido.

SAW: Soldadura por arco sumergido.

GMAW: Soldadura por arco metálico con protección gaseosa.

GTAW: Soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa.

FCAW: Soldadura por arco con electrodo tubular con o sin protección gaseosa.

EGW: Soldadura por electrogas.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 3 de 8

Personal

La persona que califica la habilidad del personal de soldadura, debe ser:

- Inspector de soldadura CWI nivel II o III, certificado según la norma AWS QC1.

Responsabilidades

- El ingeniero es responsable de aceptar la calificación previa de la habilidad de los soldadores, y la calificación de habilidad de otros estándares.
- El contratista o fabricante es responsable por la calificación del personal de soldadura, ya sea que la calificación sea efectuada por el fabricante o contratista, o bien por una agencia habilitado de ensayos independiente.

Procesos

Guía para preparar las WPQ

Para la calificación de soldadores y operarios de soldadura la metodología a seguir es muy similar a la de la elaboración y calificación de las WPS's, teniendo en cuenta que cuando se califica una WPS se tiene como eje de acción demostrar la compatibilidad existente entre los metales base, los materiales de aporte, los proceso de soldadura y la técnica aplicada, mientras que, cuando se califica un soldador u operario de soldadura el eje de acción se centra en demostrar que éste tiene la capacidad y habilidad para ejecutar una soldadura en determinada posición y acorde a unas especificaciones dadas en la WPS estipulada para la aplicación requerida.

1. Determinar la WPS de calificación

Se debe establecer la WPS con la cual se va a calificar al personal de soldadura, para que éste pueda realizar la soldadura de acuerdo a cierta WPS de producción. Una WPS para calificación de habilidad puede ser:

- WPS calificada.
- WPS precalificada.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 4 de 8

Para esto se debe:

- Verificar las posiciones de soldadura de producción – calificado.
- Diámetros y espesores de producción – calificado.

Esto depende fundamentalmente de si se pueden cumplir (con la WPS calificada o precalificada) las condiciones y todos los requerimientos que el personal de soldadura necesita para la producción, de ser así, la calificación se producirá con la WPS calificada o precalificada. Si la WPS (calificada o precalificada) no cumple con los requerimientos que el personal de soldadura necesita para la producción, se debe hacer una nueva WPS de calificación de la habilidad del personal que cumpla con todos los requerimientos, este nuevo procedimiento se desarrollará en conformidad con los procedimientos-guías desarrollados en el capítulo III de este proyecto.

2. Ensayos de calificación de la habilidad

Básicamente es la planificación de los ensayos de calificación, donde se obtiene el tipo y tamaño del cupón y los especímenes de prueba. El tipo de cupón está en función de las posiciones que se necesita en producción, mientras que, el tamaño del cupón de prueba está en función del espesor necesario en producción.

Análisis primario:

- Obtención de la WPS a utilizarse en la obra.
- Analizar las posiciones que se necesitan en producción y el tipo de junta de soldadura.

Calificación primaria:

Ver en la Tabla 4.11 págs. 151-154 del código AWS D1.1-2010:

- Si el tipo de junta de soldadura que se requiere está considerado y en qué tipo de junta de calificación.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 5 de 8

Elegir en la Tabla 4.10 pág. 150 del código AWS D1.1-2010:

- El tipo de soldadura y el tipo de geometría del material (placa o tubular). En función de las posiciones requeridas en la producción y del número de cupones de ensayo que se desean hacer.

Entrar en la Tabla 4.11 págs. 151-154 del código AWS D1.1-2010 con las siguientes consideraciones:

- El tipo de geometría (placa o tubular) de la probeta de calificación.
- El tipo de junta de soldadura que se requiere en producción.
- El tipo de soldadura elegido para la calificación (de la Tabla 4.10 del código).
- Los espesores y diámetros de los cupones calificados de producción.

Determinar:

- El espesor del cupón de prueba, las figuras de los requerimientos específicos de los cupones de ensayo, y la localización de los especímenes de ensayo.
- El tipo y número de especímenes de ensayo.

Cupones y especímenes de prueba. Una vez que se establecen los cupones y especímenes de ensayo, en la misma Tabla 4.11 del código AWS D1.1-2010 se referencian las figuras donde se especifican los requerimientos específicos tanto para los cupones como para los especímenes. Los tamaños de los especímenes de prueba de doblado de cara, de raíz, y de lado transversal se pueden encontrar detallados en las Figuras 4.12, 4.13, págs. 168-169 del código AWS D1.1-2010.

El código AWS D1.1-2010 especifica el tamaño del cupón de prueba con la respectiva localización y distribución de los especímenes de ensayo en:

- Para calificar al soldador: Las Figuras 4.21, 4.24, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.37, 4.38 pág. 176, 178, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190 del código AWS D1.1-2010.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 6 de 8

- Para calificar al operario de soldadura: Las Figuras 4.22, 4.33, 4.36, 4.37, 4.38 pág. 176, 186, 188, 189, 190 del código AWS D1.1-2010.
- Para calificar al armador: Las Figuras 4.39, 4.35 pág. 191, 188 del código AWS D1.1-2010.

3. Requerimientos generales del WPQR

Son las *variables esenciales* a tomar en cuenta, y que servirán para la preparación de la WPQR. Aquí se debe tomar en consideración lo siguiente:

- Tabla 4.12 del código, en función del tipo de personal de soldadura.
- Tabla 4.13 del código, para los grupos de calificación de electrodos.

4. Ensayos de soldadura

Básicamente se trata de la calificación del cupón de prueba según los ensayos de soldadura, y según los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010.

Primera parte

- Hacer el cupón y soldar según especifique la WPS seleccionada.
- Después que la plancha del ensayo es soldada y enfriada, es sometida a:

Segunda parte

En esta parte se visualiza ampliamente como el código AWS D1.1-2010 manda a realizar los ensayos de calificación.

Para soldadores y operarios de soldadura. La calificación de los soldadores y operarios de soldadura según el código AWS D1.1-2010 se puede hacer de 2 maneras: Primero, manera estándar de calificación y, Segundo, forma alternativa.

- La forma estándar de calificar es hacer la placa, soldar, hacer el ensayo visual, y hacer las pruebas mecánicas, los mismos criterios para la calificación de la WPS aplican para el personal de soldadura.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 7 de 8

- La forma alternativa de calificar es hacer la placa, soldar, hacer el ensayo visual, y después hacer un ensayo no destructivo END, en este caso siempre radiografía.

Los criterios de aceptación los encontramos en las siguientes referencias:

- Inspección visual (4.31.1 pág. 134 del código AWS D1.1-2010).
- Macrografías (4.31.2. pág. 134 del código AWS D1.1-2010). Los criterios de aceptación para una inspección visual en una probeta de macro ataque se dan en la referencia 4.31.2.3 pág. 135 del código AWS D1.1-2010.
- END – RT (4.31.3 pág. 135 del código AWS D1.1-2010).
- Rotura de filete (4.31.4 pág. 135 del código AWS D1.1-2010).
- Doblado de cara, raíz y lado (4.31.5 pág. 135 del código AWS D1.1-2010).

Para armadores. Es una calificación muy sencilla, se debe someter a una prueba como el que está en la Figura 4.35 pág. 188 del código AWS D1.1-2010, donde lo que se hace es romper el filete de soldadura por la raíz.

Los criterios de aceptación se dividen en dos partes:

- Inspección visual (4.32.1 pág. 136 del código AWS D1.1-2010)
- Rotura de filete (4.32.2 pág. 136 del código AWS D1.1-2010)

De ésta manera se ha cumplido con todos los requerimientos especificados por el código AWS D1.1-2010, para la calificación del personal de soldadura, sea este, soldador, operario de soldadura o armador. Con todo lo analizado hasta aquí el personal quedaría calificado mediante un WPQR respectivo, restando la realización del formulario que se puede hacer mediante el Formulario N.4 de ejemplo del anexo N pág. 361 del código AWS D1.1-2010.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 8 de 8

5. Escritura de las WPQR

Los resultados de los ensayos son registrados en el WPQR de acuerdo con el código AWS D1.1-2010. Si los resultados de los ensayos presentan todos los requerimientos prescritos, el ensayo es exitoso y el personal de soldadura queda habilitado para soldar bajo los requerimientos de esa WPS.

La información tomada de la calificación de soldadores y/u operarios de soldadura debe registrarse por escrito. Este documento escrito se conoce como WPQR (Welder Performance Qualification Record), o WQR (Welder Qualification Record). Allí deben registrarse como mínimo las Variables Esenciales para los soldadores, el tipo de pruebas realizadas y sus resultados, y los rangos calificados para cada soldador u operario.

El WPQR es un documento usado para registrar a los soldadores que han sido calificados por el fabricante para determinar su habilidad, utilizando una WPS.

Formato de WPQR o WPQ

Al final de este procedimiento-guía se fijan los formularios modelos establecidos por el código AWD D1.1-2010, con los contenidos necesarios para la confección de la WPQR, y se explica su llenado.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

REGÍSTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE SOLDADORES, OPERARIOS, O ARMADORES

Tipo de Soldador: _____ [1]
 Nombre: _____ [2] Identificación No.: _____ [3]
 Especificación de Procedimiento de Soldadura. No.: _____ [4] Revisión: _____ [5] Fecha: _____ [6]

Variables	Registro de valores actuales Usados en calificación	Rango Calificado
Proceso/tipo	[7]	
Electrodo (simple o múltiple)	[8]	[9]
Corriente/polaridad	[10]	
Posición	[11]	[12]
Progresión de soldadura	[13]	[14]
Respaldo	[15]	[16]
Material/especificación	[17] a	
Metal base		
Espesor (placa):		
Ranura	[18]	[19]
Filete	[18]	[19]
Espesor (tubo):		
Ranura	[18]	[19]
Filete	[18]	[19]
Diámetro (tubo):	[18]	[19]
Ranura	[18]	[19]
Filete	[18]	[19]
Metal de aporte		
Especificación No.	[20]	
Clase	[20]	
Número F.	[21]	[22]
Tipo de protección/gas	[23]	
Otro	[24]	

INSPECCIÓN VISUAL [25]			
Acceptable Si o No _____			
Resultado de Ensayo de Doblado Guiado [26]			
Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
[26]			
Resultado de Ensayo de Filete [27]			
Apariencia _____		Tamaño del Filete _____	
Ensayo de Fractura de Penetración de Raíz _____		Macroataque _____	
(Describe la localización, naturaleza, y tamaño de cualquier crack o tearing del espécimen.)			

Inspeccionado por: _____ [28] Número de Ensayo: _____ [29]
 Organización _____ [30] Fecha: _____ [31]

RESULTADO DE ENSAYO RADIOGRÁFICO [32]					
Identificación de la Película			Identificación de la Película		
Número	Resultado	Observaciones	Número	Resultado	Observaciones

Inspeccionado por: _____ [28] Número de Ensayo: _____ [29]
 Organización _____ [30] Fecha: _____ [31]

Los abajo firmantes, certificamos que lo expuesto en estos registros es correcto y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Capítulo 4 del código AWS D1.1/D1.1M, (_____)
 Código de Soldadura Estructural-Acero. _____ año

Contratista o Fabricante _____ [33] Autorizado por: _____ [34]
 Fecha: _____ [35]

4.5.2.1 *Instructivo para el llenado del formato de WPQR*

1. Puede ser soldador, operario de soldadura, o armador/punteador.
2. Colocar el nombre del soldador.
3. Establecer el número de identificación del personal de soldadura.
4. Colocar el número de la WPS con el cual se realizó la calificación, su revisión, y la fecha en la que se realizó la revisión.
5. Número de revisión de la WPS con el cual se realizó la calificación.
6. Fecha en la cual se realizó la revisión de la WPS con el cual se realizó la calificación.
7. Proceso con el cual se realizó la calificación, la misma que de la WPS. Ver la Tabla 4.12 del código, ítem 1.
8. Si se suelda con un solo electrodo o con diferentes electrodos.
9. Ver la Tabla 4.12 del código, ítem 7.
10. Tipo de corriente y polaridad con el cual se soldó en calificación. Igual al de la WPS.
11. La posición en la cual se soldó en calificación.
12. Ver Tabla 4.12 del código, ítem 4. Ver Tabla 4.10 del código.
13. Si es vertical ascendente o descendente.
14. Ver Tabla 4.12 del código, ítem 5.
15. Si se utilizó o no respaldo en la calificación.
16. Ver Tabla 4.12 del código, ítem 6.
17. Especificación de él y/o los materiales base que se soldó.
18. Espesor del metal base con el cual se hizo la calificación.
19. Rango de espesor calificado. Ver Tabla 4.11 del código.
20. Especificación y clase metal de aporte que se utilizó en calificación. Igual al de la WPS.
21. Número F del electrodo que se utilizó en la calificación. Igual al de la WPS. El número F solo en caso del proceso SMAW.
22. Ver Tabla 4.12 del código, ítem 2.
23. Tipo de protección o gas que se utilizó en la calificación. Igual al de la WPS.
24. Otras variables que no están consideradas.
25. Especificar si es aceptable o no la inspección visual del cupón de pruebas. Ver 4.9.1 del código AWS D1.1-2010.

26. Especificar el tipo de ensayo de doblado y su resultado. Ver 4.31.5 del código.
27. Especificar los resultados del ensayo de filete. Ver 4.31.2.3 y 4.31.4.1 del código.
28. Nombre de la persona que realizó los ensayos.
29. Número de ensayo.
30. Nombre de la organización que realizó los ensayos.
31. Fecha en la que se realizó los ensayos.
32. Especificar el resultado del ensayo radiográfico. Ver 4.31.3.2 el código.
33. Especificar el responsable de la calificación.
34. Nombre de la persona que autorizó la calificación.
35. Fecha en la cual se autorizó hacer los ensayos.

CAPÍTULO V

5. CONTROL DE CALIDAD DE ESTRUCTURAS SOLDADAS

El control de calidad de la soldadura en una estructura se basa en la realización de procedimientos y la combinación de éstos formando un sistema de procedimientos. El término inspección de soldadura también se puede usar.

El *sistema de procedimientos de control de calidad (SPCC)* es una guía para realizar el control de calidad de una soldadura de producción, donde se especifican todas las variables utilizables y sirven para dar las guías tanto al dueño de la obra, al contratista y al personal de END de cómo se realizará el control de calidad de la soldadura de la estructura. Los procedimientos del *SPCC* son los medios primarios de comunicación de todas las partes involucradas, por consiguiente, deben estar disponibles para el dueño, el ingeniero, el contratista, el inspector y el personal de END y consta de: procedimientos de control de calidad, procedimientos de criterios de aceptación, y procedimientos de inspección; que se desarrollan sobre la base de los requerimientos del código aplicable. La falta de conformidad con los procedimientos resultaría en inspecciones no idóneas.

5.1 Variables de control de calidad

En la ejecución del control de calidad se presentan muchas variables, en los procedimientos del *sistema de procedimientos de control de calidad (SPCC)* se especifican todas las variables que se deben cumplir en el proceso de control de calidad. Debido a la gran cantidad de variables no se los puede manejar en un solo procedimiento, por lo tanto, se ha desarrollado un *SPCC* y en cada uno de estos procedimientos se especificaran las diferentes variables que actúan dependiendo del tipo de método de END a realizar y así se puede englobar todas las variables.

En el código AWS D1.1-2010 no se establecen los diferentes parámetros como variables propiamente dicho, es más, no se los especifica de ninguna manera, pero para realizar un adecuado manejo del código en el desarrollo de éste proyecto se los maneja de ésta manera.

5.2 Propósito de los procedimientos

El propósito del control de calidad es asegurar la calidad de la soldadura de la estructura metálica, para lo cual, se debe realizar una adecuada inspección y evaluación de dicha soldadura en función de requerimientos mínimos del código aplicable.

El propósito de realizar una inspección a través de un procedimiento es garantizar la calidad de la inspección mediante metodologías de inspección similares a otras inspecciones de la misma naturaleza.

El propósito de realizar una evaluación a través de un procedimiento es garantizar una adecuada interpretación de los criterios de aceptación.

5.3 Objetivo de los procedimientos

El objetivo del procedimiento de control de calidad es garantizar una metodología adecuada de control según el código aplicable.

El objetivo del procedimiento de inspección es garantizar una metodología de inspección estandarizada según el código aplicable.

El objetivo del procedimiento de criterios de aceptación es garantizar una evaluación apropiada mediante una adecuada interpretación del código aplicable.

5.4 Estudio del código ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010

En este párrafo se realizará un estudio de la norma ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010, en sus secciones 5 y 6 que corresponden al control de calidad en soldaduras de producción en una estructura metálica, cuyos controles de calidad se realizan mediante inspección visual y otros END que se encuentran claramente definidos en esta norma.

Hay que saber diferenciar 2 cosas:

- Las secciones 3 y 4 son recomendaciones para hacer la *calificación de soldadura y personal de soldadura*; o sea, para hacer soldaduras que verifiquen la idoneidad

del procedimiento y la habilidad del soldador y que generalmente se realizan en condiciones ideales.

- Las secciones 5 y 6 son requerimientos para la *soldadura de producción* en fabricación y montaje, o sea en el campo, donde las condiciones ya no son las ideales, el soldador ya no tiene la misma facilidad de trabajo y va a tener otros requerimientos de orden físico, condiciones de ambiente, altura, etc., diferente, propias del campo y el código toma en cuenta estas condiciones.

5.4.1 *Fabricación y montaje.* La sección 5 del código AWS D1.1-2010 da requerimientos y disposiciones que se aplican como buenas prácticas de fabricación y montaje de estructuras metálicas soldadas y ayudan a garantizar la confiabilidad de las juntas soldadas en cuanto a la resistencia mecánica, la tenacidad, y el comportamiento mecánico que la estructura exige. Es una forma de explicar y dar directrices a seguir en la producción de las soldaduras, para lo cual, se establecen direccionamientos de las variables desde la especificación, recepción y preparación del material base hasta la aplicación y control de confiabilidad de la soldadura; cubre los requerimientos de mano de obra y técnicas a ser observadas durante la preparación y producción de los ensamblajes soldados; se especifica como reparar y eliminar las discontinuidades, etc.

5.4.2 *Inspección.* La sección 6 del código AWS D1.1-2010, trata sobre la inspección de soldaduras de producción. Los criterios de aceptación para las soldaduras de producción que se encuentran en la sección 6 son distintos de los que se establecieron en la sección 4 de calificación. La sección 6 de producción contiene:

- Las obligaciones de los inspectores, sus responsabilidades y requerimientos de calificación, donde se dan una serie de recomendaciones sobre el personal que se cree idóneo para hacer la inspección de soldadura.
- Las obligaciones del contratista, y sus responsabilidades.
- Los criterios de aceptación de soldaduras de producción para las discontinuidades. Tomar en consideración que no todas las soldaduras de producción van a ser perfectas, algunas o eventualmente muchas de ellas van a tener algún tipo de discontinuidad. El código AWS D1.1-2010 en su sección 6 lo que indica es que de las discontinuidades encontradas, cuántos son significativas y van a afectar en el comportamiento mecánico de la estructura, y cuántas de estas discontinuidades

no van a ser significativas y por lo tanto pueden quedar en la junta soldada. Cuando una discontinuidad es significativa es un defecto y cuando una discontinuidad no es significativa pues simplemente es una discontinuidad.

- Los procedimientos estándar para ultrasonido UT, y radiografía RT.

La sección 6 del código está dividida en 7 partes designadas como:

- A. Requerimientos generales: Respecto a los inspectores de soldadura.
- B. Responsabilidades del contratista: Respecto a la inspección.
- C. Criterios de aceptación: Es de las más utilizadas, son los criterios de aceptación para soldaduras por los distintos métodos de inspección VT, PT, MT, RT y UT.
- D. Procedimientos para END: Son cuestiones de orden normativo, contiene las especificaciones que se deben utilizar para hacer los procedimientos de END.
- E. Ensayo de radiografía RT: Dan todos los requerimientos que deben cumplir los procedimientos para hacer éste ensayo.
- F. Ensayo de ultrasonido para cordones de ranura UT: Dan todos los requerimientos que deben cumplir los procedimientos para hacer éste ensayo.
- G. Otros métodos de inspección/exanimación.

5.4.2.1 Parte A – Requerimientos generales. En esta parte se describen específicamente las obligaciones del inspector y su responsabilidad, para lo cual el código establece que hay dos tipos de inspección: (1) inspección de fabricación/montaje, y (2) inspección de verificación.

La inspección de fabricación y montaje es la inspección que realiza el contratista a través de un personal debidamente designado por el contratista quien actúa para y en beneficio del contratista.

La inspección y pruebas de verificación es prerrogativa (puede o no puede) del dueño de la obra o del fiscalizador (ingeniero). El inspector de verificación es debidamente designado por el dueño o ingeniero y actúa para y en beneficio del dueño o ingeniero. El alcance y mecanismo de esta inspección debe ser establecido en los documentos contractuales. Este código no establece que necesariamente debe haber un inspector de verificación pues es una prerrogativa, puede o no puede haber (quality assure).

Requerimientos de los inspectores:

Inspector de soldadura. Es la persona que va a recibir la soldadura y su responsabilidad es hacer la inspección visual de las juntas soldadas, además, es responsable de aceptar o rechazar el material o la mano de obra. El inspector de soldadura no necesariamente va a hacer los otros ensayos no destructivos (END) requeridos, para esto puede valerse de otros inspectores. El código AWS D1.1-2010 establece que hay tres tipos de inspectores: 1) inspector del contratista, 2) inspector de verificación, 3) inspector.

El personal que haga inspección de soldadura debe ser un personal idóneo, que tenga competencia, habilidad, conocimiento de la soldadura en las etapas de: diseño, fabricación, ejecución e inspección de soldadura, en cualquiera de éstas. Se establece una obligatoriedad de inspectores calificados de una manera documentada. El personal adecuado para hacer la inspección de soldadura podría ser alguna persona o profesional que tenga alguno de las siguientes bases aceptables de calificación de inspección:

- AWS CWI: Inspector de soldadura certificado por AWS nivel II que tenga calificación vigente o haya tenido calificación vigente.
- CWB Buro Canadiense de soldadura: Un inspector de soldadura que tenga calificación vigente o haya tenido calificación vigente de la calificación otorgada por el Buro canadiense de soldadura.
- Una persona, ingeniero o técnico con entrenamiento y experiencia en labores de inspección, aprobado como competente por el ingeniero.

Nota 1: El código establece que el inspector de soldadura tenga u haya tenido una certificación de inspector de soldadura, no dice que debe tener la certificación vigente. Cuándo se habla de certificación de inspectores, y personal de END normalmente éstos tienen periodos de validez, por lo que un inspector de soldadura normalmente se califica por un lapso de 3 años y se puede seguir renovando.

Nota 2: Si el dueño de la obra requiere algún tipo especial de calificación del inspector de soldadura, debe estar establecida así en los documentos de contrato.

Para los inspectores de END (personal de END), el código AWS D1.1-2010 remite a otros códigos como el ASME V, el cual indica que el personal debe tener una calificación según la norma ASNT TC 1A, como Nivel I, II y III, el problema con ésta norma es que la calificación puede hacerse de primera parte, o sea, que el mismo fabricante entrena y califica al inspector convirtiéndose en juez y parte. Se da un conflicto de intereses debido a que normalmente el fabricante contrata a un inspector nivel III para que entrene a los nuevos inspectores y le paga según como rindan los nuevos inspectores. Por este motivo muchos de los cuestionamientos en los END es la confiabilidad de los resultados debido a la no idoneidad del personal de inspección.

Ahora hay una corriente creciente que se inclina en el uso de la norma ISO 9712 para calificar personal de END con una calificación de tercera parte y que trata de imponerse a nivel mundial sobre la ASNT. Es una entidad o centro acreditado (para entrenar, calificar y certificar al personal de soldadura) quién independientemente del fabricante certifica la idoneidad del personal de soldadura, eliminando así el conflicto de intereses.

Los inspectores pueden ser calificados de primera, segunda o tercera parte y el ingeniero debe tener autoridad para verificar la calificación de los inspectores. Además, se pueden emplear inspectores asistentes bajo la responsabilidad del inspector jefe. Los inspectores deben ser notificados con anterioridad al inicio de las operaciones para que puedan preparar su plan de inspección; se les debe suministrar los planos de detalle completos, con el tamaño, largo, tipo y ubicación de todas las soldaduras, también se les debe proveer los documentos contractuales sobre materiales y requerimientos de calidad.

Obligaciones, tareas y funciones del inspector para la inspección de soldadura. El inspector de soldadura es responsable de asegurar que toda la fabricación y montaje por soldadura sea realizado de acuerdo con los requerimientos de los documentos del contrato. El inspector de soldadura durante la inspección debe cumplir con:

- Su responsabilidad.
- Requerimientos del código:
 - Inspección de materiales y equipos.
 - Inspección de WPS's, y calificación de personal de soldadura.
 - Inspección de trabajo y registros.

La inspección de soldadura no es simplemente soldar y ver el cordón; la inspección de soldadura abarca tareas que van antes, durante y después de la soldadura:

Antes de la soldadura:

- Inspección de los materiales base y electrodos (almacenamiento).
- Inspección de los WPS's.
- Inspeccionar que el PQR esté bien soportado.
- Inspección de los equipos adecuados y su calibración.
- Inspección del personal de soldadura.
- Inspeccionar la preparación de las juntas.

Durante la soldadura:

- Inspección del trabajo y de registros (antes, durante y después de la soldadura).
- Verificar que se suelde según los WPS.
- Inspeccionar las operaciones del montaje, técnicas de soldadura y habilidad de cada soldador u operador.
- Uso de herramientas y equipos apropiados para la inspección visual (VT).
- Identificación de todas las partes inspeccionadas.
- Mantener registros de su trabajo.

Después de la soldadura:

- Verificar que las soldaduras estén dentro de los lineamientos que indica el código en el tamaño, posiciones, formas, etc.
- Inspección de la soldadura con los criterios de END y verificar los resultados.
- Verificar que las juntas soldadas tengan la geometría recomendada, especialmente en aquellas juntas de edificios que están sometidos a eventos sísmicos.

5.4.2.2 Parte B – Responsabilidades del contratista. Detalla las obligaciones y responsabilidades del contratista; es su responsabilidad la inspección visual (VT) del 100% de las soldaduras efectuadas, y de las correcciones de todas las deficiencias de materiales y mano de obra que no estén de acuerdo con los requerimientos del código AWS D1.1-2010. Además, es su responsabilidad la inspección y pruebas durante la fabricación y montaje. El contratista en su sistema de control de producción debe tener personal que haga la inspección de fabricación (quality control) control de calidad.

Es obligación del contratista cumplir con:

- Sus responsabilidades.
- Requerimientos del inspector.
- Criterio/juicio del ingeniero.
- Otras END diferentes a la visual (especificado y no especificado).

A juicio del ingeniero, se deben corregir o reparar aquellas partes de la junta que no cumplen los requerimientos del código AWS D1.1-2010, pues en su referencia 6.6.3 pág. 221 hay una cuestión subjetiva, y no todas las correcciones o reparaciones que se hagan están basadas en el código, porque el ingeniero en última instancia puede decir que una junta no sirve y hay que reparar, esto sin seguir ninguna normativa del código.

Si se especifican en el contrato otros END, es responsabilidad del contratista que las soldaduras cumplan con los criterios de aceptación del código. Además, si el dueño requiere hacer otros END que no han sido especificados en el contrato, el contratista o fabricante no puede negarse y tiene que dar las facilidades del caso; si se encuentran defectos, es el contratista/fabricante quien corre con los gastos, pero si no se encuentran defectos que afecten a la soldadura es el dueño quien corre con los gastos.

5.4.2.3 Parte C – Criterios de aceptación. El código en esta parte describe los criterios de aceptación-rechazo generales (para la mayoría de situaciones) para soldaduras de producción, aplicables a inspección visual y END. El código señala una diferencia entre inspección visual e inspección de END, los presenta como dos cuestiones diferentes en la práctica. Los criterios de aceptación están separados según el tipo de conexión y el tipo de carga, como: conexiones tubulares y conexiones no tubulares, cargadas estática y cíclicamente. Estos dos factores se deben tomar en cuenta a la hora de desarrollar los procedimientos de criterios de aceptación para un caso específico.

En la Parte C del código AWS D1.1-2010 se indican los criterios de aceptación para la inspección visual (VT) y todas las técnicas de END aprobadas, las cuales son:

- Líquidos Penetrantes (PT).
- Partículas Magnéticas (MT).
- Radiografía (RT).
- Ultrasonido (UT).

El código señala que, para que los criterios de aceptación y extensión alcancen a las soldaduras de producción, se los deben estipular en los documentos del contrato debido a que se permiten criterios de aceptación alternos con la aprobación del ingeniero. La premisa del código es: especificaciones generales (situaciones generales).

El código en este caso trabaja desde dos perspectivas que son: *Primero*, criterios de aceptación referentes y, *Segundo*, criterios de aceptación específicos. Los criterios de aceptación referentes indican la aplicabilidad de los criterios específicos, mientras que a los criterios de aceptación específicos hay que, comprender su uso, e interpretar su ejecución. En esta parte del proyecto se menciona solamente los criterios de aceptación referentes, para posteriormente estudiar los criterios de aceptación específicos en los procedimientos de criterios de aceptación.

Inspección visual (VT), líquidos penetrantes (PT), y partículas magnéticas (MT). Todas las soldaduras de producción deben ser inspeccionadas visualmente antes de aplicar otras técnicas de END y serán aceptables si los criterios de la Tabla 6.1 pág. 239 del código AWS D1.1-2010 son satisfechos. Las soldaduras que se encuentran sujetas a ensayos de partículas magnéticas (MT) y líquidos penetrantes (PT) también deben ser evaluadas sobre la base de los requerimientos aplicables de la Tabla 6.1 pág. 239 del código AWS D1.1-2010.

La aplicabilidad de la Tabla 6.1 del código AWS D1.1-2010 está mencionada en esta parte del proyecto, pero, la interpretación se lo realizará más adelante de forma muy detallada en el procedimiento de criterios de aceptación para VT, PT, y MT.

Ensayos no destructivos (END). Todos los métodos de END incluyendo, los requerimientos y calificaciones de equipos, del personal y procedimientos operativos deberán estar en conformidad con la sección 6 de inspección del código AWS D1.1-2010, excepto los requerimientos complementarios de la RT para uniones tubulares. Los criterios de aceptación deberán ser los descritos en la sección 6 del código. Las soldaduras sujetas a los END deben primero ser aceptadas por la inspección visual.

Se puede inspeccionar inmediatamente después que la soldadura se ha enfriado; pero, para materiales templados y revenidos como los aceros ASTM A514, A517 y A709

grado 100 y 100W, se deben hacer los END después de 48 horas porque tienen la tendencia de producir fisuras en frío; o sea después que se enfría la soldadura pasa un tiempo y recién aparecen las fisuras.

Inspección radiográfica (RT). Los criterios de aceptación están de acuerdo al tipo de conexión, tipo de carga, y tipo de fuerza. Se presentan 3 condiciones de criterios de aceptación, para:

- Conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente.
- Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente:
 - Conexiones en tensión.
 - Conexiones en compresión.

Para los criterios de aceptación el código AWS D1.1-2010 presenta un criterio referente (referencia 6.12 pág. 222), y 5 criterios específicos (referencias 6.12.1, 6.12.2, 6.12.2.1, 6.12.2.2, y 6.12.2.3 págs. 222, 223), además, 3 criterios específicos en las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 págs. 247-261. Por lo cual, la inspección por RT se debe hacer en 2 partes:

1. Mediante las limitaciones dadas en las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 págs. 247-261 del código AWS D1.1-2010.
2. Mediante las limitaciones dadas en las referencias 6.12.1, 6.12.2, 6.12.2.1, 6.12.2.2 y 6.12.2.3 págs. 222, 223 del código AWS D1.1-2010.

Las limitaciones dadas en las figuras son para discontinuidades alargadas, que se dan para distintos tipos de juntas con distintos tipos de carga. Al hacer la radiografía se encuentran las discontinuidades, y para evaluarlos, lo primero que se debe hacer es saber el espesor del material que se está soldando, entonces, en las figuras se puede establecer cuál es el tamaño máximo a aceptar. Para esto, se entra en la figura con el E-tamaño de la soldadura (espesor del material o garganta efectiva), luego se proyecta desde E una horizontal hasta B y se encuentra el tamaño máximo de la discontinuidad permisible-B, y si hay más de una discontinuidad se proyecta una línea vertical desde B hasta C para encontrar la separación mínima entre los bordes de discontinuidades-C.

En las referencias 6.12.1, 6.12.2, 6.12.2.1, 6.12.2.2 y 6.12.2.3 págs. 222, 223 del código AWS D1.1-2010 se van a tener algunos otros criterios adicionales para cuestiones más

particulares de evaluación de defectos. Estos criterios indican que no deben existir fisuras y las indicaciones no deben ser aceptadas si estas discontinuidades sobrepasan los límites específicos para cada caso particular.

Inspección ultrasónica (UT). Los criterios de aceptación están de acuerdo al tipo de conexión y tipo de carga, y se hace referencia a 3 condiciones de criterios. Criterios de aceptación para:

- Conexiones no tubulares cargadas estáticamente.
- Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente.
- Conexiones tubulares.

Las soldaduras a las que se hace el ensayo por ultrasonido son evaluadas sobre la base de una discontinuidad que refleja el haz de ultrasonido en forma proporcional a su efecto en la integridad de la soldadura.

Tabla 19. Clasificación de los criterios de aceptación según la especificación 6.13 del código AWS D1.1-2010

Tipo de conexión	Tipo de carga (en la estructura)	Tipo de fuerza (en la garganta de soldadura)	Criterios de aceptación
Conexión no tubular	Estáticamente cargada		Tabla 6.2
	Cíclicamente cargada	Esfuerzos de tensión	Tabla 6.3
		Esfuerzo de compresión	Tabla 6.2
Conexión tubular		Clase R	6.13.3.1
		Clase X (para uniones T, Y, K)	6.13.3.2
		Ambas Clase R y X	

Nota: La clase X se basa en el criterio de aptitud para el servicio.
Todas las demás se basan en el criterio de amplitud.

Fuente: Autor

El criterio de aceptabilidad que se usa para las conexiones no tubulares y para las conexiones tubulares en juntas a tope en tubos de diámetro $\geq 600\text{mm}$, está basado en la amplitud, sin embargo, este criterio de amplitud no debe usarse en uniones T, Y o K. Para las uniones T, Y, K se usa el criterio de aptitud para el servicio.

Para el análisis de los criterios de aceptación para UT se tiene que el código AWS D1.1-2010 presenta 2 criterios referentes (referencias 6.13.1 y 6.13.2 págs. 223, 224), y 3 criterios específicos (referencias 6.13.3 pág. 224), además de 2 criterios específicos (Tablas 6.2 y 6.3 págs. 240, 241). Tomando en consideración el anexo S del código

AWS D1.1-2010 se concluye que los criterios de aceptación por ultrasonido se pueden realizar de 2 formas:

1. Mediante las limitaciones de las Tablas 6.2 y 6.3 págs. 240, 241 del código AWS D1.1-2010. Mediante la suma de las alturas de los reflectores.
2. Mediante las limitaciones de la Tabla S.1 pág. 384 del código AWS D1.1-2010. Mediante la curva DAC.

Cuando se evalúa las soldaduras mediante las Tablas 6.2 y 6.3 del código se lo realiza mediante el procedimiento de la suma de las alturas de los reflectores, en donde las Tablas 6.2 y 6.3 del código indican las clase de discontinuidad, a partir del espesor de la soldadura, del ángulo del palpador y de la clasificación de indicación (d), que se obtiene mediante una ecuación de suma y resta de las alturas de los reflectores obtenidos en dB, se indica en un resumen si la clase A, B, C, D es una discontinuidad o es un defecto por rechazar. Entonces esta inspección ultrasónica se basa en reportar mediante las ecuaciones de suma y resta la clase de discontinuidad no permitida.

Al evaluar las soldaduras mediante la Tabla S.1 se lo realiza mediante el procedimiento de creación de la curva DAC, que es una manera alternativa de inspección, la curva DAC se crea a través de la sensibilidad estándar SSL y se debe establecer también el nivel no considerado DRL ($DRL = SSL - 6dB$). La sensibilidad estándar SSL consiste en la suma de la sensibilidad básica, corrección distancia-amplitud y corrección de transferencia. En la Tabla S.1 el criterio de aceptación está en función de 3 niveles de amplitud de discontinuidad máxima obtenida y de las clases de soldadura, se presenta el criterio de aceptación-rechazo en función de la longitud máxima de la discontinuidad. Además, los criterios de la Tabla S.1 aplican cuando la amplitud (altura del reflector) y la longitud, son los factores principales y la altura máxima de la discontinuidad no es conocida. Cuando el tamaño (altura y longitud) de la discontinuidad máxima permisible es conocido y es especificado por el ingeniero, la evaluación final y la aceptación o rechazo debe ser por el ingeniero. Además se tienen otras consideraciones prácticas como el siguiente, si la altura del reflector producto de una discontinuidad queda debajo de la curva DAC el reflejo es simplemente una discontinuidad, pero si el reflector pasa de la curva DAC es un defecto el cual hay que reportar. Entonces esta inspección ultrasónica se basa en reportar los reflectores que superen la curva DAC.

Conclusión: Los criterios de aceptación de producción son más amplios que en calificación, y hay que tener cuidado de no mezclarlas.

5.4.2.4 Parte D - Procedimientos de ensayos no destructivos – END. El código AWS D1.1-2010 establece que los END se deben hacer mediante métodos aprobados, los cuales se consiguen desarrollando procedimientos aprobados. Los procedimientos de END permiten realizar una adecuada verificación de la integridad de las soldaduras. Se deben tener en cuenta las limitaciones de los procedimientos, pues la inspección visual (VT) y los END son complementarios y ningún ensayo por si solo puede determinar todas las discontinuidades. La visión es que para hacer los ensayos se debe tener procedimientos/métodos aprobados, y esta Parte D del código referencia dónde están los requerimientos para los procedimientos que se deben cumplir.

Ensayo radiográfico (RT): El procedimiento y técnica debe estar en conformidad con la parte E de la sección 6 pág. 225 del código AWS D1.1-2010.

Ensayo ultrasónico (UT): El procedimiento y técnica debe estar en conformidad con la parte F de la sección 6 pág. 228 del código AWS D1.1-2010.

Ensayo por partículas magnéticas (MT): El procedimiento y técnica debe estar en conformidad con ASTM E709.

Ensayo de tintas penetrantes (PT): El procedimiento y técnica debe ser realizado en conformidad con un ASTM E165.

Calificación y certificación del personal. El personal que efectúa los END (que no sea la VT) deberá estar calificado y certificado en conformidad con la edición actual de la ASNT práctica recomendada N.- SNT-TC-1A. Los individuos que efectúan los END deben ser calificados para:

- END nivel II, o
- END nivel I (trabajando bajo el personal de END nivel II).

La certificación de los individuos nivel I y nivel II debe ser efectuado por un individuo nivel III quien ha sido certificado por la ASNT. El personal que desarrolla el

método/procedimiento a aplicar para hacer el END debe ser un nivel III. El personal que interpreta los hallazgos de discontinuidades encontrados con los END debe ser nivel II, el personal que levanta la información puede ser nivel I.

5.4.2.5 Parte E – Ensayo radiográfico – RT. La Parte E del código AWS D1.1-2010 es específico para el uso de los procedimientos de radiografía, y en su especificación 6.17, pág. 225 se describe los procedimientos a utilizarse en la inspección y se especifican la mayor parte de parámetros y variables que se regulan en la inspección. Esta inspección se lo realiza si está estipulado en los documentos del contrato, son específicas para soldaduras de ranura en juntas a tope en placas, perfiles y barras por medio de fuentes de rayos X o rayos gamma. La metodología debe estar conforme a:

- ASTM E 94: Prácticas recomendadas estándar para ensayo radiográfico.
- ASTM E 142: Métodos estándar para controlar la calidad del ensayo radiográfico.
- ASTM E 747: Control de calidad del ensayo radiográfico usando penetrómetros de alambre.
- ASTM E 1032: Exanimación radiográfica de productos soldados.

Este ensayo, si bien es útil, y su interpretación es directa y sencilla, requiere de medidas de seguridad estrictas para el personal circundante, esto supone que el tiempo disponible para realizar estas pruebas es muy limitado. Además, solamente cuando se ha concluido el tiempo de revelado es posible observar la calidad de la inspección, y si es buena se la puede evaluar; el tiempo de exposición radiográfica es medianamente largo. Frente a otros ensayos, resulta poco ventajoso en cuanto a niveles de productividad y a mayor riesgo para los operarios. Es por esto y otras razones que otros END empiezan a ocupar con mayores tecnologías el sitio que la radiografía industrial ha ocupado en el campo de la inspección no destructiva. Si bien es cierto, este método es interesante no se lo estudiara en detalle en este proyecto.

5.4.2.6 Parte F – Ensayo ultrasónico de soldadura de ranura – UT. Los procedimientos y estándares establecidos en la Parte F deben gobernar los ensayos por ultrasonido de soldaduras de ranura, tanto en el metal de soldadura como en la ZAT entre espesores de 8mm a 200mm, y el Anexo S para espesores menores a 8mm y mayores a 200mm. Los procedimientos y estándares se prohíben para las conexiones

tubo-tubo T, Y, K, o se deben hacer consideraciones especiales. La aplicación de técnicas alternativas para realizar ensayos de ultrasonido, podrá establecer variaciones en los procedimientos de ensayo, equipo y criterios de aceptación alternativas y, pueden ser usados con la aprobación del ingeniero por medio de un procedimiento calificado que forme parte de la documentación contractual.

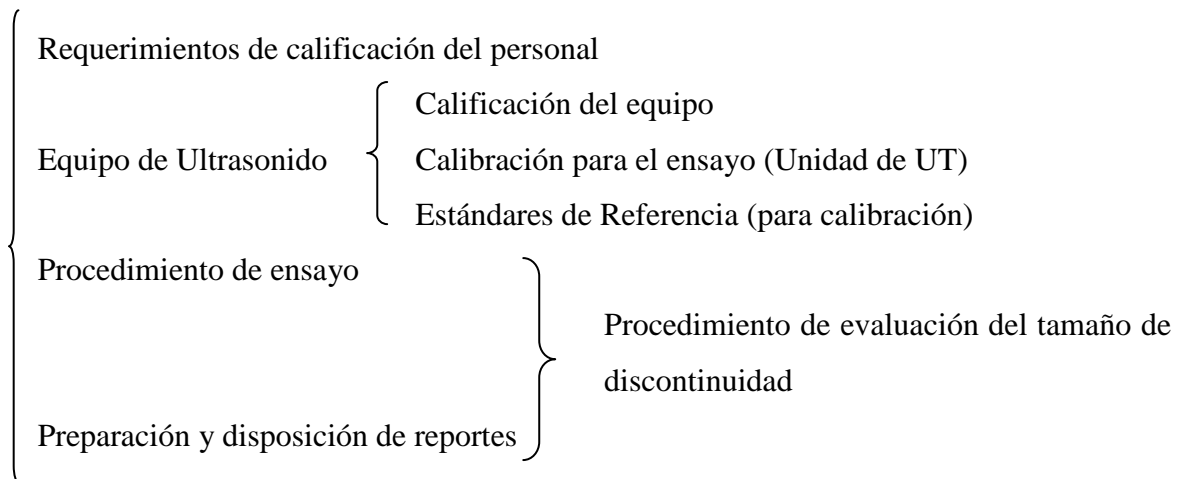
El ultrasonido es aplicable para cualquier tipo de juntas ya sea filete o ranura de CJP, pero no se recomienda para juntas de ranura PJP porque da lugar a falsas indicaciones. En el código AWS D1.1-2010 se pueden formar 2 grupos de especificaciones; para las conexiones no tubulares y para las conexiones tubulares.

Ultrasonido en conexiones tubulares. El código AWS D1.1-2010 le dedica solamente la referencia 6.27, pág. 232, en donde se encuentran todos los requerimientos para hacer un ensayo de ultrasonido; como:

- Procedimiento.
- Personal.
- Calibración.
- Exanimación del metal base.
- Escaneo de la soldadura.
- Ángulo.
- Evaluación de la discontinuidad.
- Reportes.

En este proyecto el estudio del código AWS D1.1-2010 se lo hará sobre la base del ensayo de ultrasonido en conexiones no tubulares para lo cual se tienen mayores requerimientos del código AWS D1.1-2010.

Ultrasonido en conexiones no tubulares. A este caso se especifica ampliamente la Parte F del código AWS D1.1-2010, y se las puede agrupar de la siguiente manera:



Requerimiento de calificación del operador del equipo de ensayo. Los operadores de ensayo por ultrasonido deben demostrar habilidad para aplicar las reglas del código AWS D1.1-2010 en la detección precisa y ubicación de las discontinuidades, mediante un examen práctico y específico.

Equipo de ultrasonido. En esta parte se habla bastante de cómo calificar el equipo de UT, y de cómo calibrar la unidad de UT, puesto que la confiabilidad de lo que se encuentre con el ultrasonido depende mucho de que el equipo esté calificado y de que la unidad esté bien calibrada, y se establecen periodos de calibración. Se debe tomar en cuenta que el código AWS D1.1-2010 establece como equipo de ultrasonido a todo lo que compone el instrumento (la maquina), los transductores, etc. Mientras que llama instrumento o unidad de ultrasonido a la maquina solamente.

Al tratar sobre el equipo de soldadura encontramos que el código AWS D1.1-2010 básicamente especifica 7 detalles:

- 1) Equipo de ultrasonido.
- 2) Estándares de referencia (bloques de calibración).
- 3) Calificación del equipo de ultrasonido.
- 4) Calibración de la unidad de ultrasonido para el ensayo.
- 5) Procedimiento de calibración de la unidad de ultrasonido con el bloque IIW.
- 6) Procedimiento de calificación del equipo de ultrasonido.
- 7) Ejemplo de certificación de la exactitud de dB.

Se puede notar claramente que, al instrumento o unidad de ultrasonido se lo calibra; mientras que, al equipo de ultrasonido se lo califica.

1) *Equipo de ultrasonido.* En la referencia 6.22 págs. 228, 229 del código AWS D1.1-2010 se describen los requerimientos para el equipo de ultrasonido, que incluyen: los instrumentos de ultrasonido, los palpadores (transductores) y los bloques de calibración.

Instrumento o unidad de ultrasonido. El instrumento de ultrasonido deberá proveer de la técnica pulso-eco adecuada para el uso con los transductores que oscilan a frecuencias entre 1 a 6 MHz. La pantalla de visualización deberá ser con la representación del tipo “A” SCAN, con registro de video rectificado, escala horizontal en el tiempo, vertical en dB con control de ganancia ajustable en forma discreta en saltos de 1 o 2 dB en un rango mínimo de 60 dB, variación en respuesta no mayor a ± 1 dB con fluctuaciones de 15% del voltaje en la tensión nominal de suministro de energía, debido a que los resultados vienen de un proceso eléctrico, y si la energía recae dentro de cierto voltaje los datos/resultados ya no son muy confiables. El tipo de escaneo (scan) aprobado para una evaluación estándar es el scan A, aún no está aprobado el scan B, sin embargo, esta aprobado como una forma alternativa de evaluación, y se la puede utilizar para poder de alguna manera hacer una visualización.

Palpadores. Los requerimientos de los palpadores, dado que es parte del equipo de ultrasonido, también los podemos encontrar en las referencias 6.22 y 6.24 del código AWS D1.1-2010, pero específicamente en las referencias 6.22.6, 6.22.7, 6.24.3, y 6.24.4 págs. 229, 230 del código AWS D1.1-2010.

Se establece el uso tanto de palpadores de haz recto como de haz angular. Los palpadores de haz recto deben tener un área activa (o de contacto) de entre 323 mm² y 645 mm². Pudiendo ser redondos o cuadrados y capaces de resolver 3 reflexiones. Los palpadores angulares pueden estar compuestos de 2 elementos separados o puede ser una unidad integral a 45°, 60° o 70°, con una frecuencia de entre 2 y 2.5 MHz. Cuando se hace la inspección ultrasónica en soldaduras, se utiliza la técnica del haz inclinado, que significa que un transductor envía un haz ultrasónico transversal. En los nuevos equipos se pueden tener las distancias automáticamente, el limitante sería el espacio que se necesita que recorra el transductor. El equipo de ultrasonido debe estar calificado para cada una de las variables. La calificación del equipo de ensayo se debe realizar

mediante el procedimiento para calificación del equipo de ultrasonido, según la referencia 6.30 del código AWS D1.1-2010.

2) *Estándares de referencia.* Básicamente lo que indica es que cualquier bloque de referencia para UT tipo IIW puede ser utilizado para calibrar la distancia y la sensibilidad. El bloque de tipo IIW debe estar en conformidad con la especificación ASTM E164. El agujero para la sensibilidad debe tener un diámetro de 1.5mm. Para calibrar la resolución se debe utilizar el bloque de referencia RC, la combinación palpador/instrumento debe ser capaz de resolver los 3 agujeros a una altura media del monitor.

3) *Calificación del equipo.* Los requerimientos de calificación del equipo los encontramos en la referencia 6.24 págs. 229, 230 del código AWS D1.1-2010, aquí se detallan las variables a calificar, como son: la linealidad horizontal, y el control de ganancia, (en los instrumentos de UT); y, las reflexiones internas y la calibración de los palpadores angulares, (en los palpadores).

En los instrumentos de UT se debe calificar la linealidad horizontal cada 2 meses sobre la distancia de la trayectoria sonora. El rango dinámico del monitor del equipo debe ser tal que la diferencia de 1dB de amplitud pueda ser detectada fácilmente en el mismo. En los palpadores las reflexiones internas se deben verificar cada 40 horas, y específicamente los palpadores angulares se deben verificar cada 8 horas de uso.

4) *Calibración de la unidad de UT para el ensayo.* La referencia 6.25 pág. 230 del código AWS D1.1-2010, trata sobre algunos asuntos prácticos que se deben hacer antes de una calibración o de un ensayo.

5) *Procedimiento de calibración de la unidad de ultrasonido con el bloque IIW.* Aunque en realidad la referencia 6.29 págs. 234, 235 del código AWS D1.1-2010 contiene 2 procedimientos claramente definidos, no se lo menciona así en el título. Pero se debe establecer que, aunque en la forma no se lo menciona, en el fondo claramente contiene dos procedimientos. Los procedimientos que contiene esta referencia se clasifican según los dos tipos de palpadores:

- Procedimiento para la calibración de la unidad de UT con palpador recto (Onda longitudinal).
- Procedimiento para la calibración de la unidad de UT con palpador transversal (ondas de corte).

Se encuentran una serie de parámetros de calibración para ambos tipos de palpadores en la unidad de ultrasonido, como son, para palpador recto: la calibración de la distancia, amplitud, resolución, linealidad horizontal y control de ganancia. Mientras que para el palpador angular da: el punto de salida del haz y su ángulo, la calibración de distancia, sensibilidad, y resolución, con los respectivos bloques de calibración.

6) *Procedimientos de calificación del equipo de ultrasonido.* Se deben tomar en cuenta las referencias 6.24, 6.30 y 6.33 págs. 229, 230; 235, 236 y 237 del código AWS D1.1-2010. En la referencia 6.24 se encuentran las generalidades, y las variables que se deben involucrar en la calificación del equipo de ultrasonido como: la linealidad horizontal, control de ganancia, reflexiones interna, calibración de los transductores de haz angular. En la referencia 6.30 del código están establecidos los procedimientos a seguir, específicos para cada uno de las variables mencionadas con anterioridad, y de esta manera realizar la calificación del equipo de UT. Mientras que en la referencia 6.33 del código se especifican ejemplos para la certificación de la exactitud de dB. En la referencia 6.30 del código se encuentran detallados 4 procedimientos específicos:

- Procedimiento de linealidad horizontal.
- Para la exactitud en dB:
 - Procedimiento para la exactitud de dB de $\pm 1\%$. Ecuación de dB.
 - Procedimiento para el uso del monógrafo en el Anexo M, Formulario M-10. Se dan las notas para el anexo M. Ejemplo del uso del monógrafo.
- Procedimiento de reflexión interna.

7) *Ejemplo de certificación de la exactitud de dB.* Es un ejemplo para la calificación del equipo de ultrasonido, para calificar la variable de control de ganancia o atenuación en la unidad de UT, y se muestra en el Anexo M págs. 345, 347, 349 Formularios M-8, M-9, M-10 del código AWS D1.1-2010.

Procedimientos. En esta parte se encuentran específicamente detallados los siguientes procedimientos:

- Procedimiento de ensayo de inspección (referencia 6.26).
- Procedimiento de calificación del equipo.
- Procedimiento para la evaluación del tamaño de la discontinuidad.

También hay otros procedimientos que no están bien definidos como uno, pero que realmente son procedimientos:

- Procedimiento de calibración de la unidad de ultrasonido con el bloque tipo IIW.
 - Para modo de onda longitudinal (haz recto).
 - Para modo de onda transversal (haz angular).

La idea en este proyecto es realizar un procedimiento de inspección general que englobe a todos los procedimientos anteriores, en la cual debe estar dividido en por lo menos 2 procedimientos que son:

- Procedimiento de calibración del equipo para el ensayo.
- Procedimiento de inspección del ensayo.

Tomar en consideración que los procedimientos de calibración de la unidad de UT con el bloque tipo IIW, y el procedimiento de calificación del equipo de UT, por ser parte del análisis del equipo de ultrasonido ya fueron tratados anteriormente.

Procedimiento de ensayo de inspección. Se especifica en la referencia 6.26 págs. 230-232 del código AWS D1.1-2010. Es el procedimiento más importante o de mayor utilidad en el momento de realizar una inspección, o sea, es el procedimiento mismo para realizar el ensayo de inspección, y en base a este procedimiento se podrá evaluar una discontinuidad. Este procedimiento contiene 12 referencias que son:

1. Línea de eje “X”.
2. Línea de eje “Y”.
3. Limpieza.
4. Acoplamiento.
5. Alcance o extensión del ensayo.
6. Ensayo de soldaduras.
7. Longitud de discontinuidades.

8. Bases para la aceptación y rechazo.
9. Identificación del área rechazada.
10. Reparación.
11. Informes de reensayo.
12. Respaldo.

La inspección por ultrasonido se puede hacer mediante 2 técnicas diferentes:

- I. Mediante la suma de las alturas de los reflectores.
- II. Mediante la curva DAC.

I. En ultrasonido lo que se hace es medir la amplitud del eco (dB) que se proyecta sobre la pantalla del equipo de ultrasonido en configuración A-scan. Se comparan las alturas de los reflectores de referencia (b), con los reflectores productos de una discontinuidad (a), que va apareciendo en la pantalla, y tomando en cuenta el factor de atenuación (c), mediante una ecuación que se describe en la referencia 6.26.6.5 del código AWS D1.1-2010, se calcula la clasificación de la indicación (d).

El nivel de indicación o registro (a) es la indicación de la discontinuidad que aparece en la pantalla al momento de hacer la inspección de la soldadura. El nivel de referencia (b) es la reflexión que se produce en la pantalla debido al agujero presente en el bloque de calibración.

$$a = \text{nivel de indicación o registro}$$

$$b = \text{nivel de referencia}$$

El factor de atenuación (c) deberá ser redondeado al valor de dB más cercano. Los valores fraccionarios menores que 0.5 dB deberán ser reducidos al menor valor de dB, y aquellos mayores o iguales que 0.5 dB deberán incrementarse al nivel superior.

$$c = \text{corrección o factor de atenuación}$$

$$c(\text{dB}) = (\text{sound path} - 25.4\text{mm}) * 0.08\text{mm} \rightarrow \text{en [mm]} \quad (\text{A})$$

$$c(\text{dB}) = (\text{sond path} - 1") * 2" \rightarrow \text{en [in]} \quad (\text{B})$$

$$\text{sound path} = \text{es la ruta o trayectoria del sonido}$$

La clasificación de indicación (d) representa la diferencia algebraica entre (a) y (b), con la corrección de atenuación.

$$d = \text{clasificación de indicación}$$

$$a - b - c = d \rightarrow \text{con control de ganancia} \quad (\text{C})$$

$$b - a - c = d \rightarrow \text{con control de atenuación} \quad (\text{D})$$

Seguidamente, en las Tablas 6.2 y 6.3 págs. 240, 241 del código AWS D1.1-2010, cualquiera que sea aplicable, se ingresa mediante el espesor de la soldadura, el ángulo del palpador, y mediante el valor obtenido de la clasificación de la indicación (d) se obtiene la clase de severidad de discontinuidad (clase A, B, C, D). Estas clases de discontinuidad A, B, C, D indican si la reflexión es una discontinuidad aceptable o si es un defecto que se lo debe rechazar. Entonces, esta inspección ultrasónica estándar según el código AWS D1.1-2010 se basa en reportar mediante las ecuaciones de suma y resta la clase de discontinuidad no permitida.

II. Además de la inspección estándar, el código AWS D1.1-2010 en su Anexo S también permite hacer la examinación de las soldaduras mediante técnicas alternativas de inspección. Esta técnica alternativa presenta un enfoque diferente para las UT de soldaduras y es más operativa en el campo, y se trata de calibrar el equipo de ultrasonido entre los límites que se tiene mediante la curva DAC, la cual indica cual va a ser la altura máxima del reflector sin que sea un defecto. Para lo cual, se marca la curva DAC en el equipo, si el reflector producto de una discontinuidad queda debajo de la curva DAC el reflejo es simplemente una discontinuidad, pero si el reflector pasa de la curva DAC es un defecto el cual hay que reportar. Entonces esta inspección ultrasónica se basa en reportar los reflectores que superen la curva DAC. Las técnicas alternativas no son mandatorias a menos que se especifiquen en los documentos del contrato. Esta técnica no se usa para complementar los requerimientos de la sección 6 del código AWS D1.1-2010, pues sus procedimientos y técnicas especificadas son completos. Además el código permite hacer referencia a información adicional. El código pone énfasis sobre: el procedimiento de UT, requerimientos especiales del técnico de UT, y requerimientos de instrumentación y calibración.

Primero se inspecciona para encontrar el defecto, luego se evalúa para determinar la corrección que se debe hacer.

Procedimiento para la evaluación del tamaño de las discontinuidades. Este procedimiento está descrito en la referencia 6.31 pág. 236 del código AWS D1.1-2010, y trata específicamente sobre la longitud de la discontinuidad, para los 2 tipos de palpadores (palpadores de haz recto, y haz angular). Tomar en cuenta que en la

evaluación de una discontinuidad la base para la aceptación o rechazo es la clasificación de la indicación (d) y su longitud.

Para palpadores de haz recto, el tamaño de las discontinuidades laminares o planas no siempre es fácil de determinar. La evaluación del tamaño aproximado de dichas reflexiones (las cuales son menores que el transductor) podrá ser hecho comenzando afuera de la discontinuidad y moviendo el palpador hacia el área de la discontinuidad hasta que la indicación en la pantalla comienza a formarse. El borde de adelante del palpador, en ese punto, es indicativo del borde de la discontinuidad.

Para palpadores de haz angular, el largo de la indicación deberá ser determinado por la medición de la distancia entre las ubicaciones de la línea de centros del transductor donde la amplitud de la clasificación de indicación cae un 50% (6 dB) debajo del rango para la clasificación de falla aceptable.

Preparación y disposición de reportes. El formulario tipo recomendado por el código AWS D1.1-2010 es el que aparece en el Anexo M págs. 350,351 formulario M-11. Se debe realizar informes preliminares e informes finales, los informes preliminares se deben presentar al inspector mientras que los informes finales se deben entregar al dueño.

Conclusión:

Para obtener datos confiables al hacer una inspección ultrasónica se debe verificar:

- Que el inspector tenga certificación.
- Que el equipo tenga certificación.
- Verificar el procedimiento de calibración de la unidad de UT: verificar con que se calibro el equipo y cuál es el método que se utilizó.
- Verificar el procedimiento de ensayo.

Si no es así los datos no son confiables. Luego de esto ya se pueden ver los resultados, y evaluarlos mediante:

- Procedimiento de evaluación.
- Procedimiento de criterio de aceptación.

Todo lo anterior se incluye dentro del procedimiento de Control de Calidad para ultrasonido. El procedimiento general de control de calidad incluye a todos los ensayos no destructivos necesarios.

5.5 Elaboración del procedimiento-guía para el control de calidad

Un procedimiento de control de calidad es el método más adecuado para explicar el correcto manejo y uso del código describiendo sistemáticamente las etapas y secuencia de la metodología del control de calidad según el código AWS D1.1-2010. El uso de un procedimiento escrito es una garantía de que el control de calidad se realizara de una manera adecuada con una aplicación correcta del código.

En el presente párrafo de este proyecto se desarrollará el procedimiento de control de calidad aplicados al control de calidad en estructuras metálicas de acuerdo al código AWS D1.1-2010, la metodología que se describirá a continuación es iniciativa del autor y tiene un carácter metódico que empieza desde consideraciones iniciales hasta terminar con el objetivo planteado, desarrollando así un procedimiento eminentemente técnico. Este procedimiento es revisado por un profesional para verificar su validez y aplicación.

5.5.1 Esquema general del procedimiento-guía. Un procedimiento de control de calidad contiene los siguientes puntos:

Tema. Se refiere al procedimiento descrito, al tipo de procedimiento a utilizarse para cierta actividad.

Objetivos. Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento.

Alcance. Define el alcance al que puede ser utilizado este procedimiento.

Información general. Se indica la información referente a la secciones del código AWS D1.1-2010, que se toman en consideración.

Documentos de referencia. Se refiere a los documentos que apoyen el control de calidad.

Definiciones. Se refieren a las definiciones o terminologías que se deben especificar para una adecuada comprensión del procedimiento-guía y/o el código aplicable.

Personal. En este punto se debe determinar el nivel de preparación que debe tener el inspector de soldadura.

Responsabilidades. Son las responsabilidades para la adecuada ejecución y cumplimiento de este procedimiento.

Procesos. Se describe en forma detallada, la metodología sistemática de las etapas y secuencias de la aplicación correcta del código AWS D1.1-2010, desde el inicio hasta el final de la elaboración del WPQR, de tal manera que se logren los objetivos planteados en este procedimiento-guía.

5.5.2 *Elaboración del procedimiento-guía para el control de calidad*

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 1 de 7

Objetivo

La finalidad de este documento es establecer los lineamientos a seguir en un proceso de control de calidad en estructuras de acero.

Alcance

Para el control de calidad de la soldadura de producción de estructuras de acero, antes, durante y después de la soldadura de producción.

Información general

- Las secciones sobre soldadura de producción que se especifican en el código AWS D1.1-2010 son las secciones 5 y 6.
- Este procedimiento especifica las responsabilidades del inspector y su calificación, y las responsabilidades del contratista de una manera detallada, además se detalla con precisión los pasos a seguir para realizar el control de calidad de una soldadura según el código AWS D1.1-2010, dejando de lado los criterios de aceptación y procedimientos de inspección para establecerlos en procedimientos individuales separados debido a la extensión que resultaría el tratarlas aquí por los diferentes métodos de ensayo que se especifican en el código.

Documentos de referencia

- ANSI-AWS D1.1/D1.1M:2010. Sección 6.

Definiciones

Ingeniero: Profesional responsable, designado y que actúa en beneficio del propietario, para el cumplimiento de todos los aspectos de la soldadura, que correspondan a su aplicación en total acuerdo con el alcance del código AWD D1.1-2010.

Inspector de soldadura: Es la persona que va a recibir la soldadura y es su responsabilidad hacer la inspección visual de las juntas soldadas. Es responsable de aceptar o rechazar el material o la mano de obra.

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 2 de 7

Personal de END: Es la persona que va a hacer los otros ensayos requeridos.

Planos de taller: Son los planos de fabricación y montaje, deberán distinguirse claramente entre soldaduras de taller y soldaduras de campo.

Planos de detalle: Son los planos donde se muestran claramente la localización, el tipo, tamaño y extensión de todas las soldaduras.

Documentos del contrato: Son los planos de detalle y las especificaciones del contrato.

WPS: Especificación de procedimiento de soldadura.

PQR: Registro de calificación de procedimiento.

WPQR: Registro de calificación del personal de soldadura.

Personal

El personal que interviene en el control de calidad debe tener las bases aceptables de calificación e inspección, y se pueden clasificar como:

- Inspector de soldadura (Inspector Jefe).
 - Inspector certificado de soldadura CWI nivel II o III.
 - Inspector certificado por el Buro Canadiense de soldadura.
 - Individuo con experiencia aprobado por el ingeniero.
- Inspector Asistente.
 - Calificado por entrenamiento y experiencia.
- Personal de END.
 - Inspector calificado por el ASNT nivel II o III.
 - Inspector calificado por el ISO 9712 nivel II o III.

El ingeniero deberá tener autoridad para verificar la calificación de los inspectores.

Responsabilidades

Contratista: El contratista es responsable por la inspección visual (VT) y la corrección necesaria de todas las deficiencias en materiales y mano de obra, mediante un sistema de control de producción con personal idóneo para hacer la inspección de fabricación, el control de calidad (Quality Control). Es obligación del contratista cumplir con:

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 3 de 7

- Sus responsabilidades.
- Requerimientos del inspector.
- Criterios del ingeniero.
- Otros END diferentes a la visual (especificado y no especificado).

Inspector: Es responsabilidad del inspector asegurar que toda la fabricación y montaje por soldaduras sea realizado de acuerdo con los requerimientos de los documentos de contrato. Es obligación del inspector cumplir con:

- Sus responsabilidades.
- Requerimientos del código:
 - Inspección de materiales y equipos.
 - Inspección de WPS's, inspección de la calificación de soldadores, operadores de soldadura, y armadores.
 - Inspección de trabajo y registros.

Inspector asistente: Realizar funciones de inspección específicas asignadas bajo la supervisión del inspector, quien regularmente debe monitorear su trabajo.

Contratista-Inspector: El contratista debe cumplir con todos los pedidos del inspector para corregir deficiencias en materiales y mano de obra de acuerdo con los documentos de contrato.

Contratista-Ingeniero: El contratista debe cumplir con los pedidos subjetivos que a juicio del ingeniero no cumplen con los requerimientos del código AWS D1.1-2010.

Contratista-Dueño: El contratista debe aceptar la solicitud del dueño de hacer otros END aún si no se especifican en los documentos de contrato, y se deben cumplir con los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010.

Procesos

A los inspectores se les debe proporcionar: los planos de detalle completos mostrando el tamaño, longitud, tipo y localización de todas las soldaduras a ser realizadas, así como cada una de las WPS y PQR. El inspector debe ser también provisto de la parte de los documentos de contrato que describe los materiales y requerimientos de calidad para los productos a ser fabricados o montados, o ambos.

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 4 de 7

El inspector debe ser notificado, previo al comienzo de las operaciones sujetas a inspección y verificación, del correspondiente programa o plan de inspección. El plan o programa de inspección puede incluir los siguientes numerales:

1. Definir el tipo de conexión y el tipo de carga, los cuales pueden ser:

- Tipo de conexión: tubular, y no tubular.
- Tipo de carga: estática, o cíclica.

Cualquiera de estas combinaciones según las condiciones de la estructura a realizar el control de calidad. La misma combinación se utilizara en el código AWS D1.1-2010 para cada método de inspección.

2. Hacer la inspección visual del 100% de la soldadura y pasar la inspección, para lo cual se debe realizar lo siguiente:

- Desarrollar el procedimiento de inspección según el código de referencia ASME V artículo 9.
- Desarrollar el procedimiento de criterios de aceptación ya sea general o específica, en función de la combinación del tipo de conexión y tipo de carga, para lo cual nos referimos a la referencia 6.9 pág. 221 del código AWS D1.1-2010.
- General: Para todas las combinaciones de conexión y carga.
- Específica: Para una aplicación en particular.

Los criterios de aceptación para la inspección visual se encuentran en la Tabla 6.1 pág. 239 del código AWS D1.1-2010.

- En el control de calidad mediante la inspección visual utilizar los dos procedimientos conjuntamente.
- El procedimiento de inspección se utiliza en la inspección.
- El procedimiento de criterios de aceptación se utiliza en la evaluación.

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 5 de 7

3. Una vez aprobado la inspección visual y si está especificado en los documentos del contrato o si es petición del dueño hacer la inspección por líquidos penetrantes (PT), si no es así continuar al siguiente numeral. Si cumple las condiciones realizar lo siguiente:

- Desarrollar el procedimiento de inspección según el código de referencia ASTM E 165.
- Desarrollar el procedimiento de criterios de aceptación ya sea general o específica, en función de la combinación del tipo de conexión y tipo de carga, para lo cual nos referimos a la referencia 6.10 pág. 221 del código D1.1-2010.
Los criterios de aceptación para líquidos penetrantes están sobre la base de la inspección visual que se encuentran en la Tabla 6.1 pág. 239 del código AWS D1.1-2010.
- En el control de calidad mediante la inspección por líquidos penetrantes utilizar los dos procedimientos conjuntamente.
 - El procedimiento de inspección se utiliza en la inspección.
 - El procedimiento de criterios de aceptación se utiliza en la evaluación.

4. Una vez aprobado la inspección visual y si está especificado en los documentos del contrato o si es petición del dueño, hacer la inspección por partículas magnéticas (MT), si no es así continuar al siguiente numeral. Si cumple las condiciones realizar lo siguiente:

- Desarrollar el procedimiento de inspección según el código de referencia ASTM E 709.
- Desarrollar el procedimiento de criterios de aceptación ya sea general o específica, en función de la combinación del tipo de conexión y tipo de carga, para lo cual nos referimos a la referencia 6.10 pág. 221 del código AWS D1.1-2010.
Los criterios de aceptación para partículas magnéticas están sobre la base de la inspección visual que se encuentran en la Tabla 6.1 pág. 239 del código AWS D1.1-2010.

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 6 de 7

- En el control de calidad mediante la inspección por partículas magnéticas utilizar los dos procedimientos conjuntamente.
 - El procedimiento de inspección se utiliza en la inspección.
 - El procedimiento de criterios de aceptación se utiliza en la evaluación.
5. Una vez aprobado la inspección visual y si está especificado en los documentos del contrato o si es petición del dueño, hacer la inspección por ultrasonidos (UT), si no es así continuar al siguiente numeral. Si cumple las condiciones realizar lo siguiente:
- Desarrollar el procedimiento de inspección según la Parte F págs. 228-237 del código AWS D1.1-2010. Variaciones en los procedimientos de ensayo, criterios de aceptación y equipos pueden ser usados con la aprobación del ingeniero.
 - Desarrollar el procedimiento de criterios de aceptación ya sea general o específica, en función de la combinación del tipo de conexión y tipo de carga. Los criterios de aceptación para ultrasonido se encuentran en la referencia 6.13 págs. 223, 224 del código AWS D1.1-2010:
 - Para conexiones no tubulares cargadas estáticamente.
 - Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente.
 - Para conexiones tubulares.

y en las Tablas 6.2 y 6.3 págs. 240, 241 del código AWS D1.1-2010.

 - Tabla 6.2 para conexiones no tubulares cargadas estáticamente.
 - Tabla 6.3 para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente.
 - En el control de calidad mediante la inspección por ultrasonido utilizar los dos procedimientos conjuntamente.
 - El procedimiento de inspección se utiliza en la inspección.
 - El procedimiento de criterios de aceptación se utiliza en la evaluación.
 - El ensayo ultrasónico debe contener lo siguiente:
 - Procedimiento de ensayo ultrasónico (escrito y calificado).
 - Requerimientos del técnico de ensayo ultrasónico.
 - Requerimientos de instrumentación y calibración.

	CONTROL DE CALIDAD	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección y Evaluación - Estructuras	Rev. 0
		Página 7 de 7

6. Una vez aprobado la inspección visual y si está especificado en los documentos del contrato o si es petición del dueño, hacer la inspección por radiografía (RT), si no es así finalizar aquí. Si cumple las condiciones realizar lo siguiente:

- Desarrollar el procedimiento de inspección según la Parte E págs. 225-228 del código AWS D1.1-2010.
- Desarrollar el procedimiento de criterios de aceptación ya sea general o específica, en función de la combinación del tipo de conexión y tipo de carga. Los criterios de aceptación para radiografía se encuentran en la referencia 6.12 págs. 222, 223 del código AWS D1.1-2010:
 - Para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y para conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente.
 - Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente.
y en las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3 págs. 247, 261 del código AWS D1.1-2010.
 - Figura 6.1 para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y para conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente.
 - Figura 6.2 para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tensión.
 - Figura 6.3 para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión.
- En el control de calidad mediante la inspección radiográfica utilizar los dos procedimientos conjuntamente.
 - El procedimiento de inspección se utiliza en la inspección.
 - El procedimiento de criterios de aceptación se utiliza en la evaluación.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

5.6 Elaboración de procedimientos-interpretativos de los criterios de aceptación según el código AWS D1.1-2010

Aquí se tratarán con detalle la interpretación de los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010. Un procedimiento de criterios de aceptación es el método más adecuado para describir la aplicabilidad y la interpretación de los criterios de aceptación según el código AWS D1.1-2010. El uso de un procedimiento escrito es una garantía de que los criterios de aceptación van a interpretarse adecuadamente.

En el presente párrafo se desarrollan los procedimientos-interpretativos de los criterios de aceptación aplicados a los procedimientos de inspección desarrollados seguidamente (párrafo 5.7 de este proyecto) y que por lo mismo trabajan en forma conjunta, los criterios de aceptación están en conformidad con el tipo de carga y el tipo conexión que se establecen en el código AWS D1.1-2010, y que serán recogidas tanto por el procedimiento de control de calidad, como por el procedimiento de inspección con las cuales tiene que ser correspondiente. Estos criterios de aceptación son revisados por un profesional para verificar su validez y aplicación.

Debido a que la premisa fundamental del código AWS D1.1-2010 es proveer estipulaciones aplicables a la mayoría de situaciones, se pueden desarrollar procedimientos-interpretativos particulares convenientes para la producción de soldaduras y así ser manejables para una aplicación particular.

5.6.1 Esquema general del procedimiento-interpretativo. Un procedimiento-interpretativo de criterios de aceptación desarrollado para funcionar conjuntamente con un procedimiento de inspección aplicativo a los ensayos no destructivos contiene los siguientes puntos:

Tema. Se refiere a los criterios de aceptación según el o los métodos de END en particular a aplicar, al procedimiento de inspección con END vinculado y remitido.

Objetivos. Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento de criterios de aceptación.

Alcance. Define la aplicabilidad de los criterios de aceptación a la que puede ser utilizado este procedimiento.

Información general. Aquí se indica la información relacionada al desarrollo de los criterios de aceptación en el procedimiento.

Documentos de referencia. Se refiere a la norma y referencias de aceptación-rechazo que se utilizará en este procedimiento para la evaluación de las discontinuidades.

Definiciones. Se refieren a las definiciones propias del procedimiento y a las que vienen del código aplicable. Las propias del procedimiento son definiciones específicamente para la comprensión de éste procedimiento. Las que vienen del código son definiciones específicamente para la comprensión del código AWS D1.1-2010.

Criterios de aceptación. Se debe interpretar en forma detallada y explícita los criterios de aceptación para una determinada aplicación o varias aplicaciones.

5.6.2 Procedimiento-interpretativo para los criterios de aceptación de VT, PT, y MT

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 1 de 8

Objetivo

El presente documento tiene la finalidad de establecer los criterios de aceptación-rechazo para la VT y para los ensayos mediante PT y MT, a realizar en inspecciones de estructuras de aceros y se utiliza en conjunto con el procedimiento de VT, PT y MT correspondiente a cada método.

Alcance

- Inspección visual, VT.
- Líquidos penetrantes, PT.
- Partículas magnéticas, MT.

Información general

- Este procedimiento es general para VT, PT, y MT, además, es general en cuanto a tipo de conexión y tipo de carga.
- La extensión de exanimación y el criterio de aceptación deben ser especificados en los documentos del contrato en la información proporcionada al cliente.

Documentos de referencia de aceptación-rechazo

- Tabla 6.1 pág. 239 del código ANSI/AWS D1.1-D1.1M:2010.
- Referencias 6.9 y 6.10 pág. 221 del código ANSI/AWS D1.1-D1.1M:2010.

Definiciones

Fisura (crack): Una discontinuidad tipo fisura caracterizada por un pico puntiagudo y alta razón en longitud y un ancho que se abre por deslizamiento.

Cráter (crater): Una depresión en la cara de soldadura en la terminación de un cordón de soldadura.

Solape o traslape (overlap): El saliente del metal de soldadura más allá del borde de soldadura o raíz de soldadura.

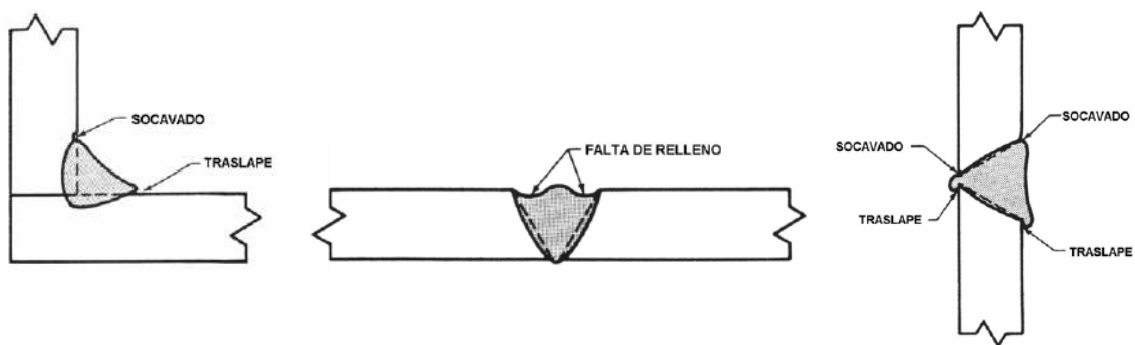
ZAC: Zona afectada por el calor.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 2 de 8

Mordeduras o socavado (undercut): Una ranura fundida del metal base adyacente al borde o raíz de la soldadura y deja sin llenarlo con metal de soldadura.

Porosidad en túnel (piping porosity): Una forma de porosidad que tiene una longitud mayor que su ancho, y corre aproximadamente perpendicular a la cara de la soldadura.

Figura 28. Discontinuidades de soldadura



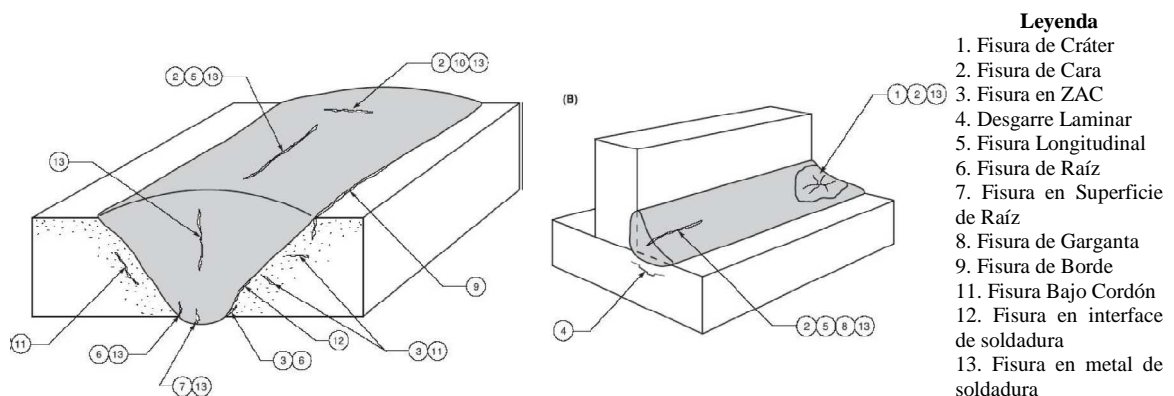
Fuente: Especificación AWS A3.0

Crterios de aceptación

La inspección visual (VT) de las soldaduras de producción es inaceptable cuando la VT muestre indicaciones que excedan los límites especificados a continuación:

1. Prohibición de fisuras (para cualquier tipo de conexión y cualquier tipo de carga). La soldadura no debe tener fisuras.

Figura 29. Tipos de fisuras



Fuente: Especificación AWS A3.0

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 3 de 8

2. Fusión de soldadura/metal base (para cualquier tipo de conexión y cualquier tipo de carga). Debe existir una fusión completa entre los cordones adyacentes de las capas del metal de soldadura, y entre el metal de soldadura y el metal base.

3. Cráter en la sección transversal (para cualquier tipo de conexión y cualquier tipo de carga). Todos los cráteres deben ser llenados, excepto para los extremos de soldadura de filete discontinuos fuera de su largo efectivo.

4. Perfiles de soldadura (para cualquier tipo de conexión y cualquier tipo de carga). Todos los perfiles de las soldaduras deben estar en conformidad con la referencia 5.24 pág. 205 del código AWS D1.1-2010, las soldaduras deberán estar libres de fisuras, solapes/traslape y las discontinuidades de perfil inaceptables que se muestra para:

Soldaduras de filete. Las caras de la soldadura de filete pueden ser suavemente convexas, planas, o suavemente cóncavas como se muestra en la Figura 5.4 (E, F) pág. 216 del código AWS D1.1-2010. Con excepción de la mordedura/socavación, los requerimientos de perfil de la Figura 5.4 del código AWS D1.1-2010 no se aplican a los extremos de soldaduras de filete intermitente/discontinuas fuera de su largo efectivo.

Soldaduras de ranura. El refuerzo de la soldadura de ranura debe cumplir con la Tabla 5.9 y 5.10 pág. 210 del código AWS D1.1-2010, y las soldaduras deben tener una transición gradual al plano de la superficie del metal base. La Figura 5.4 (A, B, C, D, G) págs. 214-217 del código AWS D1.1-2010 muestra perfiles de soldaduras de ranura deseables, aceptables e inaceptables.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 4 de 8

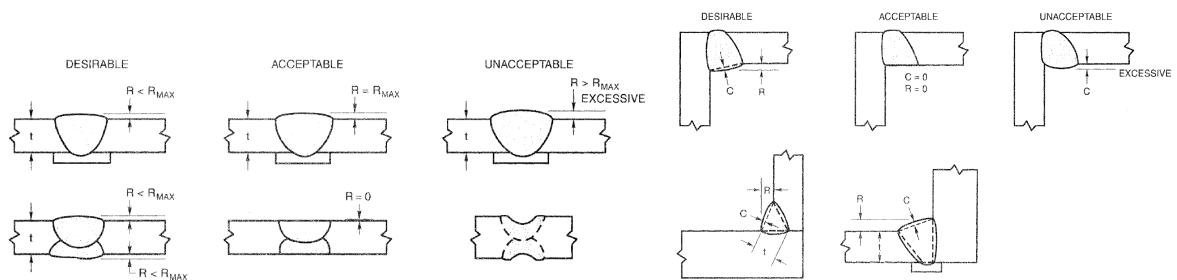
Tabla 20. Perfiles de soldadura

Table 5.9 Weld Profiles ^a (see 5.24)						
Joint Type						
Weld Type	Butt	Corner—Inside	Corner—Outside	T-Joint	Lap	Butt with Shelf Bar
Groove (CJP or PJP)	Figure 5.4A	Figure 5.4B ^b	Figure 5.4C	Figure 5.4D ^b	N/A	Figure 5.4G
	Schedule A	Schedule B	Schedule A	Schedule B	N/A	See Note c
Fillet	N/A	Figure 5.4E	Figure 5.4F	Figure 5.4E	Figure 5.4E	N/A
	N/A	Schedule C	Schedule C or D ^d	Schedule C	Schedule C	N/A

Table 5.10 Weld Profile Schedules (see 5.24)					
Schedule A	(t = thickness of thicker plate joined for CJP; t = throat size for PJP)				
	t	R min.	R max.		
	≤ 1 in [25 mm]	0	1/8 in [3 mm]		
	> 1 in [25 mm], ≤ 2 in [50 mm]	0	3/16 in [5 mm]		
	> 2 in [50 mm]	0	1/4 in [6 mm] ^a		
Schedule B	(t = thickness of thicker plate joined for CJP; t = throat size for PJP; C = allowable convexity or concavity)				
	t	R min.	R max.	C min.	C max.
	< 1 in [25 mm]	0	unlimited	0	1/8 in [3 mm]
	≥ 1 in [25 mm]	0	unlimited	0	3/16 in [5 mm]
Schedule C	(W = width of weld face or individual surface bead; C = allowable convexity)				
	W	C min.	C max. ^b		
	≤ 5/16 in [8 mm]	0	1/16 in [2 mm]		
	> 5/16 in [8 mm], < 1 in [25 mm]	0	1/8 in [3 mm]		
	≥ 1 in [25 mm]	0	3/16 in [5 mm]		
Schedule D	(t = thickness of thinner of the exposed edge dimensions; see Figure 5.4F)				
		C min.	C max.		

Fuente: Tabla 5.9 y 5.10 del código AWS D1.1-2010 pág. 210

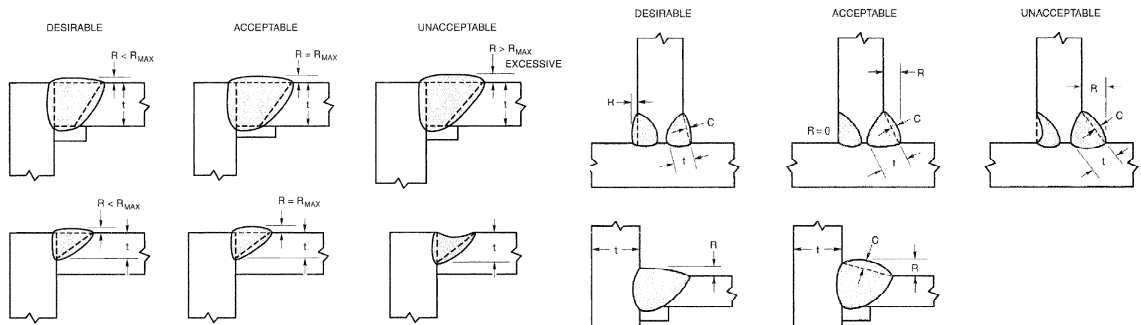
Figura 30. Perfiles de soldadura



(A): Perfiles de soldadura para juntas a tope

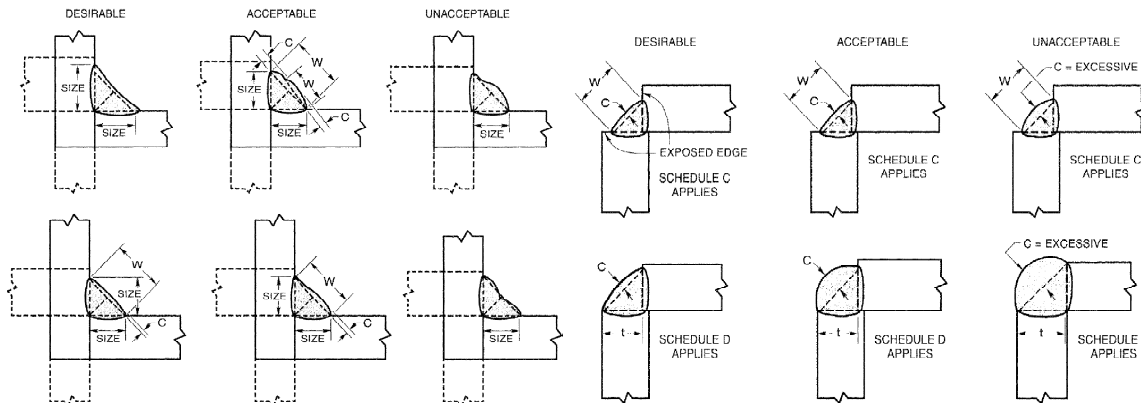
(B): Perfiles de soldadura de ranura dentro de juntas de esquina

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 5 de 8



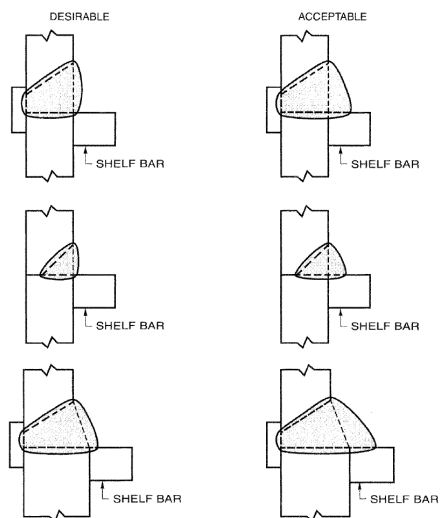
(C): Perfiles de soldadura de ranura fuera de juntas de esquina

(D): Perfiles de soldadura de ranura en juntas en T

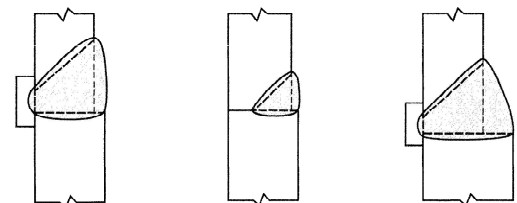


(E): Perfiles de soldadura de filete para dentro de juntas de esquina, juntas Lap, y juntas en T

(F): Perfiles de soldadura de filete para fuera de juntas de esquina



(G): Detalles típicos de barra saliente



(H): Perfiles típicos para soldaduras a tope entre espesores desiguales

Fuente: Figura 5.4 del código AWS D1.1-2010 pág. 214-217

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 6 de 8

Soldaduras al ras de las superficies. Deben terminarse de manera que no se reduzca el espesor del metal base y/o metal de soldadura de menor espesor en más de 1mm. Los refuerzos que permanezcan no deben exceder 1mm de altura y deben empalmar suavemente con la superficie del metal base con áreas de transición libres de mordeduras/socavado. Sin embargo, todos los refuerzos deberán quitarse donde las soldaduras formen parte de la superficie de contacto.

5. Tiempo de inspección (para cualquier tipo de conexión y cualquier tipo de carga). La inspección visual de soldaduras en todos los aceros se puede empezar inmediatamente después que la soldadura terminada se haya enfriado a temperatura ambiente. El criterio de aceptación para aceros de alta resistencia del tipo ASTM A514, A517, A709 grado 100 y 100W debe estar basado en una inspección visual realizada no menos de 48 horas luego de la terminación de la soldadura.

6. Soldaduras subdimensionadas, disminuidas o de menor tamaño (para cualquier tipo de conexión y cualquier tipo de carga). El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede ser menor que el tamaño nominal especificado (L) sin necesitar corrección, para los siguientes valores (U):

Tabla 21. Reducción permisible de la longitud de la soldadura según la

L, Tamaño de soldadura nominal, en mm	U, Reducción permisible de L, en mm
≤ 5	2
6	2.5
≥ 8	3

Fuente: Tabla 6.1 del código AWS D1.1-2010 pág. 239

En todos los casos, la porción disminuida de la soldadura no debe exceder el 10% de la longitud total de la soldadura. En las soldaduras, alma a ala en vigas, no se permite subdimensionamiento en los extremos para un largo igual a 2 veces el ancho del ala.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 7 de 8

7. Mordeduras o socavación:

a) Para conexiones no tubulares cargadas estáticamente:

Para materiales de espesor $< 25\text{mm}$, la mordedura será $\leq 1\text{mm}$,

Excepción: Se permitirá mordedura máxima de 2mm en un largo acumulado de 50mm en cualquier tramo de 300mm.

Para materiales de espesores $\geq 25\text{mm}$, la mordedura deberá ser $\leq 2\text{mm}$ para cualquier largo de soldadura.

b) Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente y conexiones tubulares con todas las cargas:

En miembros principales, la mordedura será $\leq 0.25\text{mm}$ de profundidad cuando la soldadura es transversal a esfuerzos de tracción bajo cualquier condición de carga de diseño.

La mordedura deberá ser $\leq 1\text{mm}$ de profundidad para todos los otros casos.

8. Porosidad:

a) Para conexión no tubular cargada estáticamente:

Las soldaduras de ranura CJP en juntas a tope, transversal a la dirección de los esfuerzos de tracción computados/calculados no deberán tener ninguna porosidad de túnel/porosidad tubular visible.

Para todas las otras soldaduras de ranura y para soldaduras de filete, la suma de la porosidad tubular visible $\geq 1\text{mm}$ en diámetro, será $\leq 10\text{mm}$ en cualquier tramo lineal de 25mm de soldadura y $\leq 20\text{mm}$ en cualquier tramo de 300mm de largo de la soldadura.

b) Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente y conexiones tubulares con todas las cargas:

La frecuencia de porosidad tubular/porosidad de túnel en soldadura de filete será \leq uno cada 100mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo $\leq 2.5\text{mm}$.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual, Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Rev. 0
		Página 8 de 8

Excepción: Las soldaduras de *filete* que unen los rigidizadores a la viga, la suma de los diámetros de la porosidad vermicular deberá ser $\leq 10\text{mm}$ en cualquier tramo lineal de 25 mm de soldadura y $\leq 20\text{mm}$ en cualquier tramo de 300mm de largo de la soldadura.

- c) Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente y conexiones tubulares con todas las cargas:

Las soldaduras de ranura CJP en junta a tope transversal a la dirección de los esfuerzos de tracción computados/calculados no deben tener ninguna porosidad tubular visible.

Para todas las otras soldaduras de ranura, la frecuencia de porosidad tubular será \leq uno cada 100mm de largo de la soldadura, y el diámetro máximo será $\leq 2.5\text{mm}$.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

5.6.3 Procedimiento-interpretativo para los criterios de aceptación de UT

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 1 de 6

Objetivo

El presente documento tiene la finalidad de establecer los criterios de aceptación-rechazo para la inspección ultrasónica, a realizar en inspecciones de estructuras de aceros y se utiliza en conjunto con el procedimiento de inspección ultrasónica.

Alcance

- Inspección ultrasónica, UT.

Información general

- Este procedimiento es general para la inspección ultrasónica, además es general en cuanto a tipo de conexión y tipo de carga.
- La extensión del ensayo y el criterio de aceptabilidad deben estar especificadas en los documentos del contrato o en la información provista a los contratistas.
- Pueden usarse criterios de aceptación para soldaduras de producción distintas de las especificadas en el código AWS D1.1-2010 para una aplicación particular. Deben estar debidamente documentados por el proponente y aprobado por el ingeniero.
- En los criterios de aceptación para aceros de alta resistencia templados y revenidos tipo ASTM A514, A517 y A709 grado 100 y 100w, se requiere que se efectúen los END no antes de 48 horas de terminadas las soldaduras.
- En las soldaduras de ranura a tope con CJP soldadas desde un solo lado sin backing, deben examinarse el largo total de todas las soldaduras de producción por UT.
- Los indicativos de discontinuidades planas (debido a su orientación, y haz de ultrasonido), pueden resultar en rangos de dB que no permitan una evaluación directa y confiable.
- Las soldaduras a las que se hace el UT son evaluadas sobre la base de una discontinuidad que refleja el haz de ultrasonido en forma proporcional a su efecto en la integridad de la soldadura.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 2 de 6

- El criterio de aceptabilidad está basado en la amplitud, y se usa para las conexiones no tubulares, y para las conexiones tubulares en juntas a tope en tubos de diámetro $\geq 600\text{mm}$, sin embargo este criterio no debe usarse en uniones T, Y o K.
- Cuando las soldaduras del alma con el ala están sujetas a cargas de tracción los criterios de aceptación se deberán indicar en los planos de diseño.

Documentos de referencia de aceptación-rechazo

- Tabla 6.2 pág. 240 del código ANSI/AWS D1.1-D1.1M:2010.
- Tabla 6.3 pág. 241 del código ANSI/AWS D1.1-D1.1M:2010.
- Referencia 6.13 págs. 223, 224 del código ANSI/AWS D1.1-D1.1M:2010.

Criterios de aceptación

La UT para la inspección de soldaduras de producción es inaceptable cuando la UT muestre indicaciones que excedan los límites siguientes:

1. Para conexiones no tubulares cargadas estáticamente.
2. Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente.
3. Para conexiones tubulares.

1. Para conexiones no tubulares cargadas estáticamente:

El criterio de aceptación para soldaduras sujetas a UT además de la VT, deben reunir los requerimientos de la Tabla 6.2 del código AWS D1.1-2010.

Para soldaduras con CJP en uniones alma con ala:

- Movimiento del palpador, distinto del patrón de barrido “E”.
- Espesor de la soldadura = espesor real del alma + 25mm.
- Movimiento del palpador, según el patrón de barrido “E”.
- Evaluar con el criterio de la Tabla 6.2 para el espesor real del alma.
- Uniones sujetas a tensión normal a la soldadura deben ser indicados en los planos de diseño.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN		
	Referencia: Código AWS D1.1-2010		Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras		Rev. 0
			Página 3 de 6

Tabla 22. Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas estáticamente

Table 6.2 UT Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections) (see 6.13.1)													
Discontinuity Severity Class	Weld Size ^a in in. [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8-20]		> 3/4 through 1-1/2 [20-38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 through 4 [65-100]			> 4 through 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower		
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1		
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3		
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up		

<p style="text-align: center;">Class A (large discontinuities)</p> <p>Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).</p> <p style="text-align: center;">Class B (medium discontinuities)</p> <p>Any indication in this category having a length greater than 3/4 in. [20 mm] shall be rejected.</p> <p style="text-align: center;">Class C (small discontinuities)</p> <p>Any indication in this category having a length greater than 2 in. [50 mm] shall be rejected.</p> <p style="text-align: center;">Class D (minor discontinuities)</p> <p>Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.</p>	<p style="text-align: center;">Scanning Levels</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Sound path^b in in. [mm]</th> <th style="text-align: right;">Above Zero Reference, dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>through 2-1/2 [65 mm]</td> <td style="text-align: right;">14</td> </tr> <tr> <td>> 2-1/2 through 5 [65-125 mm]</td> <td style="text-align: right;">19</td> </tr> <tr> <td>> 5 through 10 [125-250 mm]</td> <td style="text-align: right;">29</td> </tr> <tr> <td>> 10 through 15 [250-380 mm]</td> <td style="text-align: right;">39</td> </tr> </tbody> </table> <p>^b This column refers to sound path distance; NOT material thickness.</p>	Sound path ^b in in. [mm]	Above Zero Reference, dB	through 2-1/2 [65 mm]	14	> 2-1/2 through 5 [65-125 mm]	19	> 5 through 10 [125-250 mm]	29	> 10 through 15 [250-380 mm]	39
Sound path ^b in in. [mm]	Above Zero Reference, dB										
through 2-1/2 [65 mm]	14										
> 2-1/2 through 5 [65-125 mm]	19										
> 5 through 10 [125-250 mm]	29										
> 10 through 15 [250-380 mm]	39										

Fuente: Tabla 6.2 del código AWS D1.1-2010 pág. 240

2. Para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente:

El criterio de aceptación para soldaduras sujetas a UT además de la VT, deben reunir los siguientes requerimientos.

- Según la Tabla 6.3 del código, para soldaduras sujetas a acciones de tracción bajo cualquier condición de carga.
- Según la Tabla 6.2 del código, para soldaduras sujetas a acciones de compresión.

Para soldaduras con CJP en uniones alma con ala:

- Según la Tabla 6.2 del código.
- Movimiento del palpador, distinto del patrón de barrido “E”.
- Espesor de la soldadura = espesor real del alma + 25mm.

	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN		
	Referencia: Código AWS D1.1-2010		
	Fecha: 12-Nov-12		
	Rev. 0		
Ultrasonidos - Estructuras			Página 4 de 6

- Movimiento del palpador, según el patrón de barrido “E”.
- Según la Tabla 6.3 del código, para soldaduras sujetas a acciones de tracción bajo cualquier condición de carga.
- Según la Tabla 6.2 del código, para soldaduras sujetas a acciones de compresión.

Tabla 23. Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente

Table 6.3
UT Acceptance-Rejection Criteria (Cyclically Loaded Nontubular Connections) (see 6.13.2)

Discontinuity Severity Class	Weld Size ^a in in. [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8–20]		> 3/4 through 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower		
Class B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5		
Class C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7		
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up		

^a Weld size in butt joints shall be the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

Class A (large discontinuities)
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

Class B (medium discontinuities)
Any indication in this category having a length greater than 3/4 in. [20 mm] shall be rejected.

Class C (small discontinuities)
Any indication in this category having a length greater than 2 in. [50 mm] in the middle half or 3/4 in. [20 mm] length in the top or bottom quarter of weld thickness shall be rejected.

Class D (minor discontinuities)
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

Scanning Levels	
Sound path ^b in in. [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2 through 5 [65–125 mm]	25
> 5 through 10 [125–250 mm]	35
> 10 through 15 [250–380 mm]	45

^b This column refers to sound path distance; NOT material thickness.

Fuente: Tabla 6.3 del código AWS D1.1-2010 pág. 241

3. Para conexiones tubulares

El criterio de aceptación será el que se propone en el contrato, clase R o clase X, o ambos pueden ser incorporados. Se utiliza el criterio de amplitud para tubos de diámetro $\geq 600\text{mm}$, pero no en uniones T, Y o K.

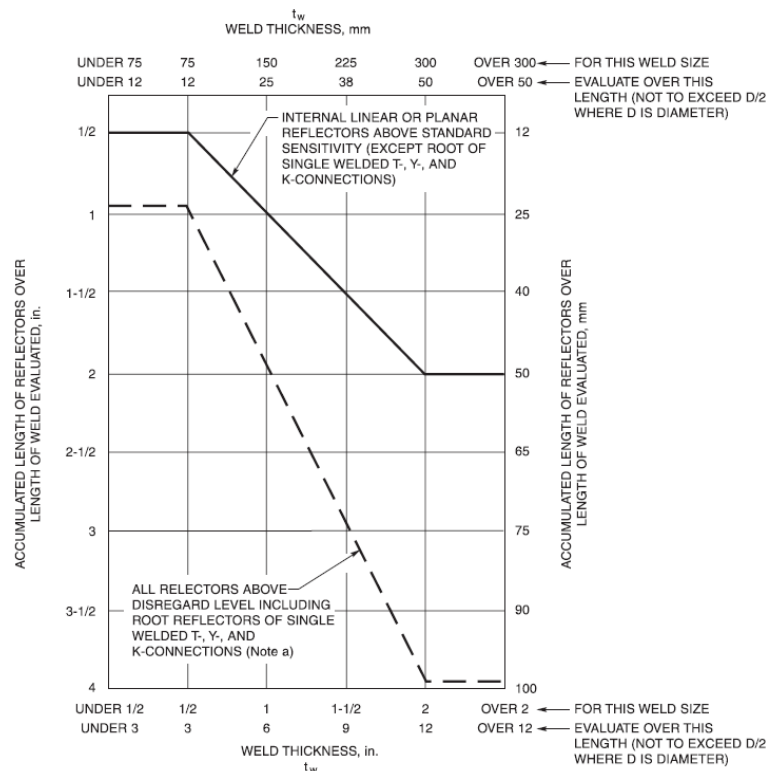
	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 5 de 6

Clase R (aplicable cuando el UT se usa como alternativa a RT)

Todas las indicaciones que tienen la mitad (6dB) o menor amplitud que el nivel de sensibilidad estándar no se las tendrán en cuenta. Las indicaciones que excedan este nivel deben evaluarse de la siguiente manera:

- Indicaciones esféricas aisladas y al azar, con 25mm de separación mínima hasta el nivel de sensibilidad estándar deberán ser aceptadas.
- Las discontinuidades alineadas deben ser evaluadas como lineales.
- Las discontinuidades agrupadas (clusters) que tengan una densidad $> 1/645\text{mm}^2$ con indicaciones por encima de los niveles de aceptación deben ser rechazadas.
- Las discontinuidades lineales o planas cuyo largo exceda los límites de la Figura 6.4 del código debe ser rechazada. Adicionalmente, las discontinuidades de la raíz no deben exceder los límites de la clase X.

Figura 31. Indicaciones de clase R para conexiones tubulares



Fuente: Figura 6.4 del código AWS D1.1-2010 pág. 262, 263

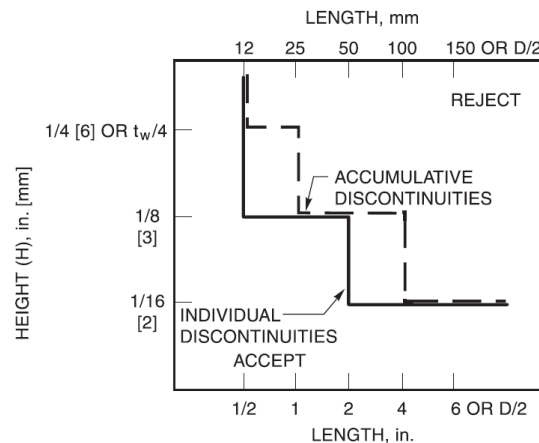
	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 6 de 6

Clase X (basados en la experiencia y en el criterio de aptitud para el servicio aplicable a uniones T, Y, K en estructuras redundantes de construcciones soldadas, con requerimientos de sensibilidad en la entalla)

Todas las indicaciones que tienen la mitad (6 dB) o menor amplitud que el nivel de sensibilidad estándar no se las tendrán en cuenta. Las indicaciones que excedan este nivel deben evaluarse como sigue:

- Las discontinuidades redondeadas se considerarán de acuerdo a como se describen en la Clase R, excepto que resulte aceptable la indicación por estar dentro de los siguientes límite para lineales o planas.
- Las discontinuidades lineales o planas deben ser evaluadas por medio de la técnica de haz de borde y cuando sus dimensiones excedan los límites de la Figura 6.5 del código deben ser rechazadas. El área de la raíz será definida como la que se encuentra dentro de 6mm o $t_w/4$, la que sea mayor, de la raíz de la soldadura teórica, como se muestra en la Figura 3.8 del código.

Figura 32. Indicación clase X para conexiones tubulares



Fuente: Figura 6.5 del código AWS D1.1-2010 pág. 264

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

5.7 Elaboración de procedimientos de inspección para ensayos no destructivos-END

Un procedimiento de ensayo no destructivo es el método más adecuado para describir sistemáticamente las etapas y secuencias de ejecución del ensayo. El uso de un procedimiento escrito es una garantía de que el ensayo va ejecutarse de la misma manera cada vez que éste sea ejecutado.

En el presente párrafo se desarrollan los procedimientos de inspección no destructiva aplicados a la inspección de soldaduras en estructuras metálicas, los métodos más aplicados para cada tipo de junta soldada han sido mencionados en los párrafos anteriores, por tanto, se desarrollan procedimientos empleando los métodos de: inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, y ultrasonidos. Estos procedimientos son utilizados en el trabajo experimental de diferentes juntas soldadas para verificar su validez y aplicación.

Es importante señalar que los procedimientos son desarrollados en base a las normas y criterios anteriormente mencionados y a formatos estandarizados por el código AWS D1.1-2010 y en otros casos por la ISO 9000.

5.7.1 *Esquema general de los procedimientos de inspección.* Un procedimiento de inspección mediante el uso de los ensayos no destructivos contiene:

Tema. Se refiere al método de ensayo no destructivo utilizado, a la técnica particular de inspección a emplearse en cierta pieza, material o cordón de soldadura.

Objetivos. Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento. Los generales se refieren al objetivo del ensayo. Mientras que los particulares se refiere a la técnica a utilizar, dimensiones y tipo de pieza a ensayar, etc.

Alcance. Define lo que el ensayo va a evaluar y sus limitantes, los materiales, las dimensiones, sitios de soldadura donde se realiza este procedimiento, etc.

Definiciones. Se refieren a las definiciones propias del procedimiento y a las que vienen del código aplicable. Las propias del procedimiento son definiciones específicamente para la comprensión de este procedimiento. Las que vienen del código son definiciones específicamente para la comprensión del código AWS D1.1-2010.

Información general. En este punto se indica la información del cordón de soldadura a ensayar, como su proceso de soldadura, configuración, estado actual, dimensiones, identificación, etc. así como la extensión del ensayo a aplicarse, la cual puede ser parcial o total, y la sensibilidad deseada del método. También se debe añadir una definición del ensayo utilizado, así como su terminología.

Documentos de referencia. Se refiere a todos los documentos que apoyen el ensayo e inspección, los cuales pueden ser: normas, códigos, criterios o recomendaciones, utilizados para preparar el procedimiento de inspección.

Responsabilidades. Son las responsabilidades en la ejecución y cumplimiento de este procedimiento.

Personal. En este punto se debe determinar el nivel de preparación del personal a operar y trabajar en el desarrollo del ensayo no destructivo, el mismo que debe tener su calificación y certificación correspondiente. Además se detalla las responsabilidades de cada uno.

Equipos y materiales. Se debe indicar todo el equipo y materiales a emplearse en el ensayo, como: instrumentos, accesorios, etc., Los cuales deben tener sus respectivas especificaciones del fabricante e identificaciones.

Procesos. Se debe mencionar la secuencia del ensayo y la técnica del mismo, en forma detallada, desde el inicio hasta el final del ensayo, de tal manera que se logren los objetivos planteados en este procedimiento.

Normas de aceptación-rechazo. En este punto se mencionan todas las normas y criterios a emplearse para la evaluación de los resultados del ensayo, las cuales servirán para determinar si las indicaciones encontradas deben considerarse como defectos y de

esta manera poder dictaminar su aceptación o rechazo. Para este conjunto de procedimientos el código que dictamina los criterios de aceptación es el AWS D1.1-2010.

Otros. Son estándares adicionales y complementan al procedimiento para garantizar su adecuado uso, aplican cuestiones adicionales como la seguridad, salud y medio ambiente.

Informe. Toda información que se obtenga en el transcurso de la inspección debe ser registrada para ser entregada al cliente o solicitante del servicio. Este informe debe contener entre otros aspectos lo siguiente:

- Fecha y lugar de inspección.
- Identificación y referencias de la pieza.
- Técnica empleada.
- Equipos y materiales empleados.
- Condiciones de trabajo.
- Resultados del ensayo.
- Firmas de responsabilidad.

Además es recomendable contar con evidencia de las indicaciones obtenidas y es indispensable registrar las correspondientes firmas del personal responsable.

5.7.2 Elaboración del procedimiento para inspección visual – VT

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual - Estructuras	Rev. 0 Página 1 de 4

Objetivo

- Este procedimiento describe los métodos, requerimientos y parámetros aplicables para realizar una correcta inspección visual en juntas soldadas de elementos estructurales.
- Este método permite detectar las discontinuidades superficiales en un cordón de soldadura, para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

Alcance

Este procedimiento es aplicable para la inspección visual de estructuras metálicas en juntas soldadas de todo tipo de cordones de soldadura accesibles que apliquen al código AWS D1.1-2010., con ayuda de accesorios como galgas, iluminación artificial, lentes de aumento, etc. Este procedimiento se efectúa en soldadura estructural que aplique al código AWS D1.1-2010 y sus requerimientos se realizan siempre para todas las soldaduras.

Definiciones

Inspección de fabricación/montaje: Es la inspección que realiza el contratista para asegurar los materiales y la mano de obra, y se efectúa antes, durante y después de la soldadura.

Inspección de verificación: Es el aseguramiento de la calidad por parte del dueño de la obra o del fiscalizador, y es prerrogativa del dueño de la obra.

Información general

- El fundamento del método de inspección visual se encuentra explicado en códigos como la AWS, ASME V art. 9 y 28, y manuales de END.
- Las superficies del cordón de soldadura a inspeccionar que están de acuerdo a los requerimientos del código de construcción AWS D1.1-2010., es como se presenta luego de ejecutar un procedimiento calificado de soldadura realizado por un soldador calificado.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual - Estructuras	Rev. 0
		Página 2 de 4

Documentos de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo, respecto a la aplicación del método son los siguientes:

- ASME art. 9 y art. 28.
- AWS D1.1-2010. Sección 6. Parte A y B.

Responsabilidades

- El dueño del proyecto o su representante (el ingeniero) está a cargo de exigir el cumplimiento de las disposiciones establecidas en este procedimiento.
- Es responsabilidad del contratista la inspección y pruebas durante la fabricación y montaje, además, debe hacer la inspección visual del 100% de la soldadura.
- La inspección y pruebas de verificación es prerrogativa (puede o no puede) del dueño de la obra o del fiscalizador.
- El personal de END es responsable de la ejecución, evaluación y el registro de los resultados en forma de *Reporte de Inspección Visual*.

Personal

El personal que evalúa y supervisa los ensayos de las juntas soldadas por VT, debe ser calificado nivel II o III en inspección visual, según la norma INEN ISO 9712-2012 o según la ASNT TC-1A. Mientras que la persona que realiza el ensayo y registra los datos puede ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

Equipos y materiales

- Flexómetro.
- Galgas de medición de soldadura.
- Luz artificial (reflector).
- Cámara fotográfica.
- Elementos de protección como zapatos industriales, overol.
- Criterios de aceptación-rechazo del código aplicado.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual - Estructuras	Rev. 0
		Página 3 de 4

- Guía o plano de referencia de identificación y nomenclatura de ubicación de la soldadura.

Procesos

Previo a la inspección del proceso de soldadura, se marca en los isométricos todas las soldaduras de taller y de campo. Los números de las soldaduras son secuenciales y si es tubería en dirección del flujo.

- El primer paso es limpiar la superficie a inspeccionar, debido a que la superficie de los cordones de soldadura de la junta tienden a ser rugosas. Esta limpieza se realiza con cepillo de alambre, incluso para longitudes mayores se utiliza cepillo circular de alambre suave accionado por esmeriladoras. El objetivo de esta limpieza es mejorar la visibilidad de defectos presentes en la soldadura.
- A continuación se verifica características geométricas de la soldadura respecto al diseño de la junta como: ancho del cordón, presentación, perfil de la soldadura que debe ser plano o ligeramente convexo y nunca cóncavo, dentro de las posibilidades comprobar la correcta penetración y, también es usual comprobar la existencia de los cordones de soldadura, que en general, los operarios suelen olvidar.
- Se marcan las zonas problemáticas, midiendo su longitud e indicando, según el criterio del inspector de soldadura las zonas a reforzar y/o reparar con la simbología propuesta en el informe – registro.
- Finalmente se registran estos datos en el informe de inspección visual.

Normas y referencias de aceptación-rechazo

Para los criterios de aceptación-rechazo, en la evaluación de las discontinuidades obtenidas en la inspección visual dependerá de:

- AWS D1.1-2010, Sección 6, Tabla 6.1.
- Procedimiento de criterios de aceptación.

Las normas aplicables al método de VT, respecto a la aplicación del método son:

- ASME V art. 9.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Inspección Visual - Estructuras	Rev. 0
		Página 4 de 4

Otros

Salud, seguridad y medio ambiente

- El Supervisor de seguridad industrial es responsable de exigir el uso del equipo de protección personal a todos los involucrados en el proceso de soldadura. El equipo de protección personal, como mínimo, consta de casco, gafas, ropa de trabajo, máscaras para soldar y esmerilar, guantes y protección de oídos.
- Todos los sobrantes de electrodos y consumibles del proceso de soldadura se depositan en los recipientes destinados para cada tipo de material.

Informe / Registro

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, cliente que lo solicito, lugar, fecha, etc. Identificación de la junta soldada, esquema de la soldadura, materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales del ensayo. Además, se recomienda añadir cualquier otra información o evidencia que se considere importante, tal como fotografías o esquemas de la junta a inspeccionar. Este informe debe ser firmado por el supervisor de ensayo.

Se adjuntara a este documento los criterios de aceptación-rechazo del código, respecto a este ensayo.

A continuación se encuentra el informe que se va a utilizar en la inspección visual, seguida de una explicación para su llenado.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		Jefe Inspección END
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

5.7.2.1 Instructivo para el llenado del formato de inspección visual

INFORME DE INSPECCIÓN VISUAL		
Datos Generales		1 de 1
Laboratorio: [1]	Cliente: [2]	
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe No: [5]
Identificación de la Junta Soldada		
Descripción: [6]		Identificación: [7]
Material: [8]	Estado de cordón de soldadura: [9]	
Esquema de la Junta Soldada		
[10]		
Marcas: Poro, M mordedura, F fisura, CR cráter, CP colonia poros, EyR esmerilar y rellenar		
Resultados		
Tipo de discontinuidad: [11]	Observaciones: [11]	Evaluación: [11]
Inspector		
Nivel: [12]	Firma: [12]	
Supervisor:		
Nivel: [13]	Firma: [13]	
Fecha: Firma:	EMPRESA [14]	CLIENTE Fecha: Firma: [15]

Instructivo para el llenado del informe de inspección visual

1. Nombre del laboratorio que realiza la inspección, el cual debe ser una institución o empresa.
2. Nombre del cliente que solicita la inspección.
3. Fecha en la que se inicia la inspección.
4. Lugar donde se realiza la inspección.
5. Número de informe por inspección visual que ha realizado el laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
7. Identificación de la junta soldada a inspeccionar.
8. Material de la junta soldada.
9. Estado superficial del cordón de soldadura.
10. Esquema de la junta soldada, el cual debe ser un dibujo o una fotografía.
11. Los resultados obtenidos, con sus respectivas observaciones y evaluaciones.
12. Nombre de la persona que realice el ensayo, su calificación y firma.
13. Nombre del supervisor del ensayo su calificación y firma.
14. Fecha en que se finalice el ensayo y la firma del laboratorio respectivo.
15. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección mediante inspección visual, así como su firma de conformidad.

5.7.3 Elaboración del procedimiento de inspección por tintas penetrantes – PT

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Líquidos Penetrantes - Estructuras	Rev. 0
		Página 1 de 6

Objetivo

Este procedimiento tiene la finalidad de establecer los métodos, requerimientos y parámetros aplicables para realizar una correcta inspección mediante líquidos penetrantes de juntas soldadas de elementos estructurales.

Alcance

- Este procedimiento es aplicable para la inspección mediante líquidos penetrantes de juntas soldadas de elementos estructurales. Este método permite detectar las discontinuidades que se encuentren abiertas a la superficie en cordones de soldadura de estructura metálica que apliquen al código AWS D1.1-2010, en fases de construcción de planta y de montaje, tales como fisuras, poros, etc.
- El estado de la superficie del cordón de soldadura debe ser tal como se presenta luego de la aplicación del procedimiento pre-calificado de soldadura, libre de recubrimientos y escoria.

Definiciones

Discontinuidad: Una interrupción en un material o soldadura, tal como una falta de homogeneidad en la mecánica, metalurgia o características físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.

Defecto: Es una discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o acumulación de efectos un producto sea incapaz de encontrar un mínimo de aceptabilidad en estándares o códigos aplicables.

Fisura: Una fractura de tipo discontinuidad caracterizada por un extremo agudo.

Porosidad en túnel (piping porosity): Una forma de porosidad que tiene una longitud mayor que su ancho, y corre aproximadamente perpendicular a la cara de la soldadura.

ZAT: Zona afectada térmicamente.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Líquidos Penetrantes - Estructuras	Rev. 0
		Página 2 de 6

Información general

- El fundamento del método de líquidos penetrantes se encuentra en la información teórica de inspección por líquidos penetrantes como ASME V art. 6. Manuales de END, y códigos de referencia como ASTM E165.
- Las superficies del cordón de soldadura a inspeccionar estarán de acuerdo a los requerimientos del código de construcción AWS D1.1-2010.
- En este procedimiento se emplea la técnica II-C. Esta técnica utiliza los penetrantes coloreados lavables con solvente.
- Previo a la inspección por tintas penetrantes, las soldaduras sujetas al END deben haber sido encontradas aceptables por la inspección visual.
- Cuando se requiera END diferente a la VT, debe estar así establecido en la información contractual. Esa información debe enumerar las categorías de soldadura a ser examinadas, el alcance/extensión de los ensayos de cada categoría, y el método o los métodos de ensayo.

Documentos de referencia

Las normas y códigos de referencia aplicables al método a utilizarse en el presente ensayo, respecto a la aplicación del método son los siguientes:

- ASTM E165-02 (o ASME V artículo 30).
- AWS D1.1-2010. Sección 6. Parte D.
- ASME V art. 6.
- ISO 9712-2012.

Responsabilidades

- Si se especifica y/o no en el contrato otras END aparte de la inspección visual, es responsabilidad del contratista que las soldaduras cumplan con los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010. Es responsabilidad del contratista la inspección y pruebas durante la fabricación y montaje.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Líquidos Penetrantes - Estructuras	Rev. 0
		Página 3 de 6

- La inspección y pruebas de verificación es prerrogativa (puede o no puede) del dueño de la obra o del fiscalizador.
- Las disposiciones establecidas en este procedimiento deberán ser cumplidas bajo la responsabilidad d un ingeniero con calificación nivel II en esta técnica de END.
- El supervisor de soldadura y/o el inspector certificado para el ensayo de líquidos penetrantes debe verificar la aplicación de este procedimiento en todas sus etapas y es su responsabilidad evaluar y registrar los resultados en los respectivos reportes.

Personal

- El personal que evalúa las juntas soldadas y supervisa el ensayo por líquidos penetrantes debe ser calificado nivel II o III, según la norma INEN ISO 9712-2012 o según el ASNT TC-1A.
- Mientras que la persona que realice el ensayo y registre los datos puede ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

Equipos y materiales

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección.

- Líquidos: Al aplicarse la técnica II C, se emplearan: solvente, líquido penetrante coloreado, revelador y limpiador, todos de la misma marca y de compatibilidad asegurada por el fabricante. Los componentes comúnmente utilizados son:

Tabla 24. Líquidos penetrantes coloreados de compatibilidad asegurada

Fabricante	Penetrante	Limpiador	Revelador
MAGNAFLUX	SKL-SP1	B3-SKC-S	SKD-S2

Fuente: Autor

- Accesorios: Regla metálica, comparadores, luz blanca con intensidad mínima de 1000 lux. Además, se debe utilizar equipo de limpieza previa del cordón de soldadura como amoladoras portátiles y cepillos circulares de alambre suave; para las limpiezas incluidas en el ensayo se utilizara una tela cruda de algodón 100 %.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Líquidos Penetrantes - Estructuras	Rev. 0
		Página 4 de 6

Adicionalmente equipo y vestimenta industrial para realizar esta actividad tal como: guantes, zapatos con punta de acero, overo de tela resistente. También se utiliza una cámara fotográfica digital con una resolución de por lo menos 6 Megapíxeles, para registrar los resultados del ensayo.

- Documentos:
 - Los criterios de aceptación-rechazo del código AWS D1.1-2010, y
 - Las guías o planos que contengan la información de la identificación de la soldadura y su nomenclatura de ubicación.

Procesos

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes es como se menciona a continuación:

- Limpieza de la superficie a inspeccionar: Esta limpieza se realiza con cepillo de alambre, incluso con un cepillo circular de alambre suave accionado por una amoladora portátil para que las partes del cordón de soldadura incluida la ZAT a ser examinadas estén secos y queden libre de pintura, escoria, óxido, concreto, etc.
- Limpieza con solvente: Esto se realiza con el paño/lienzo de tela empapado de limpiador (cleaner), retirando así residuos que no han sido retirados y que puedan interferir con el proceso del penetrante.
- Aplicación del penetrante: Se aplica el penetrante por el modo spray de aerosol sobre la superficie del cordón de soldadura y la ZAT cubriéndolos completamente de penetrante. El tiempo de permanencia del penetrante es de 5 minutos como mínimo, y no se debe exceder el tiempo máximo recomendado por el fabricante. La temperatura del penetrante como de la superficie deben estar entre 10 a 38 °C.
- Limpieza del penetrante: Esto se realiza con el paño de tela/lienzo limpio, seco y humedecido moderadamente con el solvente limpiador para remover el penetrante de la superficie de la soldadura, sin remover el penetrante del interior de las posibles discontinuidades tales como fisuras, poros o mordeduras. Por ningún motivo, el limpiador se aplica directamente sobre la superficie. El tiempo de evaporación debe ser de 5 minutos y máximo de 10 minutos.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Líquidos Penetrantes - Estructuras	Rev. 0
		Página 5 de 6

- **Revelado:** Se aplica el revelador por el método de atomización sobre el cordón de soldadura a una distancia de 25 a 30 cm con una capa fina regulada de acuerdo a la experiencia del inspector. El tiempo de revelado empieza inmediatamente después que el revelador se seca y actúa por 10 minutos como mínimo.
- **Exanimación:** Se deja actuar el revelador y cuando se seque inmediatamente después, con un mínimo de intensidad de luz natural o artificial de 1000 lux, por un tiempo mínimo de 10 minutos y 60 minutos máximo, se realiza la inspección visual para obtener una indicación adecuada y observar el penetrante que ha ingresado en el interior de la discontinuidad.
- **Marcado de las discontinuidades:** Se marca y se registra las discontinuidades obtenidas con la simbología sugerida en el informe-registro y la nomenclatura de soldadura definida.
- **Limpieza posterior:** Cualquier material residual de prueba debe ser eliminado de la pieza, para lo cual se utiliza un limpiador recomendado por el inspector o por el fabricante del penetrante, aplicando con un lienzo limpio.

Normas y referencias de aceptación-rechazo

Los criterios de aceptación-rechazo en la evaluación de las discontinuidades obtenidas con líquidos penetrantes dependerá de:

- Procedimiento de criterios de aceptación para líquidos penetrantes.
- Tabla 6.1 pág. 239 del código ANSI/AWS D1.1-2010.
- Referencia 6.10 pág. 211 del código ANSI/AWS D 1.1-2010.

Otros

Salud, seguridad y medio ambiente

- El equipo de protección personal, como mínimo, consta de casco, gafas, ropa de trabajo, guantes.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Líquidos Penetrantes - Estructuras	Rev. 0
		Página 6 de 6

- Durante el ensayo, en especial al aplicar y remover el penetrante hay que evitar exponerse a los siguientes peligros:
 - La irritación de ojos o la inhalación de vapores.
 - Reacciones cutáneas o quemaduras.

Informe / Registros

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, cliente que lo solicitó, lugar, fecha, etc. Identificación de junta soldada, esquema de la soldadura, materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales de ensayo. Además, se recomienda añadir cualquier otra información o evidencia que se considere importante, tal como fotografías o esquemas de la junta a inspeccionar. Este informe debe ser firmado por el supervisor de ensayo.

Se adjuntará a este documento los criterios de aceptación-rechazo del código, respecto a este ensayo.

A continuación se encuentra el informe que se va a utilizar en la inspección por líquidos penetrantes, seguida de una explicación para su llenado.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		Jefe Inspección END
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

5.7.3.1 *Instructivo para el llenado del formato de inspección por tintas penetrantes*

INFORME DE INSPECCIÓN LÍQUIDOS PENETRANTES		ND:
Datos Generales		1 de 2
Laboratorio: [1]	Cliente: [2]	
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe No: [5]
Identificación de la Junta Soldada		
Descripción: [6]	Identificación: [7]	
Material: [8]	Estado de cordón de soldadura: [9]	
Esquema de la Junta Soldada		
[10]		

		INFORME DE INSPECCIÓN LÍQUIDOS PENETRANTES				ND:
		Equipos y Materiales				2 de 2
Líquidos						
Limpiador/Removedor: [11]			Emulsificador: [11]			
Penetrante: [11]			Revelador: [11]			
Accesorios: [11] Brochas, paños, cepillos de alambre, esmeriladoras, cámara fotográfica...						
Registro						
	Indicación	1	2	3	4	
	Posición					
	Referencia					
	Longitud					
	Tipo					
	Aceptación/Rechazo					
	Reparación					
Marcas: Poro , M mordedura, F fisura, CR cráter, CP colonia poros, EyR esmerilar y rellenar						
Resultados						
Tipo de discontinuidad: [13]		Observaciones: [13]			Evaluación: [13]	
Operador						
Nivel: [14]			Firma: [14]			
Supervisor:						
Nivel: [15]			Firma: [15]			
EMPRESA			CLIENTE			
Fecha: [16]		Fecha: [17]				
Firma:		Firma:				

Instructivo para el llenado del formato de inspección por PT

1. Nombre del laboratorio que realiza la inspección, el cual debe ser una institución o empresa.
2. Nombre del cliente que solicita la inspección.
3. Fecha en la que se inicia la inspección.
4. Lugar donde se realiza la inspección.
5. Número de informe por tintas penetrantes que ha realizado el laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
7. Identificación de la junta soldada a inspeccionar.
8. Material de la junta soldada.
9. Estado superficial del cordón soldadura.
10. Esquema de la junta soldada, el cual debe ser un dibujo o una fotografía.
11. Datos de los líquidos y accesorios a utilizarse en el ensayo.
12. Condiciones de trabajo que son la técnica y tiempos.
13. Los resultados obtenidos, con sus respectivas observaciones y evaluaciones.
14. Nombre de la persona que realice el ensayo, su calificación y firma.
15. Nombre del supervisor del ensayo, su calificación y firma.
16. Fecha en que se finaliza el ensayo y la firma del laboratorio respectivo.
17. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección mediante líquidos penetrantes, así como su firma de conformidad.

5.7.4 Elaboración del procedimiento de inspección por partículas magnéticas – MT

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 1 de 7

Objetivo

Este procedimiento tiene por finalidad establecer los métodos, requerimientos y parámetros aplicables para realizar una correcta inspección mediante partículas magnéticas de juntas soldadas de elementos estructurales.

Alcance

Este procedimiento es aplicable para la inspección mediante partículas magnéticas secas visibles, con yugo magnético de corriente alterna. Este método permite detectar discontinuidades tanto abiertas a la superficie como también subsuperficiales en cordones de soldadura en estructuras metálicas que apliquen al código AWS D1.1-2010.

Definiciones

Discontinuidad: Una interrupción de la estructura típica de un material o soldadura, tal como la falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.

Defecto: Es una discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o acumulación de efectos hacen que un producto sea incapaz de cumplir un mínimo de aceptabilidad en normas o códigos aplicables. El término designa rechazo.

ZAT: Zona afectada térmicamente.

Fisura (crack): Una discontinuidad caracterizada por un extremo puntiagudo.

Cráter (crater): Una depresión en la cara de soldadura en la terminación de un cordón de soldadura.

Solape o traslape (overlap): El saliente del metal de soldadura más allá del borde o raíz de la soldadura.

Mordeduras o socavado (undercut): Una ranura producida en el metal base adyacente al borde o raíz de la soldadura que se deja sin llenarlo con metal de soldadura.

Porosidad en túnel (piping porosity): Una forma de porosidad que tiene una longitud mayor que su ancho, y corre aproximadamente perpendicular a la cara de la soldadura.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 2 de 7

Información general

- El fundamento del método de partículas magnéticas se encuentra en la información teórica de inspección por partículas magnéticas como ASME V art. 7 y art. 25, manuales de END, y códigos de referencia como ASTM E709-01.
- Previo a la inspección por partículas magnéticas, las soldaduras sujetas al END deben haber sido encontradas aceptables por la inspección visual.
- Cuando se requiera END diferente a la VT, debe estar así establecido en la información contractual. Esa información debe enumerar las categorías de soldadura a ser examinadas, el alcance/extensión de los ensayos de cada categoría, y el método o los métodos de ensayo.

Documentos de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo, respecto a la aplicación del método son los siguientes:

- ASTM E709-01 (o ASME V artículo 25).
- AWS D1.1-2010. Sección 6. Parte D.
- ISO 9712-2012.

Responsabilidades

- Es responsabilidad del contratista la inspección y pruebas durante la fabricación y montaje. Si se especifica en el contrato otros END aparte de la inspección visual, es responsabilidad del contratista que las soldaduras cumplan con los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010.
- La inspección y pruebas de verificación es prerrogativa (puede o no puede) del dueño de la obra o del fiscalizador.
- El supervisor de soldadura y/o el inspector certificado para el ensayo de partículas magnéticas debe verificar la aplicación de este procedimiento en todas sus etapas y es su responsabilidad evaluar y registrar los resultados en los respectivos reportes.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 3 de 7

Personal

El personal que evalúa las juntas soldadas a ensayar por partículas magnéticas, así como supervisa el ensayo, debe ser calificado y certificado como nivel II o III, según la norma INEN ISO 9712-2012 o según la ASNT TC-1A. Mientras que, la persona que realiza el ensayo y registra los datos puede ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

Equipos y materiales

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección.

- Equipo de magnetización
 - Yugo electromagnético de corriente alterna (con certificado de calibración).
- Partículas magnéticas
 - Partículas secas visibles de color gris, negro, rojo o amarillo (cualquiera que dé el máximo contraste con la superficie a ser examinada).
- Medios de aplicación
 - Espolvoreador, rociador, o soplador de polvo.
- Elementos de limpieza
 - Paños, solventes, cepillo de alambre suave.
- Elementos de protección
 - Mandil u overol, casco, guantes, gafas, zapatos industriales.
- Accesorios
 - Medidor de dirección de campo magnético (galga tipo pie).
 - Medidor de campo magnético residual.
 - Medidor de intensidad de luz (luxómetro).
 - Cámara fotográfica digital de por lo menos 6 Megapíxeles de resolución.
- Documentación
 - Criterios de aceptación-rechazo.
 - Guía/planos de referencia de nomenclatura y ubicación de soldadura.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 4 de 7

Procesos

Calibración de las características y sensibilidad del sistema

- Fuerza de levantamiento del yugo electromagnético. El yugo de corriente alterna debe levantar una placa de acero de 10 lb (4.5 kg) de peso, con un espacio entre las patas del yugo de 100 mm, que es la posición más abierta en la que va a ser utilizado el yugo.
- Determinar la dirección de magnetización del yugo. Colocar la galga tipo pie en contacto con la superficie de inspección en el medio de las dos patas del yugo, y aplicar el campo. Aplicar las partículas magnéticas sobre la galga tipo pie durante 1 - 3 segundos. Determinar la dirección del campo, revisando las indicaciones que aparecen de las discontinuidades artificiales que tiene la galga tipo pie.
- Señalar los puntos de magnetización. Dado que las soldaduras son de gran longitud se las debe inspeccionar por partes, para lo cual:
 - Determinar el área de magnetización real del yugo. Para lo cual, se debe ubicar un papel sobre la superficie de ensayo, aplicar las partículas sobre el papel, con las patas del yugo abiertas 100mm sobre el papel, aplicar el campo durante 1 - 3 segundos, medir el área que se forma.
 - Con la distancia anterior, señalar los lugares donde se va a realizar la magnetización, de tal manera que cubra toda la soldadura.
- Determinar que la superficie de inspección tenga una intensidad de luz visible de 1000 lux, o mínimo 500 lux si así lo permite el documento de contrato.

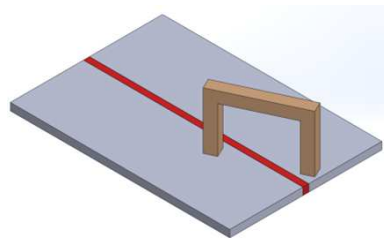
Procedimiento de ensayo

1. Limpiar la superficie a ensayar. Esta limpieza se puede hacer con escobillas o con cepillo de alambre suave, para grandes longitudes se debe utilizar cepillo circular de alambre suave accionado por esmeriladora. Esta superficie debe quedar limpia, seca y libre de polvo, grasa, pintura, o escoria.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 5 de 7

2. Realizar la magnetización directa del cordón de soldadura. Colocar el yugo magnético en la primera posición (diagonal) de magnetización y aplicar el campo durante 1 - 3 segundos. Es importante que las patas del yugo estén abiertas entre 75 y 100 mm, y entren en contacto con la superficie metálica.

Figura 33. Primera posición de magnetización



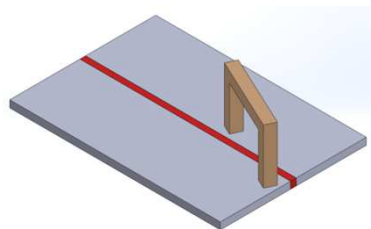
Fuente: Autor

3. Aplicar las partículas magnéticas de manera uniforme con el espolvoreador sobre el área a inspeccionar simultáneamente mientras la parte es magnetizada.
 - Dependiendo del caso se deja transcurrir suficiente tiempo de acción de las partículas, para la formación de las indicaciones.
4. Remover el exceso de partículas cuidando no remover las partículas atraídas por el campo.
5. Observar cuidadosamente la formación de indicaciones (mientras las partículas están siendo aplicadas y también mientras el exceso está siendo removido).
6. Examinar e interpretar las indicaciones entre los sucesivos ciclos de magnetización. Las indicaciones pueden ser relevantes, no relevantes, o falsas.
 - Indicaciones relevantes. Se las debe evaluar considerando los criterios de aceptación de la Tabla 6.1 del código AWS D1.1-2010.
 - Indicaciones no relevantes. Producidos por cambios de sección. No requieren evaluación.
 - Indicaciones falsas. Son partículas retenidas mecánicamente.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 6 de 7

7. Registrar las indicaciones de la siguiente manera:
 - Croquis, bosquejos y/o fotografías de las indicaciones.
 - Registrar por escrito la localización, longitud, orientación, tipo, espaciamiento y número de indicaciones.
 - Registrar el método de partículas magnéticas secas, técnica de magnetización continua, magnetización con corriente alterna, dirección del campo magnético, fuerza de levantamiento del yugo.
8. Remover la totalidad de las partículas utilizadas, para obtener una superficie limpia y además reutilizar estas partículas en el siguiente ensayo.
9. Desmagnetizar la junta soldada con el mismo yugo. Esto se consigue colocando los polos del yugo sobre la superficie metálica en la misma dirección del campo residual, moviéndolos alrededor del área, y lentamente retirando el yugo mientras aun esta energizada. Finalmente, comprobar el desmagnetizado con el medidor de intensidad del campo magnético residual, considerando que después de la desmagnetización el campo residual no debe exceder 3G (240 Am-1).
10. Repetir los pasos 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 8 en todos los lugares marcados anteriormente, usando una nueva magnetización del cordón de soldadura, aproximadamente en un ángulo recto a la dirección de la magnetización anterior.

Figura 34. Segunda posición de magnetización



Fuente: Autor

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Partículas Magnéticas - Estructuras	Rev. 0
		Página 7 de 7

Normas y referencias de aceptación-rechazo

Para los criterios de aceptación y rechazo en la evaluación de las discontinuidades obtenidas con partículas magnéticas dependerá de:

- Referencia 6.10 pág. 211 del código ANSI/AWS D 1.1-2010.
- Criterios de aceptación para VT, PT, MT pág. 164-170 de este proyecto.
- Tabla 6.1 pág. 239 del código ANSI/AWS D1.1-2010.

Otros

Salud, seguridad y medio ambiente

- Durante el ensayo, en especial al aplicar y remover las partículas hay que evitar exponerse a los siguientes peligros:
 - La inhalación de partículas.
 - La exposición de partículas a los ojos.

Informe / Registros

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, cliente que lo solicitó, lugar, fecha, etc. Identificación de la junta soldada, esquema de la soldadura, materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales de ensayo. Este informe debe ser firmado por el supervisor de ensayo.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		Jefe Inspección END
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

5.7.4.1 *Instructivo para el llenado del formato de inspección por partículas magnéticas*

	INFORME DE INSPECCIÓN PARTÍCULAS MAGNÉTICAS		ND:
Datos Generales			1 de 2
Laboratorio: [1]		Cliente: [2]	
Fecha: [3]	Lugar: [4]	Informe No: [5]	
Identificación de la Junta Soldada			
Descripción: [6]		Identificación: [7]	
Material: [8]	Estado de cordón de soldadura: [9]		
Esquema de la Junta Soldada			
[10]			

INFORME DE INSPECCIÓN PARTÍCULAS MAGNÉTICAS		ND:		
Equipos y Materiales		2 de 2		
Equipo de magnetización				
Tipo: <div style="text-align: center;">[11]</div>				
Marca: <div style="text-align: center;">[11]</div>	Amperaje nominal: <div style="text-align: center;">[11]</div>			
Tipo de partículas:				
Registro				
Indicación	1	2	3	4
Posición				
Referencia				
Longitud				
Tipo				
Aceptación/Rechazo				
Reparación				
Marcas: Poro, M mordedura, F fisura, CR cráter, CP colonia poros, EyR esmerilar y rellenar				
Resultados				
Tipo de discontinuidad: <div style="text-align: center;">[13]</div>	Observaciones: <div style="text-align: center;">[13]</div>		Evaluación: <div style="text-align: center;">[13]</div>	
Operador				
Nivel: <div style="text-align: center;">[14]</div>	Firma: <div style="text-align: center;">[14]</div>			
Supervisor:				
Nivel: <div style="text-align: center;">[15]</div>	Firma: <div style="text-align: center;">[15]</div>			
EMPRESA	CLIENTE			
Fecha: <div style="text-align: center;">[16]</div>	Fecha: <div style="text-align: center;">[17]</div>			
Firma:	Firma:			

Instructivo para el llenado del formato de inspección por MT

1. Nombre del laboratorio que realiza la inspección, el cual debe ser una institución o empresa.
2. Nombre del cliente que solicita la inspección.
3. Fecha en la que se inicia la inspección.
4. Lugar donde se realiza la inspección.
5. Número de informe por partículas magnéticas que ha realizado el laboratorio, empresa o institución.
6. Descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
7. Identificación de la junta soldada a inspeccionar.
8. Material de la junta soldada.
9. Estado superficial del cordón de soldadura.
10. Esquema de la junta soldada, el cual debe ser un dibujo o una fotografía.
11. Datos de los equipos, materiales y accesorios a utilizarse en el ensayo.
12. Condiciones de trabajo que son la técnica y tiempos.
13. Los resultados obtenidos, con sus respectivas observaciones y evaluaciones.
14. Nombre de la persona que realice el ensayo, su calificación y firma.
15. Nombre del supervisor del ensayo, su calificación y firma.
16. Fecha en que se finaliza el ensayo y la firma del laboratorio respectivo.
17. Fecha en que recibe el cliente el resultado de la inspección mediante partículas magnéticas, así como su firma de conformidad.

5.7.5 *Elaboración del procedimiento de inspección por ultrasonido – UT*

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 1 de 9

Objetivo

Este procedimiento tiene por finalidad establecer las condiciones de trabajo necesarias y los pasos a seguir para la inspección ultrasónica de juntas soldadas y la determinación de: presencia, dimensión y posición de discontinuidades en el cordón de soldadura.

Alcance

Este ensayo se ejecutará en la inspección de soldaduras en estructuras metálicas que apliquen al código AWS D1.1-2010 para lo siguiente:

Este procedimiento aplica para soldaduras de:

- Tipo filete (ángulo interior) o en ranura, cuyos elementos soldados sean (al menos uno) una platina de superficie lisa donde el transductor de evaluación se pueda deslizar sin comprometer la superficie de contacto.
- Categoría, ranura de CJP.
- Ubicación, donde sea accesible.

Este procedimiento aplica para:

- Los espesores soldados a ensayar van desde 8 mm, hasta 200mm.
- Ensayar en su largo total, si así se especifica en los documentos de contrato.
- Ensayar parcialmente, con la categoría, ubicación y largos de las soldaduras según se designen en los documentos del contrato.
- Ensayos localizados, números de sitios o puntos de ensayos, para un largo determinado de soldadura, según se especifiquen en los documentos del contrato. Cada ensayo localizado deberá cubrir un largo de soldadura $\geq 100\text{mm}$.

Este procedimiento no aplica para:

- Ensayos de metal base.
- No evalúa soldaduras de elementos traslapados.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 2 de 9

Definiciones

Inspección de fabricación y montaje: Es el control de calidad por parte del contratista para asegurar los materiales y la mano de obra, y se efectúa antes, durante y después de la soldadura.

Inspección de verificación: Es el aseguramiento de la calidad por parte del dueño de la obra o del fiscalizador. Esta inspección es prerrogativa del dueño de la obra o de quien realiza sus funciones.

Sound Path: Es la trayectoria o ruta del sonido a través del material.

Información general

- El fundamento del método de inspección ultrasónica se encuentra explicado en la información teórica de textos de acústica, manuales de END y manuales de operación del equipo, además en el código de referencia AWS D1.1-2010. Sección 6. Parte F.
- Previo a la inspección ultrasónica, las soldaduras sujetas al END deben haber sido encontradas aceptables por la inspección visual.
- Cuando se requiera END diferente a la VT, debe estar así establecido en la información contractual. Esa información debe enumerar las categorías de soldadura a ser examinadas, el alcance/extensión de los ensayos de cada categoría, y el método o los métodos de ensayo.
- La superficie del metal base por donde el transductor hace el barrido debe estar lo más lisa posible.
- Se emplearán procedimientos para inspección y para calibración de equipos.
- El personal de END debe, previo a ensayar, estar provisto o tener acceso a la información sobre la geometría de la junta soldada, espesor del material, y los procesos de soldadura usados. El personal de END debe estar advertido de cualquier reparación subsecuente a la soldadura.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 3 de 9

Documentos de referencia

El código de referencia que se utiliza como guía técnica aplicable al método a utilizarse en el presente ensayo, respecto a la aplicación del método es el siguiente:

- AWS D1.1-2010, Sección 6, Parte F.

Responsabilidades

- Es responsabilidad del contratista, la inspección y pruebas durante la fabricación y montaje. Además, si se especifica en el contrato otras END aparte de la inspección visual, es responsabilidad del contratista que las soldaduras cumplan con los criterios de aceptación del código AWS D1.1-2010.
- La inspección y pruebas de verificación es prerrogativa (puede o no puede) del dueño de la obra o del fiscalizador.
- Las disposiciones establecidas en este procedimiento deberán ser cumplidas bajo la responsabilidad de un ingeniero con calificación de nivel II en esta técnica de END.
- El supervisor de soldadura y/o el inspector certificado para el ensayo de ultrasonido debe verificar la aplicación de este procedimiento en todas sus etapas y es su responsabilidad evaluar y registrar los resultados en los respectivos reportes.

Personal

El personal que evalúa las juntas soldadas y supervisa el ensayo por ultrasonido, debe ser calificado nivel II o III, según la norma INEN ISO 9712-2012 o según el ASNT TC-1A. Mientras que la persona que realiza el ensayo y registra los datos puede ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior. Deben demostrar habilidad para aplicar las reglas del código AWS D1.1-2010 en la detección precisa y ubicación de las discontinuidades, mediante un examen práctico y específico.

Equipos y materiales

- a. Equipo de ultrasonido
 - Tipo: A scan.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 4 de 9

- Marca: ...
 - Modelo: ...
 - Alimentación:...
 - Rango de frecuencia: ...
 - Rango de frecuencia fina: ...
- b. Cables para transductores
- Cable coaxial (pulso-eco).
 - Cable dual (emisión-recepción).
- c. Transductores
- Transductor de haz recto.
 - Transductores angulares de: 70°, 60°, 45°.
- d. Acoplante
- Glicerina, goma de celulosa y mezcla de agua con consistencia adecuada, se puede agregar un agente humectante si es necesario. Aceite liviano como acoplamiento en los bloques de calibración.
- e. Bloques de calibración
- Bloque de referencia para ultrasonido del Instituto Internacional de Soldadura (IIW). Bloque de calibración tipo IIW o DSC.
- f. Documentos anexos
- Procedimiento de criterio de aceptación-rechazo.
 - Guías/planos de referencia de nomenclatura y ubicación de soldaduras.

Procesos

Dentro de la inspección por ultrasonidos se cumplirá dos procesos, uno de calibración y otro de inspección propiamente dicho. Además debido a que la inspección por ultrasonido depende mucho del equipo de ensayo se ha desarrollado los requerimientos tanto del equipo como de los transductores.

Requerimientos del equipo de ultrasonido

- El equipo debe estar calificado para las variables como: linealidad horizontal cada 2 meses según 6.30.1, control de ganancia (atenuación) cada 2 meses según 6.30.2, reflexiones internas cada 40 horas según 6.30.3. Estas variables se califican individualmente por medio de procedimientos específicos desarrollados en el código AWS D1.1-2010, en su referencia 6.30.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 5 de 9

- Tipo pulso-eco, usado con transductores de: 1 a 6 MHz.
- Visualización A SCAN.
- Debe tener estabilización interna, para que luego de la entrada de calor, no ocurra una variación en la respuesta $> \pm 1\text{dB}$, con un cambio $>$ el 15% en el suministro de la energía nominal.
- Debe tener un control de ganancia (atenuación) calibrado, ajustable en forma discreta en saltos de 1 o 2 dB en un rango de al menos 60 dB. La exactitud de la puesta a punto del atenuador debe ser $\pm 1\text{dB}$.
- El rango dinámico del monitor debe detectar la diferencia de 1 dB de amplitud fácilmente.

Requerimientos de los transductores

- Transductores de haz recto
 - Área activa de entre 323 mm^2 y 645 mm^2 .
 - Transductor de forma redondo o cuadrado.
 - Capaces de resolver 3 reflexiones.
- Transductores de haz angular
 - Puede ser 2 elementos separados o una unidad integral.
 - La frecuencia entre 2 y 2.5 MHz.
 - El transductor de forma cuadrada o rectangular, con un ancho entre el rango de 15 mm a 25 mm y una altura ente el rango de 15 mm a 20 mm. La relación ancho/altura debe ser mínima 1.0 y máxima de 1.2 a 1.0. Área de contacto mínima de 225mm^2 (15mm x 15mm).
 - Ángulos de 70° , 60° , y/o 45° , con una tolerancia de $\pm 2^\circ$.
 - En cada palpador debe estar marcado claramente indicando: la frecuencia del transductor, el ángulo nominal de refracción, y el punto de salida.
 - La reflexión interna máxima permisible se debe verificar máximo cada 40 horas.

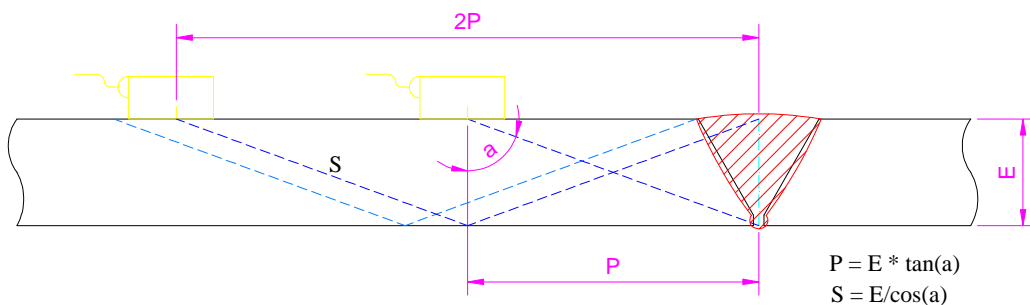
	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 6 de 9

- La distancia desde el punto de salida del haz al borde del palpador debe ser $\leq 25\text{mm}$.
- Calibración de los transductores de haz angular después de cada 8 horas de uso.

Proceso de calibración (de la unidad de ultrasonido)

- Se define el transductor a utilizar con el cable respectivo.
- El proceso de calibración y ajuste se efectuará usando un bloque de referencia estándar para calibración. Cualquier bloque de referencia para ultrasonido del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) puede ser usado como estándar, tanto para calibrar la distancia como para calibrar la sensibilidad.
- Se determina el punto de salida del haz ultrasónico en el transductor con la ayuda del bloque de calibración tipo IIW o DSC y del procedimiento descrito en la referencia 6.29 pág. 234 del código AWS D1.1-2010.
- Se determina el ángulo real de salida del haz con la ayuda del bloque tipo IIW, y se verifica que el error respecto al ángulo nominal se encuentre dentro de lo admitido por la norma de referencia ($\pm 2^\circ$).
- Se determina el camino sónico en función del espesor a evaluar (o rango de espesores) y del ángulo real de refracción.

Figura 35. Esquema de distancias de inspección de soldadura



Fuente: Autor

- Se ajusta la pantalla para que en ella se representen P y $2P$ claramente en el eje horizontal.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 7 de 9

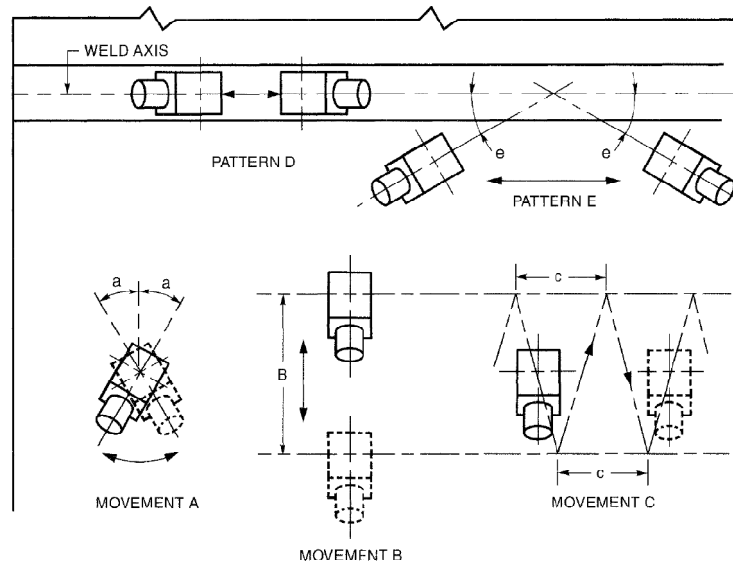
- Se calibra la sensibilidad con el bloque tipo IIW, un bloque de sensibilidad (SC), o con un patrón auxiliar del mismo material que aquel que va a ser ensayado. Para lo cual, se mide la amplitud del eco de referencia (b) que se proyecta sobre la pantalla del equipo de ultrasonido en configuración A-scan, donde la señal de mayor amplitud (señal maximizada) sea representada por el 80% de la altura de pantalla.
- Se incrementa la ganancia, de acuerdo a las Tablas 6.2 y 6.3 de AWS D1.1-2010, según sea el caso.

Proceso de inspección

- Se identifican y se marcan las zonas de inspección, así como las distancias X y Y (longitud y ancho de escaneo) para la localización de discontinuidad.
 - Línea X: Paralela al eje de la soldadura.
 - Línea Y: Acompañada con el número de identificación de soldadura en la cara A y la dirección (+ y/o -) desde la línea X.
- Se limpia las superficies del metal base adyacente al cordón de soldadura adecuado en las que el palpador inspecciona la junta soldada (distancia 2P proyectada en el plano de inspección). Esta limpieza debe garantizar que la superficie metálica esté libre de salpicaduras, suciedad, grasa, pintura, oxido y sea lo más lisa posible con el fin de garantizar un suave deslizamiento del palpador a través de esta superficie.
- Se coloca el líquido acoplante en la superficie de inspección.
- Se realiza el barrido ultrasónico dándole al palpador angular los movimientos A, B y C (zig-zag) (descrito en la Figura. 6.21 pág. 277 del código AWS D1.1-2010), en toda la longitud del cordón de soldadura.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 8 de 9

Figura 36. Movimientos de barrido del palpador



Fuente: Figura 6.21 del código AWS D1.1-2010. Pág.277

- En caso de detectarse una discontinuidad, con referencia a la amplitud del reflector producto de una discontinuidad, se evalúa las características de dicha discontinuidad, como profundidad, longitud, etc. La longitud se obtiene por medio del procedimiento de evaluación descrito en la referencia 6.31.2 del código AWS D1.1-2010.
- Se marcan en sitio las indicaciones obtenidas en posición, longitud y características con la simbología propuesta en el informe-registro.
- Se registran dichas indicaciones en el informe de ensayo, tomar en cuenta: el nivel de indicación (a), la distancia angular que son indispensables para el cálculo de la clasificación de indicación (d), y todas las variables que se muestran en el informe que se detalla más adelante.
- Se marca en sitio sobre el metal base cercano las discontinuidades que resultan ser rechazadas por el criterio del inspector y/o norma de referencia.
- Se libera la superficie del acoplante restante para su posterior recubrimiento.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Ultrasonidos - Estructuras	Rev. 0
		Página 9 de 9

Normas y referencias de aceptación-rechazo

Los criterios de aceptación y rechazo en la evaluación de las discontinuidades obtenidas con ultrasonidos dependerá de:

- Procedimiento de criterios de aceptación para ultrasonidos.
- Referencia 6.13 págs. 223, 224 del código ANSI/AWS D 1.1-2010.

Otros

Salud, seguridad y medio ambiente

- El equipo de protección personal, como mínimo, consta de arnés, casco, gafas, ropa de trabajo, guantes.

Registros/Informes

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, cliente que lo solicitó, lugar, fecha, identificación de junta soldada, esquema de la soldadura, materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales de ensayo. Además, se recomienda añadir cualquier otra información o evidencia que se considere importante, tal como fotografías o esquemas de la junta a inspeccionar. Este informe debe ser firmado por el supervisor de ensayo.

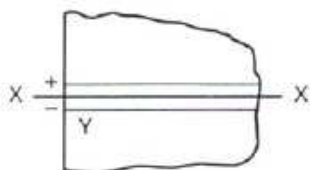
Se adjuntará a este documento los criterios de aceptación-rechazo del código, respecto a éste ensayo.

A continuación se encuentra el informe que se va a utilizar en la inspección por ultrasonido, seguida de una explicación para su llenado.

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		Jefe Inspección END
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

INFORME DE ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA SOLDADURAS

Proyecto _____ [1] _____ Informe No. _____ [2] _____



Identificación de la soldadura _____ [3] _____
 Espesor del material _____ [4] _____
 Tipo de junta de la soldadura _____ [5] _____
 Proceso de soldadura _____ [6] _____
 Requerimientos de calidad _____ [7] _____
 Observaciones _____ [8] _____

Número de Línea	Número de Indicación	Ángulo del Transductor	Desde la Cara	Trayecto Ultrasonónico	Decibeles				Discontinuidad				Evaluación de la Discontinuidad	Observaciones	
					Nivel de Indicación	Nivel de Referencia	Factor de Atenuación	Clasificación de Indicación	Largo	Distancia Angular (SoundPath)	Profundidad desde la Superficie "A"	Distancia			
												A			b
1	[9]	[10]	[11]	[12]											
2					[13]	[14]	[15]	[16]							
3									[17]	[18]	[19]	[20]	[21]		
4														[22]	[23]
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															

Los abajo firmantes, certificamos que lo expuesto en este registro es correcto y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección 6, Parte F del AWS D1.1/D1.1M, (_____) Código de Soldadura Estructural – Acero. (año)

Fecha de Ensayo _____ [24] _____

Fabricante o Contratista _____ [26] _____

Inspeccionado por _____ [25] _____

Autorizado por _____ [27] _____

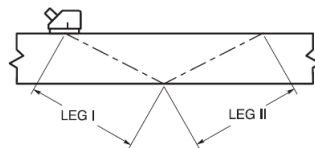
Nota: este formulario es aplicable a la Sección 2, Parte B o C (Estructuras no tubulares cargadas estáticamente o cíclicamente). No usar este formulario para estructuras tubulares (Sección 2, Parte D).

Fecha _____ [28] _____

5.7.5.1 Instructivo para el llenado del formato de inspección por ultrasonido

1. Nombre del proyecto de inspección.
2. Número del informe por inspección ultrasónica que realiza el laboratorio, empresa o institución. En soldaduras reparadas y reensayadas si se utiliza un informe adicional se debe anteponer “R” al número del informe.
3. Identificación, descripción o nominación de la junta soldada a inspeccionar.
4. Espesor del material de la junta soldada a inspeccionar.
5. Tipo de junta de la soldadura a inspeccionar.
6. Proceso de soldadura que se usó en la junta soldada.
7. Requerimientos de calidad de la junta soldada a inspeccionar.
8. Observaciones respecto al informe en general.
9. Número de indicación: en soldaduras reparadas y reensayadas si se utiliza el informe original se tabula en una nueva línea del formulario y se antepone “Rn” al número de indicación.
10. Ángulo del transductor con el cual se realiza la inspección.
11. Identificar desde qué cara se realiza la inspección.
12. Pierna de trayecto ultrasónico en la cual se detecta una discontinuidad, usar la pierna I, II, o III. (leg I + leg II = V-path).

Figura 37. Pierna de trayecto ultrasónico



Fuente: Código AWS D1.1-2010 pág. 337

13. Nivel de indicación o registro (a) en dB que va marcando el equipo de UT durante el ensayo.
14. Nivel de referencia (b) en dB.
15. Factor de atenuación (c) en dB:

$$c(\text{dB}) = (\text{sound path} - 25.4) * 008 \rightarrow \text{en [mm]}$$

$$c(\text{dB}) = (\text{sound path} - 1) * 2 \rightarrow \text{en [in]}$$

Nota: el sound path es la ruta o trayectoria del sonido. Ver 18.

16. Clasificación de indicación (d), con el signo + o -, salvo que sea cero.
 - En instrumentos con control de ganancia, se aplicará la fórmula: $a-b-c = d$
 - En instrumentos con control de atenuación, se aplicará la fórmula: $b-a-c = d$
17. Largo o longitud de la discontinuidad.
18. Distancia angular (trayecto de la onda) o (sound path).
19. Profundidad desde la superficie "A".
20. Distancia desde X, con el signo + o -, salvo que sea cero: es usada para describir la ubicación de una discontinuidad de soldadura en una dirección perpendicular a la línea de referencia de la misma.
21. Distancia desde Y: se mide la distancia desde el borde "Y" de la soldadura al comienzo de la discontinuidad. Es usada para describir la ubicación de la discontinuidad de la soldadura en una dirección paralela a la línea de referencia de la misma.
22. Evaluación de la discontinuidad.
23. Observaciones respecto a la determinada indicación.
24. Fecha en la que el personal de inspección inicia y finaliza el ensayo.
25. Nombre de la persona que realizó el ensayo, su calificación y firma.
26. Nombre del fabricante o contratista que realiza la inspección.
27. Nombre de la persona que autoriza hacer la inspección.
28. Fecha en que recibe el fabricante o contratista el resultado de la inspección.

CAPÍTULO VI

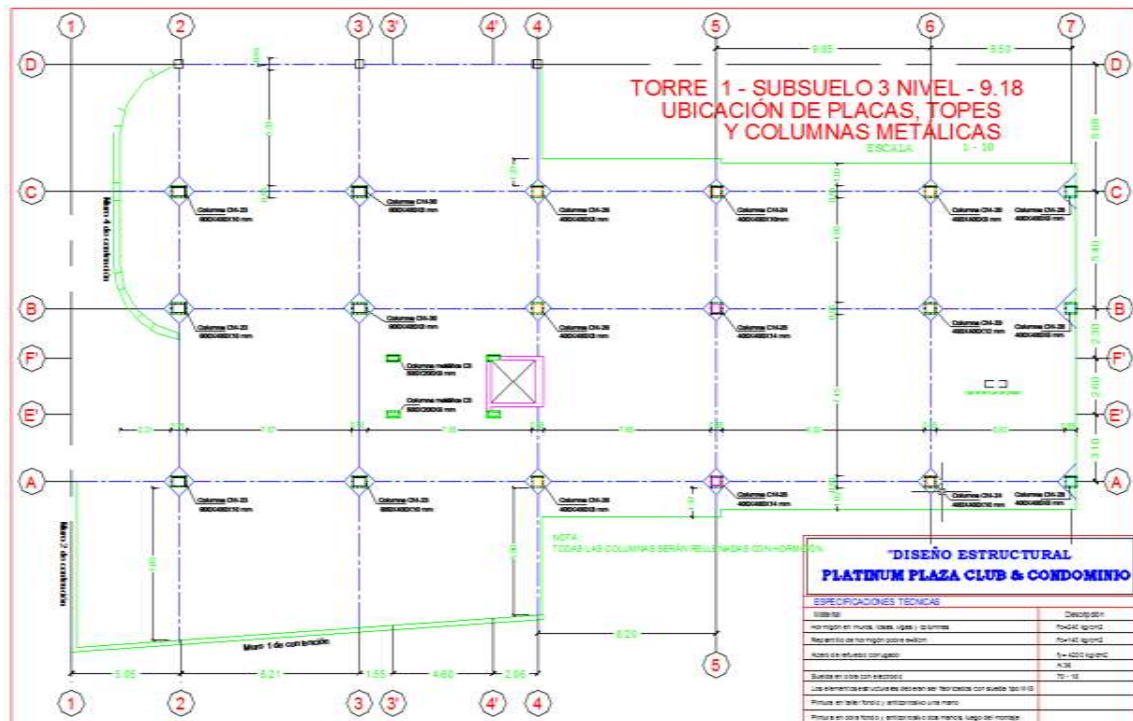
6. APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

6.1 Aplicación de procedimientos

En este capítulo se aplicarán los procedimientos-guía generados en los capítulos 3 y 4, con el fin de demostrar su versatilidad y aplicabilidad. Esta aplicación seguirá una estructura similar de cada procedimiento, de la misma forma los pasos seguidos y especificados de cada parámetro.

6.1.1 Estructura de análisis del proyecto. Para el desarrollo de este proyecto se ha elegido la estructura metálica de la Platinum Plaza Club & Condominio mostrada en la Figura 38, la misma que está diseñada, fabricada y construida en acero A36 en la ciudad de Quito.

Figura 38. Esquema de la estructura metálica de la Platinum Plaza Club



Fuente: Planos estructurales de la Platinum Plaza Club

Sería inapropiado y resultaría ser un análisis poco práctico para el propósito de este proyecto desarrollar una WPS y la calificación de soldadores para cada tipo de conexión, en cada: columna-columna, viga-columna, viga-viga, eje de referencia, y para cada piso (considerando que la estructura analizada tiene 9 pisos), además que, un análisis individual resultaría para el lector bastante tedioso y confuso, razones por las cuales se ha realizado un análisis de la zona crítica de la estructura.

Análisis de la zona crítica. Se define la zona crítica como aquella subsuperficie dentro de la superficie total de la estructura donde existen mayores cargas de transmisión. La zona crítica permite identificar el pórtico crítico con sus respectivas vigas y columnas, la misma que por principio tendrá los elementos estructurales de mayores requerimientos de resistencia por las transmisiones de las cargas, lo que se traduce en mayores dimensiones y espesores tanto en los perfiles como en las columnas.

Se inicia el estudio de la zona crítica con la selección del nivel/piso adecuado para realizar el análisis, y se resuelve seleccionar la primera planta dado que los espesores tanto de columnas como de vigas son mayores; variables importantes para la realización del proyecto.

Bajo el criterio de que las vigas de mayor luz/vano soportan mayor carga, se tiene que las vigas entre los ejes A y B y entre los ejes 5 y 6 son los de mayor luz.

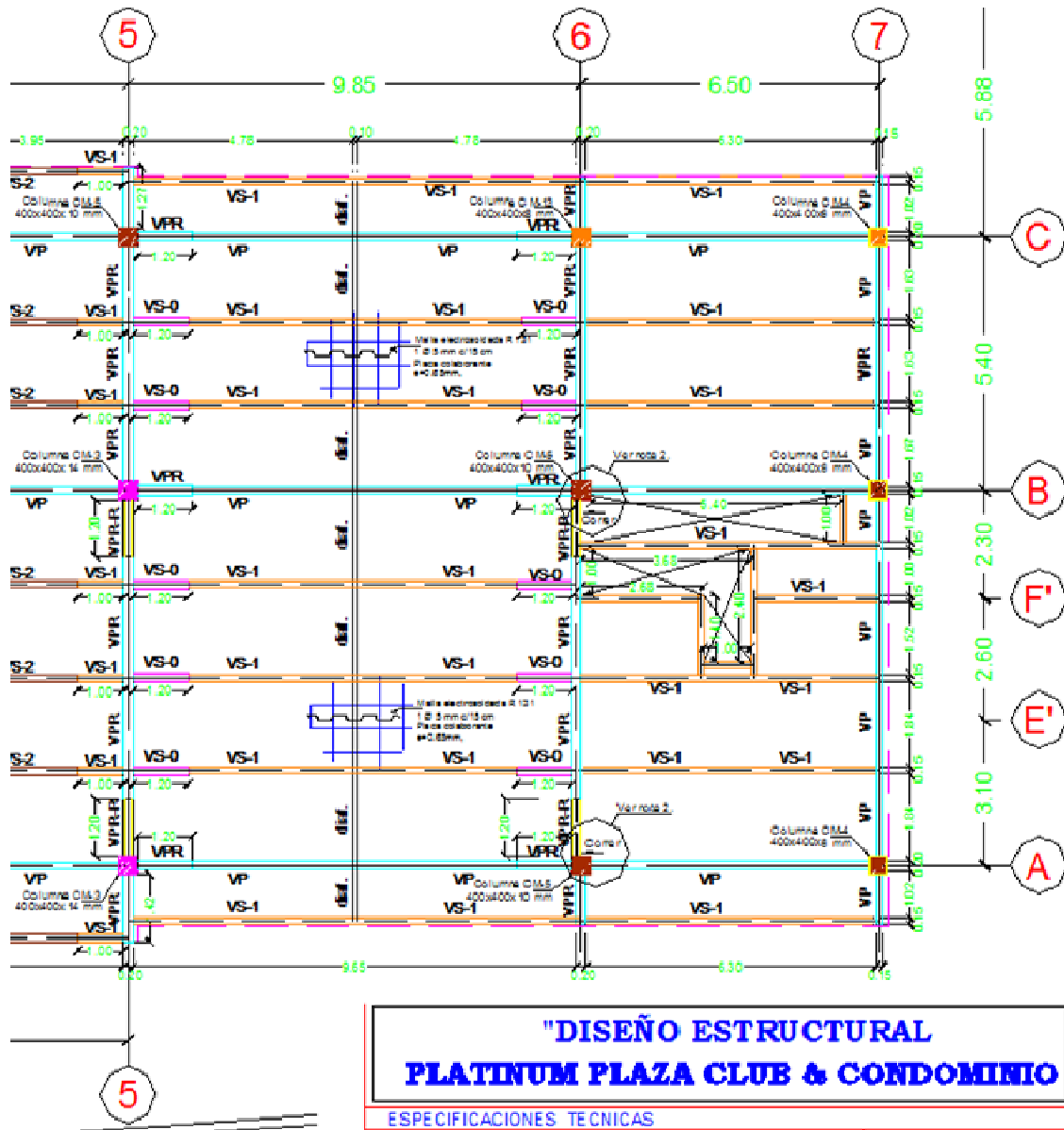
Figura 39. Esquema de las vigas de mayor luz



Fuente: Autor

Mediante el criterio de que todas las cargas vivas y muertas, de y sobre la losa se transmiten primero a las vigas secundarias, para luego éstas a su vez transmitirlas hacia las vigas principales, se resuelve que las vigas críticas están sobre los ejes 5 y 6.

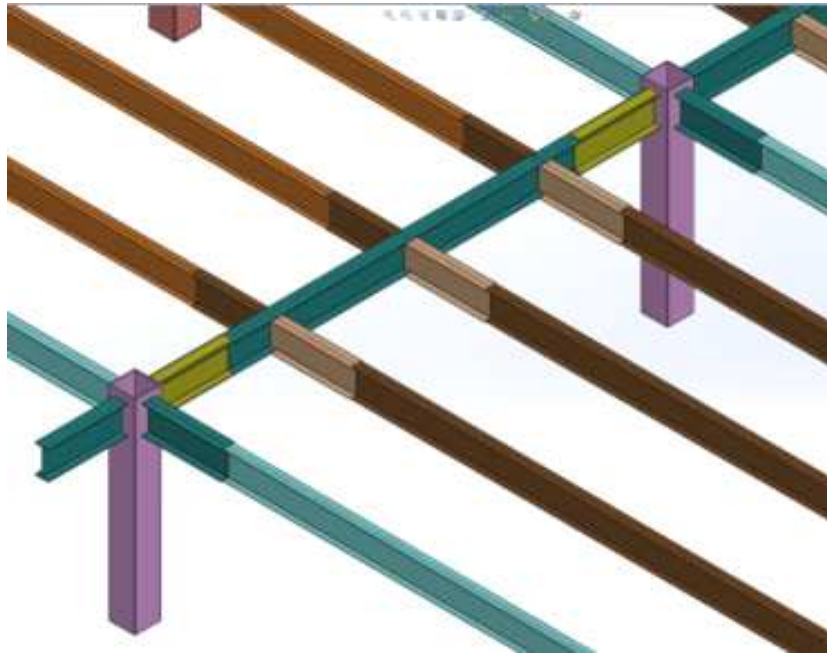
Figura 40. Esquema de las vigas principales y secundarias de la estructura metálica de la Platinum Plaza Club & Condominio



Fuente: Planos estructurales de la Platinum Plaza Club

Finalmente se analiza cada uno de los pórticos descubiertos y mediante cualquier método de distribución de carga sobre las losas, se tiene que el pórtico que resiste mayor carga es el pórtico sobre el eje 5 entrecruzado por los ejes A y B.

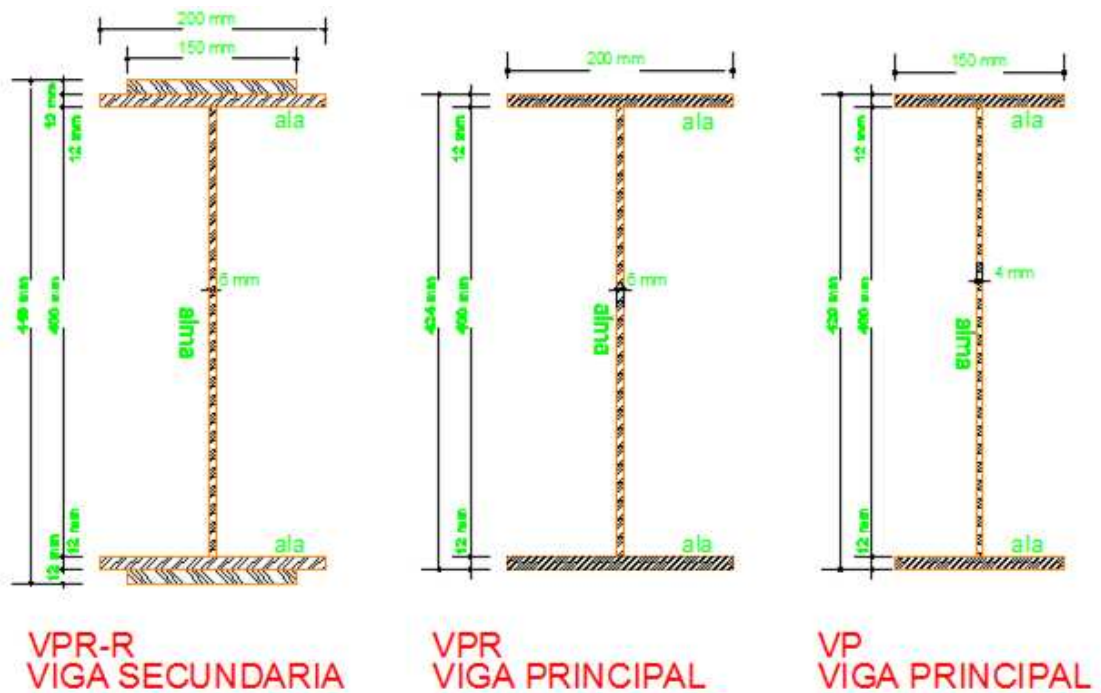
Figura 41. Esquema del pórtico crítico de la estructura metálica de la Platinum Plaza Club & Condominio



Fuente: Autor

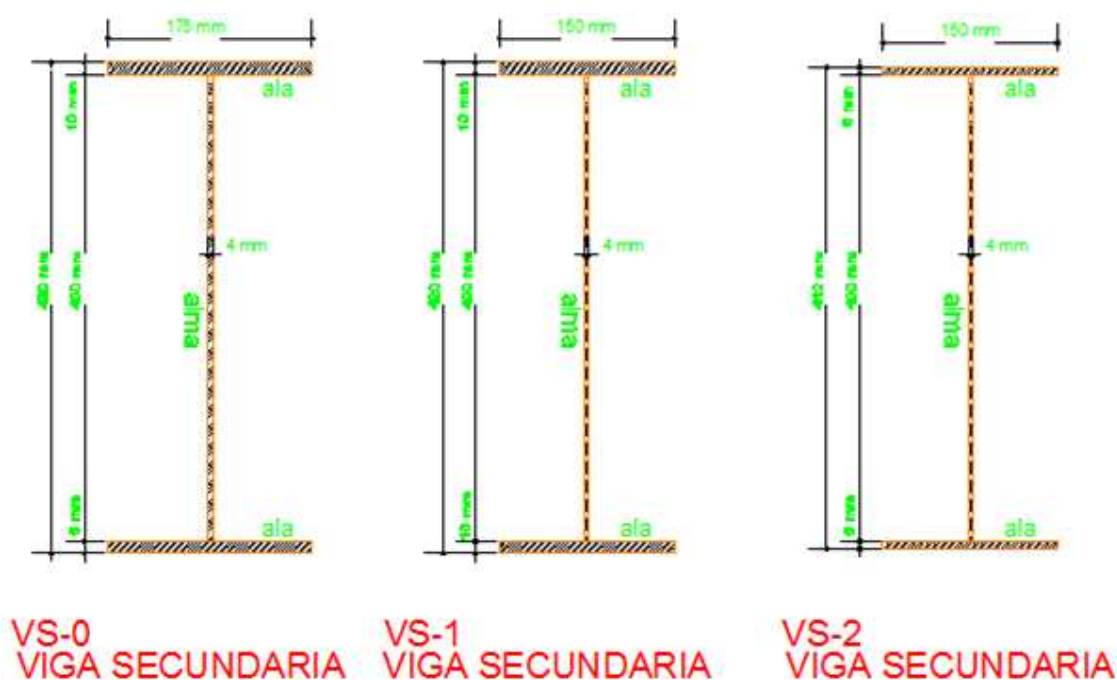
Vigas y columnas. Dentro de la zona crítica las columnas y vigas a considerar son las siguientes: CM 3 (400x400x14 mm), VPR-R, VPR, VP, VS-0, VS-1, VS-2.

Figura 42. Vigas principales del pórtico crítico



Fuente: Planos estructurales de la Platinum Plaza Club

Figura 43. Vigas secundarias del pórtico crítico



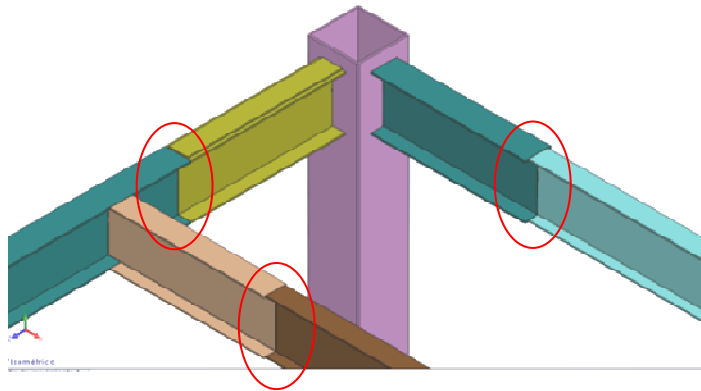
Fuente: Planos estructurales de la Platinum Plaza Club

6.2 Especificación de procedimientos de soldadura – WPS's

Se establecen dos ejemplos prácticos de soldadura, una en el taller y otra en el campo, para el efecto se toma un plano de diseño estructural de una estructura metálica, en el cual se hace el análisis de la zona crítica de la estructura y se establece el pórtico crítico, obteniendo de esta manera las vigas y la columna con la cual se desarrolla éste proyecto. Entonces, se procederá a realizar el análisis correspondiente y a desarrollar las WPS precalificadas para las conexiones en el taller, y las WPS calificadas para las conexiones en el campo, para cada situación habrá parámetros diferentes que se describirán adecuadamente.

6.2.1 *Aplicación del procedimiento-guía de WPS's precalificadas.* Se establece un ejemplo o situación práctica de soldadura en el taller para las conexiones establecidas en la Figura 44 del pórtico crítico que se encontró anteriormente en el plano de diseño estructural, en las cuales se procederá a hacer el análisis correspondiente y desarrollar las WPS precalificadas necesarias para realizar estas conexiones.

Figura 44. Conexiones del pórtico crítico a realizarse en el taller



Fuente: Autor

Situación 1. En el taller se desea fabricar los perfiles VPR-R, VPR, VP, VS-0, VS1 desde planchas de acero estructural ASTM A36, para luego proceder a unirlos entre las vigas VPR-R_VPR, VP_VPR, y VS-0_VS-1, mediante el proceso GMAW, en la posición plana para la soldadura de ranura y en la posición horizontal para la soldadura de filete; estos perfiles forman parte de la estructura metálica del edificio y corresponden a las conexiones soldadas de las zonas críticas, para los cuales se desarrollara las WPS precalificadas, bajo el criterio de que si las WPS desarrolladas para las zonas críticas cumplen con los requerimientos de código AWS D1.1-2010, entonces cumplirá para todas las conexiones de la estructura en su totalidad.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-precalificada	Rev. 0
		Página 1 de 6

Documentos de referencia

En la elaboración de una WPS precalificada se seguirá las directrices especificadas en:

- AWS D1.1-2010. Sección 3 y Sección 5 de fabricación.

Definiciones

VP: Viga principal.

VPR: Viga principal reforzada.

VPR-R: Viga principal reforzada-reforzada.

VS: Viga secundaria.

GMAW: Soldadura al arco con alambre protegido con gas.

Personal

La persona que elaboró las WPS precalificadas y registró los datos en el formato es quien desarrolló éste proyecto. La persona que superviso la WPS precalificada tiene calificación ASNT nivel II.

Procesos. Siguiendo la guía para preparar las WPS's precalificadas tenemos:

1. *Parámetros de soldadura para la aplicación plana (ranura) y horizontal (filete):*

Tabla 25. Parámetros de soldadura

Especificaciones Técnicas	
Soldadura en	Taller
Vigas a soldar	VPR-R
	VPR
	VS-0 y VS-1
En posición	Plana
	Horizontal
Soldadura de	Ranura
	Filete
Proceso	GMAW
Acero	A36

Fuente: Autor

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-precalificada	Rev. 0
		Página 2 de 6

Para un proceso GMAW la fuente de energía a utilizar debería ser de voltaje constante, el método de aplicación más popular es el semiautomático (-SE-), su uso está asociado al empleo de metales de aporte de diámetros pequeños, generalmente hasta unos 2.4mm (3/32 plg). Las operaciones pueden hacerse en todas las posiciones dependiendo del modo de transferencia metálica. La velocidad de soldadura o de depósito es relativamente elevada, dándonos tiempos de terminación de soldadura de aproximadamente la mitad de aquellos obtenidos con el proceso SMAW; en general existe menor distorsión de las piezas de trabajo.

Como se van a soldar metales ferrosos se pueden emplear gases de protección activos como el dióxido de carbono, o mezclas de gases inertes con gases activos como dióxido de carbono y oxígeno. Además que el CO₂ aseguraría una buena penetración en transferencia globular.

Para ésta aplicación se debería utilizar un modo de transferencia metálica de tipo globular o spray dado que son los de mayor energía (GMAW), específicamente el tipo spray es el de mayor energía, no utilizar GMAW-S pues tiene una transferencia de bajísima energía. Según recomendaciones, dado que se utilizará un electrodo de acero dulce y los espesores de las planchas están entre 10 y 12mm en transferencia spray, se debería utilizar un electrodo de diámetro 1.6mm, con un gas de protección de 98%Ar-2%O, lo que nos permitirá utilizar una corriente mínima para arco spray de 275 amp. En cualquiera de las transferencias ya sea globular o spray se requiere el empleo de CD, PI (EP).

Para el acero estructural A36 se debería utilizar un electrodo de la especificación AWS A5.18 antes que A5.28 inclusive por costos. Dado que la resistencia a la tensión del acero A36 está en un rango de 58-80 kpsi, se usaría el electrodo ER70S-3 que nos da una resistencia mínima a la tensión de 70kpsi, para soldaduras de pasos sencillos y múltiples.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-precalificada	Rev. 0
		Página 3 de 6

2. *Inspeccionar cada uno de los parámetros de acuerdo al código AWS D1.1-2010:*

Proceso de soldadura. El proceso seleccionado es soldadura al arco con alambre protegido con gas GMAW (MIG-MAG). En la Tabla 3.1 págs. 64-67 y en la referencia 3.2.1 pág. 59 del código AWS D1.1-2010, verificamos que este proceso sí está precalificado.

Electrodo. En la Tabla 3.1 del código AWS D1.1-2010 pág. 64, una lista de metales de relleno es suministrada. Un electrodo ERXXS-X puede ser seleccionado. De las recomendaciones del fabricante, manual Indura págs. 79, 80 se selecciona un electrodo ER70S-6 de 1.6mm (1/16 plg) con 250 amperios, 30 voltios, además es apropiado para la aplicación el gas de protección CO₂ con un flujo de 16 lt/min por su bajo costo. El electrodo opera con CD, y polaridad positiva (EP).

Precalementamiento. De la Tabla 3.2 pág. 68 del código AWS D1.1-2010, se selecciona el precalementamiento. Es controlado por el material, proceso de soldadura, espesor del acero (el espesor mayor es 12mm de las alas de las vigas VP, VPR, VPR-R) y el precalementamiento mínimo debe ser de 0°C.

Requerimientos generales. De los requerimientos de la Tabla 3.7 pág. 73 del código AWS D1.1-2010, verificamos cuantos WPS precalificados son necesarios en función de la posición plana (para soldadura de ranura) y posición horizontal (para soldadura de filete) para la fabricación en taller:

- Diámetro máximo del electrodo 3.2mm (1/8plg), tanto para una posición plana (soldadura de ranura), como para posición horizontal (soldadura de filete). Del fabricante se selecciona el diámetro del electrodo de 1.6mm (1/16 plg), menor a 3.2mm (1/8 plg) que es el máximo.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-precalificada	Rev. 0
		Página 4 de 6

- Corriente máxima dentro del rango recomendado por el fabricante, tanto para una posición plana con soldadura de ranura, como para posición horizontal con soldadura de filete. El manual del fabricante Indura págs., 79,80 recomienda que la corriente sea de 200 a 300 amperios, entonces seleccionamos una corriente de 250 amperios.
- Espesor máximo de pase de raíz, para posición plana (soldadura de ranura) es 10mm (3/8plg) y para posición horizontal (soldadura de filete) es 8mm (5/16 plg). Se selecciona un máximo pase de raíz de 8mm (5/16 plg), con eso cumplimos para las dos posiciones.
- Espesor máximo del pase de relleno es de 6mm (1/4 plg) para las dos posiciones. Se selecciona el espesor máximo del pase de relleno de 6mm (1/4 plg).
- Tamaño máximo de la soldadura de filete de pasada simple es 10mm (3/8 plg), para posición horizontal (soldadura de filete). Además en la Tabla 5.8 pág. 209 del código AWS D1.1-2010, dice que el tamaño mínimo de la soldadura de filete es 6mm (1/4 plg) para 12 mm de espesor del ala de la viga VPR-R (espesor máximo de las vigas en análisis). Entonces aquí selecciono hacer el filete de una sola pasada y de 10mm (3/8plg) de tamaño.

Requerimientos Específicos

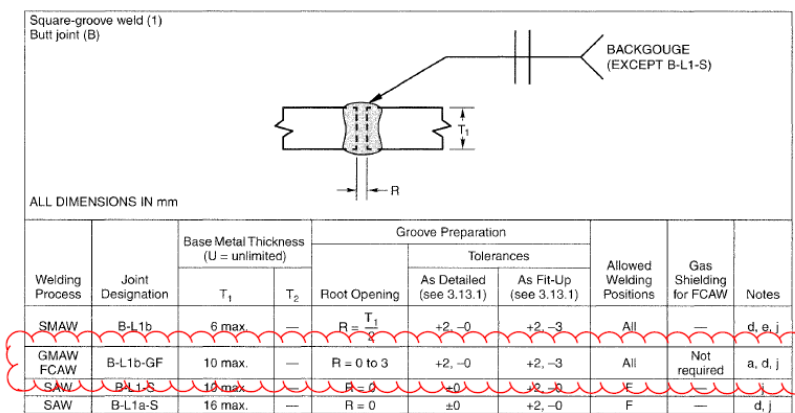
- Tamaño mínimo del filete de soldadura, según la Tabla 5.8 pág. 209 del código AWS D1.1-2010, es de 6mm (1/4plg) que es menor al seleccionado 10mm (3/8plg).
- Las soldaduras de ranura serán de bisel CJP, para seleccionar las dimensiones de los detalles de la preparación de la ranura para juntas GMAW precalificadas se analizan las Figuras 3.4 del código, para lo cual:
Dividimos el perfil en zonas, tenemos 2 zonas, las alas del perfil dado que son simétricamente exactas constituyen una zona (zona a), mientras el alma constituye la otra zona (zona b), las 2 zonas tienen rangos de espesores diferentes:
 - Zona 1: espesor de 10 a 12 mm
 - Zona 2: espesor de 4 a 6 mm

PROCEDIMIENTO-GUÍA		
Referencia: Código AWS D1.1-2010		Fecha: 12-Nov-12
WPS-precalificada		Rev. 0
		Página 5 de 6

Se debe seleccionar los detalles de las juntas en función del espesor, del proceso y de las posiciones necesarias:

Para las *almas* de los perfiles VS-0, VS1, VPR-R, VPR y VP de la Figura 3.4 pág. 105 del código AWS D1.1-2010 se selecciona el diseño de la junta B-L1b-GF.

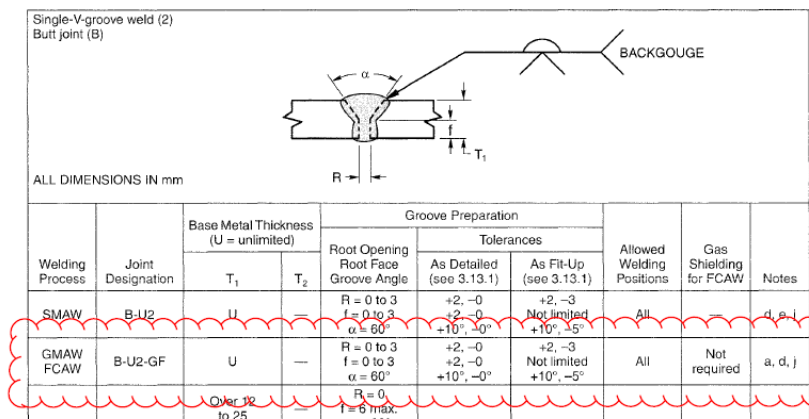
Figura 45. Diseño de la junta precalificada para las almas de los perfiles del pórtico crítico



Fuente: Figura 3.4 del código AWS D1.1-2010 pág. 105

Mientras que para las *alas* de los perfiles VS-0, VS-1, VPR-R, VPR y VP de la Figura 3.4 pág. 107 del código AWS D1.1-2010 se selecciona el diseño de la junta B-U2-GF.

Figura 46. Diseño de la junta precalificada para las alas de los perfiles del pórtico crítico



Fuente: Figura 3.4 del código AWS D1.1-2010 pág. 107

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-precalificada	Rev. 0
		Página 6 de 6

3. Documentar por escrito los valores de la WPS (formato)

Para el próximo paso que es documentar por escrito la WPS, se puede utilizar cualquier formato conveniente. Un formato de muestra está incluido en el Anexo N del código AWS D1.1-2010, pág. 354. Debido a la diferencia considerable de los espesores de las alas de las vigas con sus respectivas almas, es necesario realizar diferentes WPS precalificados; es así que se ha realizado una WSP precalificada para todas las alas y otra diferente para las almas. Dándonos los siguientes formatos:

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

WPS-precalificada para la soldadura de las ALAS de todos los perfiles

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si
 PRECALIFICADO X CALIFICADO POR ENSAYO
 o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Número de Identificación: 1
 Revisión: Fecha: Por:
 Autorizado por: Fecha:
 Nombre de la Empresa: TESIS
 Proceso de Soldadura: GMAW
 PQR de apoyo No.(s): -----
 Tipo ---- Manual Semiautomática
 Máquina Automática

DISEÑO DE JUNTA USADO B-U2-FG
 Tipo de junta: a Tope Tipo de soldadura: Ranura en V
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: -----
 Abertura de raíz: 0 a 3mm Tamaño cara de raíz: 0 a 3mm
 Ángulo de ranura: 60° Radio (J-U): -----
 Repelado de raíz: Si No Método: esmeril

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: Plana Filete: -----
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: ASTM A 36
 Tipo o Grado < 20 mm
 Espesor: Ranura: Ilimitado Filete: -----
 Diámetro(Tubo)---- Espesor (Plancha): 6 a 12mm (alas)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEN
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro -----
 Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: -----
 Tipo: -----

METALES DE RELLENO
 Especificación AWS: AWS A 5.18
 Clasificación AWS: ER-70S-6

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: Ambos/ oscilación máx. 3Øelectrodo
 Pasada múltiple o pasada única (por lado): múltiple
 Número de Electrodo: simple
 Separación de Electrodo: Longitudinal: -----
 Lateral: -----
 Angular: -----
 Distancia del tubo de contacto a la pieza: -----
 Martillado: no está permitido
 Limpieza entre pasadas: cepillo manual o motorizado

PROTECCIÓN
 Fundente: ----- Gas: CO2
 Composición -----
 Electrodo Fundente: --- Veloc. de Flujo: 14 a 16 lt/min
 Tamaño copa de Gas: -----

PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín.: 0 °C
 Temp. entre pasadas, Mín.: según se suelde Máx.: según
 se suelde

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: -----
 Tiempo: -----

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	GMAW	ER-70S-6	1,6	DC-EP	250 Amp.	30		
2	GMAW	ER-70S-6	1,6	DC-EP	250 Amp.	30		
3	GMAW	ER-70S-6	1,6	DC-EP	250 Amp.	30		
								B-U2-GF

WPS-precalificada para la soldadura de las ALMAS de todos los perfiles

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si
 PRECALIFICADO X CALIFICADO POR ENSAYO
 o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Nombre de la Empresa: TESIS
 Proceso de Soldadura: GMAW
 PQR de apoyo No.(s): -----
 Número de Identificación: 2
 Revisión: Fecha: Por:
 Autorizado por: Fecha:
 Tipo ----- Manual Semiautomática
 Máquina Automática

DISEÑO DE JUNTA USADO B-L1b-GF
 Tipo de junta: a Tope Tipo de soldadura: Ranura en V
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: -----
 Abertura de raíz: 0 a 3mm Tamaño cara de raíz: -----
 Ángulo de ranura: ----- Radio (J-U): -----
 Repelado de raíz: Si No Método: esmeril

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: Plana Filete: -----
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: ASTM A 36
 Tipo o Grado < 20 mm
 Espesor: Ranura: 10 mm Filete: -----
 Diámetro(Tubo) ----- Espesor (Plancha): 10 mm máx.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEN
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro -----
Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: -----
 Tipo: -----

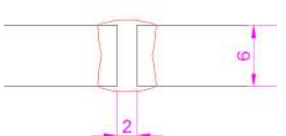
METALES DE RELLENO
 Especificación AWS: AWS A 5.18
 Clasificación AWS: ER-70S-6

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: Ambos/ oscilación máx. 3Øelectrodo
 Pasada múltiple o pasada única (por lado): simple
 Número de Electrodo: simple
 Separación de Electrodo: Longitudinal: -----
 Lateral: -----
 Angular: -----
 Distancia del tubo de contacto a la pieza:
 Martillado: no está permitido
 Limpieza entre pasadas: cepillo manual o motorizado

PROTECCIÓN
 Fundente: ----- Gas: CO2
 Composición: -----
 Electrodo Fundente: --- Veloc. de Flujo: 14 a 16 lt/min
 Tamaño copa de Gas: -----

PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín.: 0 °C
 Temp. entre pasadas, Mín.: según se suelde Máx.: según se suelde

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: -----
 Tiempo: -----

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	GMAW	ER-70S-6	1,6	DC-EP	250 Amp.	30		
B-L1b-GF								

WPS-precalificada para la soldadura de las ALAS con las ALMAS de todos los perfiles

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si
 PRECALIFICADO X CALIFICADO POR ENSAYO
 o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Número de Identificación: 3
 Revisión: Fecha: Por:
 Autorizado por: Fecha:
 Nombre de la Empresa: TESIS
 Proceso de Soldadura: GMAW
 PQR de apoyo No.(s): -----
 Tipo ---- Manual Semiautomática
 Máquina Automática

DISEÑO DE JUNTA USADO
 Tipo de junta: en T Tipo de soldadura: Filete
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: -----
 Abertura de raíz: 0 a 3mm Tamaño cara de raíz: -----
 Ángulo de ranura: ----- Radio (J-U): -----
 Repelado de raíz: Si No Método: -----

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: ----- Filete: Horizontal
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: ASTM A 36
 Tipo o Grado < 20 mm
 Espesor: Ranura: ----- Filete: 5 a 10 mm
 Espesor (Plancha): 10 a 12mm (alas) ; 4 a 6 mm (almas)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEN
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro -----
 Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: -----
 Tipo: -----

METALES DE RELLENO
 Especificación AWS: AWS A 5.18
 Clasificación AWS: ER-70S-6

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: Ambos/ oscilación máx. 3Øelectrodo
 Pasada múltiple o pasada única (por lado): ambos
 Número de Electrodos: simple
 Separación de Electrodos: Longitudinal: -----
 Lateral: -----
 Angular: -----
 Distancia del tubo de contacto a la pieza:
 Martillado: no está permitido
 Limpieza entre pasadas: cepillo manual o motorizado

PROTECCIÓN
 Fundente: ----- Gas: CO2
 Composición: -----
 Electrodo Fundente: --- Veloc. de Flujo: 14 a 16 lt/min
 Tamaño copa de Gas: -----

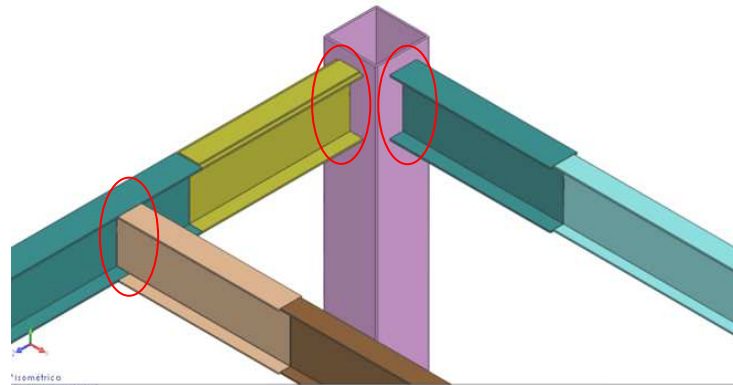
PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín.: 0 °C
 Temp. entre pasadas, Mín.: según se suelde Máx.: según se suelde

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: -----
 Tiempo: -----

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro o (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	GMAW	ER-70S-6	1,6	DC-EP	250 Amp.	30		
2	GMAW	ER-70S-6	1,6	DC-EP	250 Amp.	30		

6.2.2 *Aplicación del procedimiento-guía de WPS's calificadas.* Se establece un ejemplo o situación práctica de soldadura en el campo para las conexiones establecidas en la Figura 47, en las cuales se procederá a hacer el análisis correspondiente y obtener el PQR adecuado a través del cual se realizará la o las WPS's-calificadas mediante ensayos necesarias para realizar éstas conexiones.

Figura 47. Conexiones del pórtico crítico a realizarse en el campo



Fuente: Autor

Tomar en consideración que el desarrollo de éste ejemplo es meramente metódica (no experimental), lo que se quiere lograr es la visualización clara de los pasos metódicos que se deben seguir para realizar la calificación de la WPS de acuerdo al código AWS D1.1-2010, pues si además de hacer un estudio metódico también se hace un desarrollo experimentalmente se perdería el objetivo de éste proyecto debido a que el tema sería demasiado amplio y complicado de comprender.

Situación 2. En el campo se desea montar las vigas VPR-R, y VPR a la columna CM-3; además se desea unir entre las vigas VS-0 a VPR. La soldadura de filete es aplicada de manera continua y será realizada en el campo con la columna en la posición vertical y las vigas como se muestran en la Figura 4.27, requiriendo para la soldadura de producción las posiciones horizontal, vertical y sobrecabeza. Las dimensiones de la columna y las vigas se muestran en la Figura 42 y en la Figura 43. La viga y la columna son de acero AISI 1010. Escribir una WPS calificada por ensayo con estos valores/parámetros. El proceso seleccionado es soldadura al arco tipo SMAW.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 1 de 11

Documentos de referencia

Los requerimientos para las pruebas de calificación de las WPS calificadas mediante ensayos están descritas en:

- AWS D1.1-2010. Sección 4.

Definiciones

WPS: Especificación de procedimiento de soldadura.

PQR: Registro de calificación de procedimiento.

SMAW: Soldadura por arco metálico protegido.

VP: Viga principal.

VPR: Viga principal reforzada.

VPR-R: Viga principal reforzada – reforzada.

VS: Viga secundaria.

Personal

La persona que elaboró la WPS calificada y registró los datos en el formato PQR es quien desarrolló éste proyecto. La persona que supervisó la WPS calificada tiene calificación nivel ASNT II.

Procesos

Siguiendo las guías para preparar la WPS calificadas mediante ensayos tenemos:

1. Determinar el procedimiento preliminar a calificar

El primer paso en la calificación de un procedimiento de soldadura mediante ensayos es determinar el procedimiento preliminar a calificar. Para realizar la WPS preliminar se utiliza los mismos elementos del procedimiento-guía para WPS's-precalificadas.

- Parámetros apropiados para la aplicación de la soldadura de filete en posiciones horizontal, vertical y sobre cabeza:

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 2 de 11

Tabla 26. Parámetros de soldadura

Especificaciones Técnicas	
Soldadura en	Campo
Vigas a soldar	VPR-R
	VPR
	VS-0
Columnas a soldar	CM-3
En posición	Horizontal
	Vertical
	Sobrecabeza
Soldadura de	Filete
	Ranura
Proceso	SMAW
Acero	AISI 1010

Fuente: Autor

El proceso de soldadura por arco con electrodos revestidos SMAW siempre se realiza con la fuente de potencia del tipo corriente constante pues ayuda al arranque de la soldadura, el método de aplicación más popular es manual (-MA-), la soldadura puede ser hecha con CD o CA. Se debería soldar con CD dado que ofrece mejores características de operación, un arco más estable y su uso es para soldar intervalos amplios de espesores (laminas y secciones gruesas) de aproximadamente 1.2mm en adelante, el encendido del arco y la soldadura con arco corto es más fácil. Las operaciones pueden hacerse en cualquier posición dependiendo del electrodo utilizado.

Para asegurar una buena penetración se debería escoger la conexión eléctrica del electrodo al terminal positivo de la fuente, designando como: CD del electrodo positivo o polaridad invertida, CD, EP (PI).

Los electrodos que se deberían utilizar son los de la especificación AWS A5.1 antes que A5.5 inclusive por costos. Dado que la resistencia a la tensión del acero AISI 1010 extruido en frio es 53 ksi, se podría usar los electrodos E6011, E7018 que nos dan una resistencia mínima a la tensión de 60 y 70 ksi respectivamente. Además, el electrodo E7018 usa el tipo de corriente CD EP, dándonos una penetración intermedia y tiene un revestimiento de bajo hidrógeno, y se puede utilizar en las posiciones plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 3 de 11

Según el manual del fabricante de electrodos Indura pág. 21, establece que el electrodo E7018 es un electrodo rutílico potásico de bajo hidrógeno con hierro en polvo en su revestimiento que funciona con CA o CD (EP) en las posiciones plana, vertical, sobre cabeza y horizontal, establece que para las posiciones vertical y sobre cabeza existe una limitación de diámetro de hasta 5/32 plg (4mm) para electrodos de bajo hidrógeno. Establece además los intervalos de corriente mín. 140 y máx. 200 amperios.

Los electrodos de bajo hidrógeno (5, 6, 8 último dígito de la clasificación) se usan en las aplicaciones en las que resulta perjudicial el hidrógeno. Pues producen depósitos de soldadura con muy bajos nivel de hidrógeno. Es necesario que cada tipo de electrodo sea almacenado, tratado y manejado en las condiciones específicas apropiadas, tanto la Tabla A2 de la especificación AWS A5.1 y cada fabricante establece estas condiciones; según la Tabla A2 de AWS A5.1 establece que para el electrodo E7018 no es recomendable que se exponga al aire ambiente, sino en hornos contenedores de 30°C hasta 250°C arriba de la temperatura ambiente; con condiciones de secado de 1 hasta 2 horas de temperaturas de 260°C a 427°C.

- Inspección de cada uno de los parámetros de acuerdo al código AWS D1.1-2010:

Proceso de soldadura. El proceso SMAW según la Tabla 3.1 págs. 64-67 y en la referencia 3.2.1 pág. 59 del código AWS D1.1-2010 establece que es un proceso precalificado.

Electrodo. En la Tabla 3.1 del código AWS D1.1-2010 pág. 64 indica que para el proceso SMAW el electrodo debe ser de la especificación AWS A5.1 o A5.5; de todas formas no podemos establecer que el electrodo E7018 cumpla con el estatus de precalificado debido a que el material base AISI 1010 no está incluido dentro de los grupos de materiales propuestos por el código. Lo que obliga a calificar el procedimiento mediante ensayos.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 4 de 11

Pre calentamiento. Según la Tabla 3.2 pág. 68 del código AWS D1.1-2010, se puede seleccionar el pre calentamiento en función del proceso de soldadura SMAW, la característica de bajo hidrógeno del electrodo y el espesor del material (el espesor mayor es 14mm de la columna) dando el pre calentamiento mínimo de 0°C.

Requerimientos generales. Según la Tabla 3.7 pág. 73 del código AWS D1.1-2010, verificamos las variables como:

- Diámetro máximo del electrodo 6.4mm (1/4 plg) para soldadura de filete en posición horizontal y 4.8mm (3/16 plg) para las posiciones vertical y sobre cabeza. Del manual del fabricante Indura pág. 27 se selecciona el diámetro del electrodo de 4mm (5/32 plg).
- Corriente máxima dentro del rango recomendado por el fabricante, para todas las soldaduras y todas las posiciones. El manual del fabricante Indura pág. 44 recomienda para el electrodo E7018 una corriente mínimo de 140 y máximo de 200 amperios. Se selecciona 180 amperios de corriente.
- Espesor máximo de pase de raíz 8mm (5/16 plg) para soldadura de filete en las posiciones horizontal y sobre cabeza, y 12mm (1/2 plg) para posición vertical. Se selecciona 8mm (5/16 plg) el espesor máximo de pase de raíz para el filete en todas las posiciones.
- Espesor máximo de pase de relleno 5mm (3/16 plg) para el filete en todas las posiciones. Se selecciona el espesor máximo del pase de relleno de 5mm (3/16 plg).
- Tamaño máximo de la soldadura de filete de pasada simple es 8mm (5/16 plg), para filete en posiciones horizontal y sobre cabeza, y 12mm (1/2 plg) para posición vertical. Se selecciona 8mm (5/16 plg) el tamaño máximo de la soldadura de filete de pasada simple.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 5 de 11

Requerimientos específicos. Tamaño mínimo del filete de soldadura, según la Tabla 5.8 pág. 209 del código AWS D1.1-2010, es de:

Tabla 27. Requerimientos específicos de los tamaños de los perfiles para las alas y las almas de los perfiles

Análisis de los tamaños de los filetes según Tabla 5.8 del código D1.1-2010		
Conexión		Tamaño mínimo del filete
VPR-R, VPR a CM-25	Espesor alas = 12mm	5mm
	E. bajo hidrógeno	
VPR-R, VPR a CM-25	Espesor alma = 6mm	3mm
	E. bajo hidrógeno	
VS-0 a VPR	Espesor alas = 10mm	5mm
	E. bajo hidrógeno	
VS-0 a VPR	Espesor alma = 4mm	3mm
	E. bajo hidrógeno	

Fuente: Tabla 5.8 del código AWS D1.1-2010 pág. 209

Como se puede ver en la Tabla 27 la amplia diferencia de espesores entre las alas y las almas de los perfiles impiden que se pueda realizar una sola WPS, y hace necesaria la calificación de 2 procedimientos mediante ensayos. Es así que se ha desarrollado dos WPS preliminares, una para la soldadura en las alas y otra para la soldadura de las almas, con la única diferencia en el espesor mínimo del filete como se detallará a continuación.

- Documentar por escrito los valores de la WPS preliminar (formato)

Para el próximo paso que es documentar por escrito las WPS's preliminares, se puede utilizar cualquier formato conveniente. Un formato de muestra es incluido en el Anexo N del código AWS D1.1-2010, pág. 354.

Se ha documentado por escrito dos procedimientos preliminares, los cuales se muestra al final de este procedimiento, denominados:

- WPS preliminar para calificar la soldadura de las alas de los perfiles.
- WPS preliminar para calificar la soldadura de las almas de los perfiles.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 6 de 11

2. Ensayos de calificación de la WPS

Calificación primaria. Una vez determinadas las WPS's preliminares se procede a calificarlas. Para la calificación del procedimiento se va a calificar solamente la WPS 2.1, para no confundir la metodología de calificación de una WPS.

En la Tabla 4.1 pág. 138 del código AWS D1.1-2010:

Definir:

- Las posiciones y el tipo de soldadura que se tiene que hacer en producción.
En producción se necesita hacer soldaduras de filete en las posiciones horizontal y sobre cabeza.

Escoger:

- Cómo y con qué cupón hacer las pruebas de calificación.
- Decidir el tipo de cupón (placa o tubo), la posición y el tipo de soldadura. Existen varias posibilidades para calificar el filete en la posición de H, V, OH, en la Tabla 28 se muestran todas las posibilidades que la Tabla 4.1 del código AWS D1.1-2010 permite para calificar la soldadura necesaria.

Tabla 28. Posibles tipos de cupones y posiciones de calificación para cubrir con los requerimientos de producción

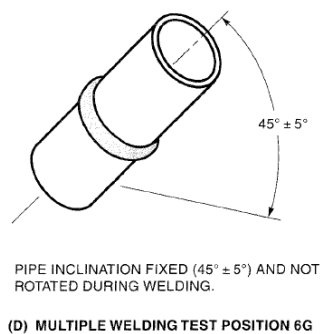
Para producción		Para calificación				
soldadura	posición		soldadura	posición		
Filete	H	placa	ranura	2G		
			filete	2F		
				2G		
		tubo	ranura	(2G + 5G), 6G, 6GR		
			OH	placa	ranura	4G
				filete	4F	
	V	placa	ranura	5G		
			ranura	(2G + 5G), 6G, 6GR		
			filete	3G		
		tubo	ranura	3F		
				5G		
			ranura	(2G + 5G), 6G, 6GR		

Fuente: Tabla 4.1 del código AWS D1.1-2010 pág. 138

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 7 de 11

Según la Tabla 4.2 del código AWS D1.1 no hay forma de calificar todas las posiciones necesarias para la producción con la calificación mediante un cupón de placa. O sea, si se desea calificar mediante un cupón de placa se necesitaran hacer 3 cupones de prueba, una para cada posición, y por ende se necesitaría hacer 3 procedimientos. Sin embargo, si se desea hacer la calificación mediante un cupón tubular se necesitaría hacer 1 cupón de prueba, pues esto califica todas las posiciones, soldando ya sea en (2G+5G), 6G o 6GR, y se necesitaría solo un procedimiento. Finalmente, se selecciona hacer la calificación con un cupón tubular soldado en la posición 6G.

Figura 48. Tipo de cupón y posición de calificación de la WPS 2.1



Fuente: Figura 4.4 del código AWS D1.1-2010 pág. 160

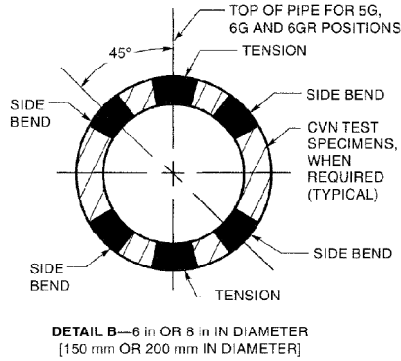
Tipos de soldadura para calificar la WPS 2.1. En la Tabla 4.2 págs. 139,140 del código AWS D1.1-2010. Para una calificación sobre tubo, con un espesor de placa en producción de mín. 3mm y máx. 14mm escoger:

- El cupón de prueba: Cupón tubular de diámetro nominal 600mm y espesor nominal de pared de 8mm.
- Número de especímenes: Los ensayos mecánicos estándar (en condiciones estándar) son: 2 ensayos de tracción con sección reducida, 2 ensayos de doblado de raíz y 2 ensayos de doblado de cara; dándonos 6 cupones de prueba.
- Rangos que se me autoriza a soldar en producción: mín. 3mm y máx. 16mm.

Tamaño de los cupones de prueba y localización de especímenes. Para los cupones tipo tubular de cañería o tubo en la Figura 4.7 pág. 163 del código AWS D1.1-2010.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 8 de 11

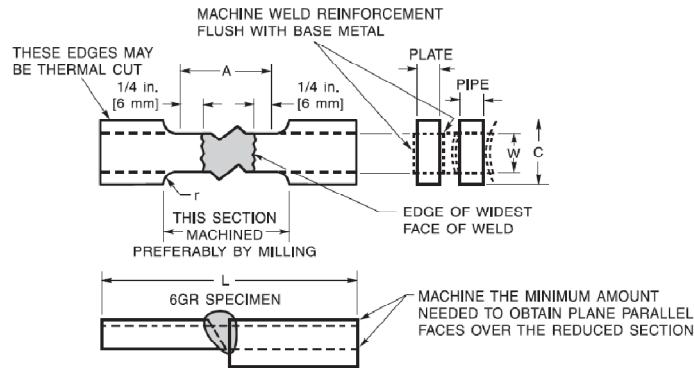
Figura 49. Localización de los especímenes sobre el cupón



Fuente: Figura 4.7 del código AWS D1.1-2010 pág. 163

Los tamaños de los especímenes. En la Figura 4.14 pág. 170 del código AWS D1.1-2010 están los requerimientos para los especímenes de prueba de sección reducida.

Figura 50. Tamaño del espécimen de tensión de sección reducida



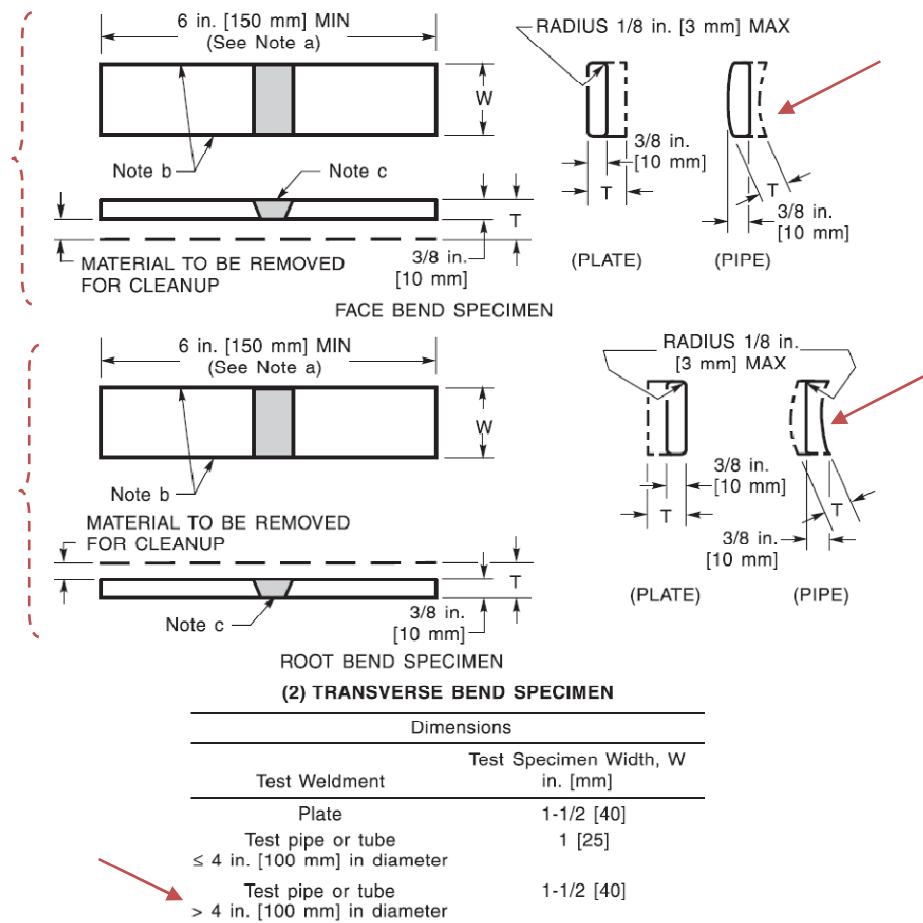
	Dimensions in inches [mm]				
	Test Plate Nominal Thickness, T_p			Test Pipe	
	$T_p \leq 1$ in. [25 mm]	1 in. [25 mm] < $T_p < 1\text{-}1/2$ in. [38 mm]	$T_p \geq 1\text{-}1/2$ in. [38 mm]	6 in. [150 mm] & 8 in. [200 mm] Diameter or Larger Job Size Pipe	2 in. [50 mm] & 3 in. [75 mm] Diameter
A—Length 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	$1/2 \pm 0.01$ (12 \pm 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 6)	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]

Fuente: Figura 4.14 del código AWS D1.1-2010 pág. 170

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 9 de 11

En la Figura 4.12 pág. 168 del código AWS D1.1-2010 están los requerimientos para los especímenes de prueba de doblado en cara y raíz, debido a que el cupón de pruebas es tubular se concluye que no puede ser doblado longitudinal sino transversal.

Figura 51. Tamaño de los especímenes de doblado de cara y de raíz



Fuente: Figura 4.12 del código AWS D1.1-2010 pág. 168

3. Requerimientos generales

El material del cupón es acero AISI 1010, como se puede ver en las Tablas 3.1 y 4.9 pags.64, 148,149 del código AWS D1.1-2010 el acero AISI 1010 no consta en sus listas, y según la Tabla 4.8 pág. 147 del código AWS D1.1-2010 el acero que no está en sus listas primero debe ser aprobado por el ingeniero y calificado. Se usa el acero AISI 1010 debido a que es muy frecuente que los perfiles se realicen a partir de estas planchas.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 10 de 11

4. *Ensayos de soldadura (calificación del cupón de prueba)*

Primera parte: Hacer el cupón y soldar según el procedimiento preliminar.

Segunda parte: Como es soldadura de ranura se hace VT, END (UT), ensayos mecánicos de la siguiente manera:

- Inspección visual según 4.9.1 pág. 127 del código AWS D1.1-2010. Los criterios que interesan para este ejemplo son:
 - Cualquier fisura es inaceptable.
 - Todos los cráteres deben ser llenados.
 - Los refuerzos de las soldaduras no deben exceder de 3mm.
 - El socavamiento no debe exceder de 1mm, la raíz de una soldadura de ranura no debe tener fisuras, fusión incompleta, o penetración inadecuada.
- Ensayos no destructivos END (4.9.2 pág. 128 del código AWS D1.1-2010). Se escoge hacer el ensayo no destructivo mediante la técnica de ultrasonido, antes de preparar las probetas para ensayos mecánicos. El procedimiento de inspección se desarrolla según la sección 6 pág. 219 del código AWS D1.1-2010, y en el capítulo 5 de éste proyecto se hace un estudio minucioso sobre este tema. Los criterios de aceptación están especificados en la parte C, sección 6 del código AWS D1.1-2010.
- Ensayos mecánicos (4.9.3 pág. 128 del código AWS D1.1-2010). Como se definió anteriormente se harán 6 ensayos mecánicos, 2 de tensión de sección reducida, 2 de doblado transversal de cara y 2 de doblado transversal de raíz. Los criterios de aceptación para el ensayo de doblado según la referencia 4.9.3.3 pág. 128 del código AWS D1.1-2010, se tiene que la superficie no debe contener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:
 - 3mm medidos en cualquier dirección de la superficie.
 - 10mm la suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan 1mm, pero menores a 3mm.
 - 6mm máximo la fisura de esquina.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	WPS-calificada	Rev. 0
		Página 11 de 11

Criterio de aceptación para el ensayo de tensión de sección reducida según la referencia 1.9.3.5 pág. 128 del código AWS D1.1-2010 establece que:

$S_{u\text{probeta}} \geq S_{u\text{min especificada del metal base}}$, sin importar donde se rompa. Puede ser en el material base, ZAT o en el metal de aporte.

Conclusión: Para calificar la WPS preliminar de manera estándar se ha necesitado hacer la VT, el EDN mediante la técnica de ultrasonido, 4 ensayos de doblado (2 de cara y 2 de raíz) y 2 ensayos de tracción.

5. Escritura de las WPS finales de PQR exitosos

Los resultados de los ensayos son registrados en el PQR mediante los formularios de ejemplo del Anexo N pág. 353 del código AWS D1.1-2010.

Si los resultados de los ensayos presentan todos los requerimientos prescritos, el ensayo es exitoso y los procedimientos de soldadura pueden estar soportados por un PQR. Si los resultados del ensayo son desafortunados, el PQR no puede ser usado para respaldar la WPS.

Resta simplemente la documentación del formulario que se hace en los formularios de ejemplo del Anexo N pág. 353 del código AWS D1.1-2010.

El PQR queda de la siguiente manera:

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

WPS-preliminar para calificar la soldadura de las ALAS de los perfiles

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

PRELIMINAR

Nombre de la Empresa: <u>TESIS</u> Proceso de Soldadura: <u>SMAW</u> PQR de apoyo No.(s): <u>-----</u>	Número de Identificación: <u>WPS 2.1</u> Revisión: _____ Fecha: _____ Por: _____ Autorizado por: _____ Fecha: _____ Tipo ----- Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/>
DISEÑO DE JUNTA USADO Tipo de junta: <u>en T</u> Tipo de soldadura: <u>Filete</u> Soldadura de un solo lado <input type="checkbox"/> de ambos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de Respaldo: <u>-----</u> Abertura de raíz: <u>-----</u> Tamaño cara de raíz: <u>-----</u> Ángulo de ranura: <u>-----</u> Radio (J-U): <u>-----</u> Repelado de raíz: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Método: <u>-----</u>	POSICIÓN Posición de la Ranura: <u>-----</u> Filete: <u>H, OH</u> Progresión vertical: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
METAL BASE Especificación del material: <u>AISI 1010</u> Tipo o Grado: <u>extruido en frío</u> Espesor: Ranura: <u>-----</u> Filete: <u>5 a 8 mm</u> Diámetro (tubo): <u>-----</u> Espesor (Plancha): <u>14 mm</u>	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rociado (Spray) <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/> Corriente: CA <input type="checkbox"/> CDEP <input checked="" type="checkbox"/> CDEN <input type="checkbox"/> Fuente de Poder: CC <input checked="" type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/> Otro <u>-----</u> Electrodo de Tungsteno (GTAW) Tamaño: <u>-----</u> Tipo: <u>-----</u>
METALES DE RELLENO Especificación AWS: <u>AWS A 5.1</u> Clasificación AWS: <u>E 7018</u>	TÉCNICA Cordón recto u oscilante: <u>Ambos/ oscilación máx. 3Øelectrodo</u> Pasada múltiple o pasada única (por lado): <u>ambos</u> Número de Electrodo(s): <u>simple</u> Separación de Electrodo(s): Longitudinal: <u>-----</u> Lateral: <u>-----</u> Angular: <u>-----</u> Distancia del tubo de contacto a la pieza: <u>-----</u> Martillado: <u>no está permitido</u> Limpieza entre pasadas: <u>cepillo manual o motorizado</u>
PROTECCIÓN Fundente: <u>-----</u> Gas: <u>-----</u> Composición: <u>-----</u> Electrodo Fundente: <u>---</u> Veloc. de Flujo: <u>-----</u> Tamaño copa de Gas: <u>-----</u>	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Temperatura: <u>-----</u> Tiempo: <u>-----</u>
PRECALENTAMIENTO Temp. de precalentamiento, Mín.: <u>0 °C</u> Temp. entre pasadas, Mín.: <u>según se suelde</u> Máx.: <u>según se suelde</u>	

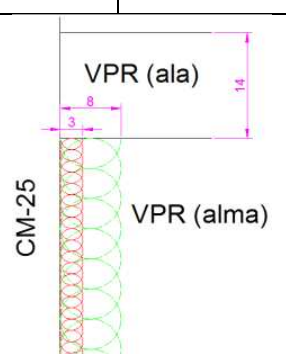
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	SMAW	E7018	4	DC-EP	180 Amp.			

WPS-preliminar para calificar la soldadura de las ALMAS de los perfiles

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

PRELIMINAR

Nombre de la Empresa: <u>TESIS</u> Proceso de Soldadura: <u>SMAW</u> PQR de apoyo No.(s): <u>-----</u>	Número de Identificación: <u>WPS 2.2</u> Revisión: _____ Fecha: _____ Por: _____ Autorizado por: _____ Fecha: _____ Tipo ----- Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/>
DISEÑO DE JUNTA USADO Tipo de junta: <u>en T</u> Tipo de soldadura: <u>Filete</u> Soldadura de un solo lado <input type="checkbox"/> de ambos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de Respaldo: <u>-----</u> Abertura de raíz: <u>-----</u> Tamaño cara de raíz: <u>-----</u> Ángulo de ranura: <u>-----</u> Radio (J-U): <u>-----</u> Repelado de raíz: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Método: <u>-----</u>	POSICIÓN Posición de la Ranura: <u>-----</u> Filete: <u>Vertical</u> Progresión vertical: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
METAL BASE Especificación del material: <u>AISI 1010</u> Tipo o Grado: <u>extruido en frío</u> Espesor: Ranura: <u>-----</u> Filete: <u>3 a 8 mm</u> Diámetro (tubo): <u>-----</u> Espesor (Plancha): <u>6 mm</u>	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto Circuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Rociado (Spray) <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/> Corriente: CA <input type="checkbox"/> CDEP <input checked="" type="checkbox"/> CDEN <input type="checkbox"/> Fuente de Poder: CC <input checked="" type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/> Otro <u>-----</u> Electrodo de Tungsteno (GTAW) Tamaño: <u>-----</u> Tipo: <u>-----</u>
METALES DE RELLENO Especificación AWS: <u>AWS A 5.1</u> Clasificación AWS: <u>E 7018</u>	TÉCNICA Cordón recto u oscilante: <u>Ambos/oscilación máx. 2.5Øelectrodo</u> Pasada múltiple o pasada única (por lado): <u>ambos</u> Número de Electrodo(s): <u>simple</u> Separación de Electrodo(s): Longitudinal: <u>-----</u> Lateral: <u>-----</u> Angular: <u>-----</u> Distancia del tubo de contacto a la pieza: <u>-----</u> Martillado: <u>no está permitido</u> Limpieza entre pasadas: <u>cepillo manual o motorizado</u>
PROTECCIÓN Fundente: <u>-----</u> Gas: <u>-----</u> Composición: <u>-----</u> Electrodo Fundente: <u>---</u> Veloc. de Flujo: <u>-----</u> Tamaño copa de Gas: <u>-----</u>	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Temperatura: <u>-----</u> Tiempo: <u>-----</u>
PRECALENTAMIENTO Temp. de precalentamiento, Mín.: <u>0 °C</u> Temp. entre pasadas, Mín.: <u>según se suelde</u> Máx.: <u>según se suelde</u>	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	SMAW	E7018	4	DC-EP	180 Amp.			

El PQR queda de la siguiente manera

REGÍSTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)

Nombre de la Empresa: TESIS
 Proceso de Soldadura: SMAW
 PQR de apoyo No.(s): -----

Número de Identificación: PQR 2.1
 Revisión: Fecha: Por:
 Autorizado por: Fecha:
 Tipo ----- Manual Semiautomática
 Máquina Automática

DISEÑO DE JUNTA USADO B-U2
 Tipo de junta: a Tope Tipo de soldadura: Ranura en V
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: -----
 Abertura de raíz: 0 a 3mm Tamaño cara de raíz: 0 a 3mm
 Ángulo de ranura: 60° Radio (J-U): -----
 Repelado de raíz: Si No Método: -----

POSICIÓN
 Posición de la Ranura: 6 G Filete: -----
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE
 Especificación del material: AISI 1010
 Tipo o Grado extruido en frío
 Espesor: Ranura: 3 a 16 mm Filete: -----
 diámetro (tubo): 600 mm Espesor: 8 mm

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
 Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEP
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro -----
Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: -----
 Tipo: -----

METALES DE RELLENO
 Especificación AWS: AWS A 5.1
 Clasificación AWS: E 7018

TÉCNICA
 Cordón recto u oscilante: Ambos/ oscilación máx. 2.5Øelectrodo
 Pasada múltiple o pasada única (por lado): ambos
 Número de Electrodo(s): simple
 Separación de Electrodo(s): Longitudinal: -----
 Lateral: -----
 Angular: -----
 Distancia del tubo de contacto a la pieza: -----
 Martillado: no está permitido
 Limpieza entre pasadas: cepillo manual o motorizado

PROTECCIÓN
 Fundente: ----- Gas: -----
 Composición: -----
 Electrodo Fundente: --- Veloc. de Flujo: -----
 Tamaño copa de Gas: -----

PRECALENTAMIENTO
 Temp. de precalentamiento, Mín.: 0 °C
 Temp. entre pasadas, Mín.: según se suelde Máx.: según se suelde

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA
 Temperatura: -----
 Tiempo: -----

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	SMAW	E7018	4	DC-EP	180 Amp.			

REGÍSTR0 DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) # 2.1

Resultado de los Ensayos

ENSAYO DE TRACCIÓN

Espécimen No.	Ancho	Espesor	Área	Carga de Tensión Última, lb	Resistencia a la tracción, psi	Tipo de falla y localización
2.1-1						
2.1-2						

ENSAYO DE DOBLADO GUIADO

Espécimen No.	Tipo de Doblado	Resultado	Observaciones
2.1-3	CARA		
2.1-4	CARA		
2.1-5	RAÍZ		
2.1-6	RAÍZ		

INSPECCIÓN VISUAL

Apariencia _____
 Socavación _____
 Porosidad Vermicular _____
 Convexidad _____
 Fecha de Ensayo _____
 Inspeccionado por _____

Ensayo ultrasónico-radiográfico

RT informe No: _____ Resultado: _____
 US informe No: _____ Resultado: _____

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE SOLDADURA DE FILETE

Tamaño mínimo de pasada múltiple, Macrografía
 1. _____ 2. _____ 3. _____
 Tamaño máximo de pasada múltiple, Macrografía
 1. _____ 2. _____ 3. _____

Otros Ensayos

Ensayo de tracción de metal de soldadura

Resistencia a la tracción, psi _____
 Límite de fluencia, psi _____
 Alargamiento porcentual de rotura en 50mm (%) _____
 Laboratorio de ensayo No. _____

Nombre del Soldador: _____
 Ensayos dirigidos por: _____

Hora no. _____ Estampa no. _____
 Laboratorio _____

Número de Ensayo PQR 2.1

Por _____

Los abajo firmantes, certificamos que lo expuesto en estos registros es correcto y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Capítulo 4 del código AWS D1.1/D1.1M, (2010) Código de Soldadura Estructural-Acero. Año

Firmado _____

Fabricante o contratista

Por _____

Título _____

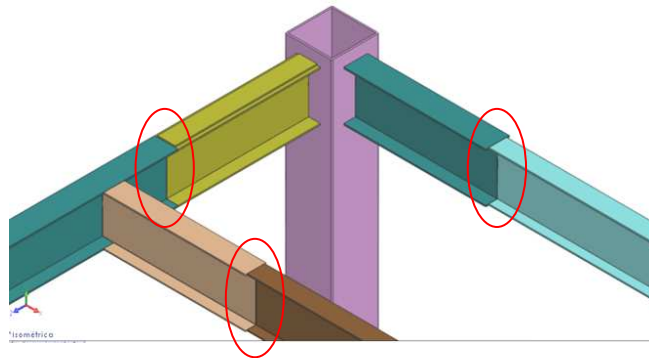
Fecha _____

6.3 Calificación del personal de soldadura – WPQ

La calificación de soldadores se desarrollará: en los mismos ejemplos del párrafo 6.2 de éste proyecto, bajo los mismos requerimientos de fabricación y producción para sus WPS realizadas, y para la misma estructura metálica de la Platinum Plaza Club & Condominio mostrada en la Figura 38 de este proyecto.

6.3.1 *Aplicación del procedimiento-guía de calificación del personal de soldadura.* Para las WPS's desarrolladas en el párrafo 6.2 de este proyecto se propone establecer la calificación del soldador tanto para la WPS precalificada como la calificada. Por lo tanto se procederá a hacer el análisis correspondiente para la calificación de la habilidad del personal en las WPS's realizadas para las siguientes conexiones.

Figura 52. Conexiones del pórtico crítico a realizarse en el taller



Fuente: Autor

Situación 1 (caso de aplicación). En el taller se desea fabricar los perfiles VPR-R, VPR, VP, VS-0, VS1 desde planchas de acero estructural ASTM A36, para luego proceder a unirlos entre las vigas VPR-R_VPR, VP_VPR, y VS-0_VS-1, mediante el proceso GMAW, en la posición plana para la soldadura de ranura y en la posición horizontal para la soldadura de filete. Estos perfiles forman parte de la estructura metálica del edificio y corresponden a las conexiones soldadas de las zonas críticas, para los cuales se desarrolló los WPS precalificados.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 1 de 6

Documentos de referencia

Los requerimientos para las pruebas de calificación de las WPQ calificadas mediante ensayos están descritas en:

- AWS D1.1-2010. Sección 4. Parte C.

Definiciones

WPQ: Calificación del personal de soldadura.

WPQR: Registro de calificación del personal de soldadura.

Personal de soldadura: Es el soldador, operario, y/o el armador.

Personal

La persona que elaboró las WPQR y registró los datos en el formato es quien desarrolló éste proyecto. La persona que supervisó la WPQ tiene calificación ASNT nivel II.

Procesos. Siguiendo las guías para preparar la calificación del desempeño del personal de soldadura tenemos:

1. WPS para la calificación

En función de demostrar que el soldador tiene la capacidad y habilidad para ejecutar las soldaduras hechas referencia, se establece la WPS con la cual se va a calificar al soldador, ésta es:

- WPS 1.3 PCS

Esta WPS se desarrolla según los procedimientos correspondientes, está básicamente en función de las posiciones de soldadura de producción calificado, y de los diámetros y espesores de producción necesarios. Como, con las WPS's-precalificadas anteriormente no se puede calificar al soldador para todas las posiciones necesarias para su producción, se ha decidido desarrollar una nueva WPS-precalificada que cubra todas las posiciones necesarias de producción con un solo procedimiento.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 2 de 6

2. *Ensayos de calificación de habilidad*

Análisis primario:

- Obtención de la WPS a utilizarse en la obra. Como se puede ver en la situación 1 de éste proyecto hay 2 WPS's precalificadas, la WPS 1.1 y la WPS 1.2.
- Analizar las posiciones que se necesitan en producción y el tipo de junta de soldadura. En producción se necesitan hacer soldaduras de ranura y filete.
 - Posición de ranura: Plana.
 - Posición de filete: Horizontal.

Calificación primaria:

- Ver en la Tabla 4.11 págs. 151-154 del código AWS D1.1-2010
 - Si el tipo de junta de soldadura que se requiere está considerado y en qué tipo de junta de calificación.
La junta de ranura tipo CJP sí está considerado, y su calificación, califica a las soldadura de filete.
La junta de ranura tipo CJP, se puede calificar en tubo con soldaduras de ranura.
- Elegir en la Tabla 4.10 pág. 150 del código AWS D1.1-2010
 - El tipo de soldadura y el tipo de geometría del material (placa o tubular).
Se puede apreciar en esta tabla que si un soldador se califica en placa en la posición 1G, esto le permite soldar en producción placas con: soldaduras de ranuras en la posición plana, y soldaduras de filete en la posición plana y horizontal.
Se elige cupón tipo placa, soldadura de ranura, y posición 1G.
- Entrar en la Tabla 4.11 págs. 151-154 del código AWS D1.1-2010 con las siguientes consideraciones, entrar con:
 - El tipo de geometría de la probeta de calificación: Placa.
 - El tipo de junta de soldadura que se requiere en producción: Ranura y Filete.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 3 de 6

- El tipo de soldadura elegido para la calificación (de la Tabla 4.10): Ranura.
- Considerar además el espesor requerido de la placa para su producción: 12mm.

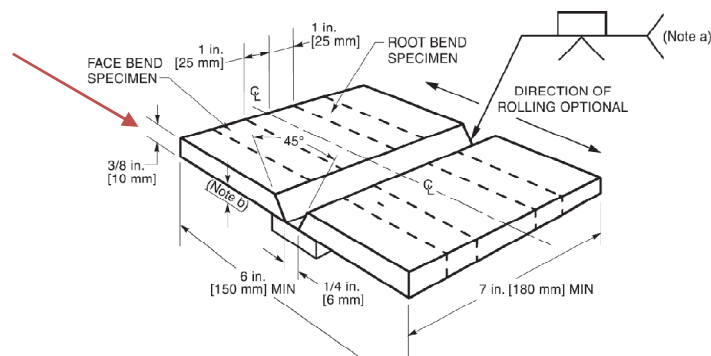
Analizando la Tabla 4.11 del código según las consideraciones anteriores se tiene que con un espesor nominal de la placa de 10mm se califica al soldador para que en producción realice soldaduras en placa de un espesor mínimo de 3mm hasta un máximo de 20mm que es suficiente para nuestros requerimientos. De esta manera se determina:

- Espesor de la placa = 10mm.
- Requerimientos Específicos = Figura. 4.31 o 4.32 (del código)
- Tipo y número de especímenes de ensayo:
 - Un ensayo de doblado de cara.
 - Un ensayo de doblado de raíz.
 - o, dos ensayos de doblado de lado en lugar de las dos anteriores.

Cupones y especímenes de prueba. Se determinará el cupón de ensayo según la Figura 4.31 o 4.32 del código AWS D1.1-2010, y los especímenes de doblado de raíz y de doblado de cara según la Figura 4.12 pág. 168 del código AWS D1.1-2010.

Requerimientos específicos de los cupones de ensayo. Según la Tabla 4.11 del código, estos requerimientos se especifican en las Fig. 4.31 o 4.32 del código AWS D1.1-2010.

Figura 53. Cupones de ensayo



Fuente: Figura 4.31 y 4.32 del código AWS D1.1-2010 pág. 184

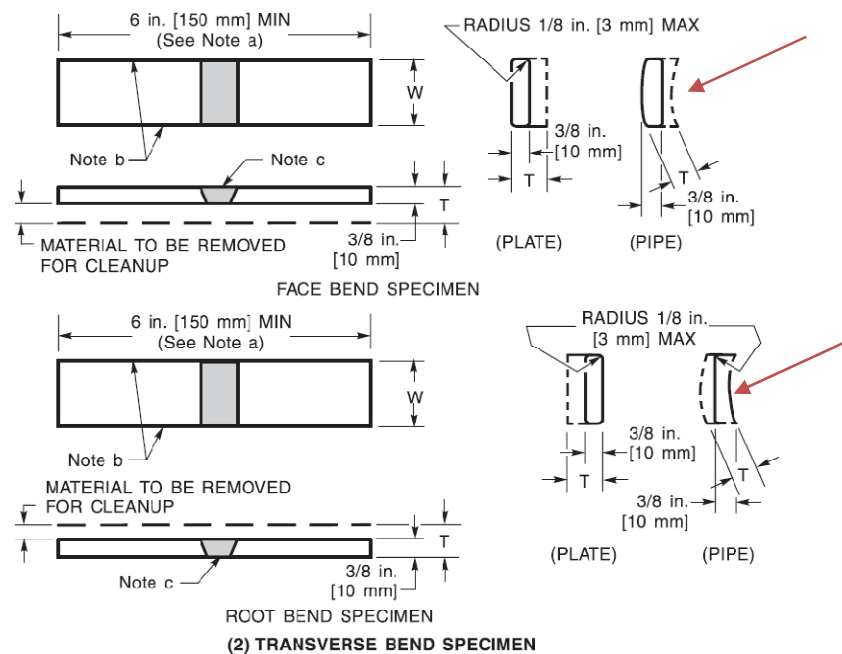
	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 4 de 6

Se selecciona:

- La placa de prueba de la Figura 4.31 pág. 184 del código AWS D1.1-2010., pues ésta placa es para todas las posiciones.

Tipo y número de especímenes de ensayo de doblado:

Figura 54. Especificaciones del ensayo de doblado



(2) TRANSVERSE BEND SPECIMEN

Dimensions	
Test Weldment	Test Specimen Width, W in. [mm]
Plate	1-1/2 [40]
Test pipe or tube ≤ 4 in. [100 mm] in diameter	1 [25]
Test pipe or tube > 4 in. [100 mm] in diameter	1-1/2 [40]

Fuente: Figura 4.12 del código AWS D1.1-2010 pág. 168

Hay que analizar si se hace ensayos de doblado longitudinal o transversal, los ensayos de doblado longitudinal se los realiza cuando los metales base son diferentes, pero en nuestro caso los metales base son iguales (acero A36) por lo cual:

Se selecciona:

- Especímenes de ensayo de doblado transversal.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 5 de 6

3. *Requerimientos generales*

Estos requerimientos se los debe tomar en consideración cuando se desea hacer variaciones o analizar rangos en las variables esenciales de un WPQR calificado, o cuando se desea dar rangos de aplicabilidad a la WPQR, cuando la misma está en proceso de calificación.

Como en esta calificación no hay problema en cuanto al proceso de soldadura, a la posición, espesor del cupón, entonces, se da por aceptada esas variables esenciales. Una variable esencial es la omisión del respaldo, esto quiere decir que, si en el ensayo del WPQR sí se utiliza respaldo, entonces, no se puede utilizar el mismo WPQR para soldar en producción sin respaldo. Esta WPQR requiere recalificación si se desea soldar sin respaldo en producción. Por lo cual se concluye que el cupón se soldará sin respaldo.

4. Ensayos de soldadura

Primera parte:

- Hacer el cupón y soldar según diga el procedimiento seleccionado.

Después de que la plancha de ensayo es soldada y enfriada, es sometida a:

Segunda parte: En esta parte se visualiza ampliamente como el código AWS D1.1-2010 manda a realizar los ensayos de calificación.

La calificación del soldador se la realizará de la manera estándar. Esto quiere decir, que una vez soldado y enfriado el cupón, se realizará el ensayo visual al cupón, luego se procede a separar los dos especímenes de ensayo, finalmente se realizará el ensayo de doblado según un procedimiento de ensayo.

	PROCEDIMIENTO-GUÍA	
	Referencia: Código AWS D1.1-2010	Fecha: 12-Nov-12
	Calificación de la Habilidad de Soldadores WPQR-calificada	Rev. 0
		Página 6 de 6

- Inspección visual (4.31.1 pág. 134 del código AWS D1.1-2010). Los criterios de aceptación para la inspección visual se dan en la referencia 4.9.1 pág. 127 del código AWS D1.1-2010, igual a la calificación de la WPS.
- Doblado de cara, raíz y lado (4.31.5 pág. 135 del código AWS D1.1-2010). Los criterios de aceptación son los mismos que para las WPS, es decir según la referencia 4.9.3.3 pág. 128 del código AWS D1.1-2010. En esta calificación de habilidad No es posible hacer doblado longitudinal.

De ésta manera se ha cumplido con todos los requerimientos especificados por el código AWS D1.1-2010, para la calificación del personal de soldadura, sea este, soldador, operario de soldadura o armador. Con todo lo analizado hasta aquí el personal quedaría calificado mediante un WPQR respectivo, restando la realización del formulario que se puede hacer mediante el Formulario N.4 de ejemplo del Anexo N pág. 361 del código AWS D1.1-2010.

5. Escritura de las WPQR

Los resultados de los ensayos son registrados en el WPQR de acuerdo con el código AWS D1.1-2010. Si los resultados de los ensayos presentan todos los requerimientos prescritos, el ensayo es exitoso y el personal de soldadura queda habilitado para soldar bajo los requerimientos de esa WPS.

Formato del WPQR

	Elaborado por:	Aprobado por:
Cargo:		
Persona:	A. Caisaguano	M. Pástor
Firma:		

WPS para calificar la habilidad del soldador

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la Empresa: <u> TESIS </u> Proceso de Soldadura: <u> GMAW </u> PQR de apoyo No.(s): <u> ----- </u>	Número de Identificación: <u> WPS 1.4 PCS </u> Revisión: <u> </u> Fecha: <u> </u> Por: <u> </u> Autorizado por: <u> </u> Fecha: <u> </u> Tipo ----- Manual <input type="checkbox"/> Semiautomática <input checked="" type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/>
--	--

DISEÑO DE JUNTA USADO

Tipo de junta: a Tope Tipo de soldadura: Ranura en V
 Soldadura de un solo lado de ambos lados
 Respaldo: Si No
 Material de Respaldo: -----
 Abertura de raíz: 6mm Tamaño cara de raíz: 0mm
 Ángulo de ranura: 45° Radio (J-U): -----
 Repelado de raíz: Si No Método: -----

POSICIÓN

Posición de la Ranura: 1 G Filete: -----
 Progresión vertical: Ascendente Descendente

METAL BASE

Especificación del material: ASTM A36
 Tipo o Grado: -----
 Espesor: Ranura: ----- Filete: -----
 Diámetro (tubo): ----- Espesor: 10 mm

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Modo de Transferencia (GMAW)
 Corto Circuito Globular
 Rociado (Spray) Pulsado
 Corriente: CA CDEP CDEP
 Fuente de Poder: CC CV
 Otro -----
Electrodo de Tungsteno (GTAW)
 Tamaño: -----
 Tipo: -----

METALES DE RELLENO

Especificación AWS: AWS A 5.18
 Clasificación AWS: ER 70S-6

TÉCNICA

Cordón recto u oscilante: Ambos/ oscilación máx. 3Øelectrodo
 Pasada múltiple o pasada única (por lado): ambos
 Número de Electrodo(s): simple
 Separación de Electrodo(s): Longitudinal: -----
 Lateral: -----
 Angular: -----
 Distancia del tubo de contacto a la pieza: -----
 Martillado: no está permitido
 Limpieza entre pasadas: cepillo manual o motorizado

PROTECCIÓN

Fundente: ----- Gas: CO2
 Composición: -----
 Electrodo Fundente: --- Veloc. de Flujo: 14-16 lt/min
 Tamaño copa de Gas: -----

PRECALENTAMIENTO

Temp. de precalentamiento, Mín.: 0 °C
 Temp. entre pasadas, Mín.: según se suelde Máx.: según se suelde

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Temperatura: -----
 Tiempo: -----

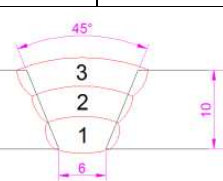
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje V	Velocidad de Avance	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperes o Velocidad de Alimentación de Alambre			
1	GMAW	ER 70S-6	1.6	DC-EP	250 Amp.	30 V		
2	GMAW	ER 70S-6	1.6	DC-EP	250 Amp.	30 V		
3	GMAW	ER 70S-6	1.6	DC-EP	250 Amp.	30 V		

Figura 4.31 del código AWS D1.1-2010

REGÍSTR0 DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE SOLDADORES, OPERARIOS, O ARMADORES

Tipo de Soldador: _____ Soldador _____
 Nombre: _____ J. P. Identificación No.: _____
 Especificación de Procedimiento de Soldadura. No.: WPS 1.4 PCS Revisión: _____ Fecha: _____

Variables	Registro de valores actuales Usados en calificación	Rango Calificado
Proceso/tipo	GMAW	N. A.
Electrodo (simple o múltiple)	N. A.	
Corriente/polaridad	CD - EP	
Posición	1 G	Ranura: F. : Filete: F, H
Progresión de soldadura	-----	-----
Respaldo	NO	SI y NO
Material/especificación	A 36 a A 36	3 mm a 20mm
Metal base		
Esesor: (placa)		
Ranura	10mm	
Filete	3 mm a ilimitado	
Esesor (tubo)		
Ranura	-----	
Filete	-----	
Diámetro (tubo)	-----	
Ranura	-----	
Filete	-----	
Metal de aporte		N. A.
Especificación No.	AWS A5.18	
Clase ER 70S-6		
Número F.	N. A.	
Tipo de protección/gas	CO2	
Otro	-----	

INSPECCIÓN VISUAL			
Acceptable Si o No <u>SI</u>			
Resultado de Ensayo de Doblado Guiado			
Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
CARA	ACEPTABLE		
RAÍZ	ACEPTABLE		
Resultado de Ensayo de Filete			
Apariencia	-----	Tamaño del Filete	-----
Ensayo de Fractura de Penetración de Raíz	-----	Macroataque	-----
(Describe la localización, naturaleza, y tamaño de cualquier crack o tearing del espécimen.)			

Inspeccionado por: _____ Número de Ensayo: _____
 Organización _____ Fecha: _____

RESULTADO DE ENSAYO RADIOGRÁFICO					
Identificación de la Película			Identificación de la Película		
Número	Resultado	Observaciones	Número	Resultado	Observaciones
----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----

Inspeccionado por: _____ Número de Ensayo: _____
 Organización _____ Fecha: _____

Los abajo firmantes, certificamos que lo expuesto en estos registros es correcto y que las soldaduras fueron preparadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Capítulo 4 del código AWS D1.1/D1.1M, (2010) Código de Soldadura Estructural-Acero. Año

Contratista o Fabricante: _____ Autorizado por: _____
 Fecha: _____

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se desarrolló una metodología para una adecuada comprensión del código AWS D1.1-2010, y en función de esto se ha podido realizar los procedimientos-guía para:

- Las WPS's precalificadas y calificadas.
- La calificación de la habilidad del personal de soldadura.
- El control de calidad de soldaduras de producción en estructuras de acero.
- Los criterios de aceptación para inspección de soldadura para los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, y ultrasonidos.
- La inspección de soldadura en una estructura soldada, para los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, y ultrasonidos.

Se realizó un sistema de procedimientos para el control de calidad de las soldaduras de producción, las mismas que se deben usar de forma paralela. Los procedimientos del sistema son:

- El procedimiento de control de calidad.
- El procedimiento de criterios de aceptación para el método en particular.
- El procedimiento de inspección para el método correspondiente.

Se elaboraron instructivos para el llenado de los siguientes formatos:

- Las WPS's precalificadas y calificadas.
- La calificación de la habilidad del personal de soldadura.
- La inspección de la soldadura, para los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonidos.

7.2 Recomendaciones

Realizar los siguientes trabajos complementarios y aplicativos:

- Aplicación del código AWS D1.1-2010 en la elaboración de procedimientos de soldadura para la fabricación y montaje de una estructura (en particular).
- Aplicación del código AWS D1.1-2010 en la calificación del personal de soldadura que se encargara de la fabricación y montaje de una estructura (en particular).
- Aplicación del código AWS D1.1-2010 en el control de calidad de la soldadura en la fabricación y montaje de una estructura (en particular).

Adaptar los procedimientos-guía para la aplicación específica necesaria en la práctica, debido a que los procedimientos-guía son desarrollados para un uso generalizado de aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, Cristhian y Figueroa Alfer. 2008. *Análisis Técnico-Económico entre Proyectos de Construcción de Estructura Metálica y Hormigón Armado para Edificios. TESIS.* Quito : Biblioteca. EPN, 2008.

ARELLANO, Roberto. 1998. *Diseño de Estructuras de Acero, Parte I. 2a. Ed. .* Quito : Editorial EPN, 1998.

AWS A2, Committee A2 on Definitions and Symbols. 1993. *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination.* USA : Annual Book of ASTM Standards, 1993. 4ta. Ed..

AWS D1, Committee on Structural Welding. 2010. *ANSI/AWS D1.1:D1.1M-2010. Structural Welding Code-Steel.* USA : Ed. USA: Annual Book of ASTM Standards, 2010. 22nd.

BONILLA, Galo y Rueda Cristian. 2006. *Optimización de los procesos en la construcción de Estructuras Metálicas de Edificios. TESIS.* Quito : Biblioteca. EPN, 2006.

BRESLER, Boris. 1970. *Diseño de Estructuras de Acero. Traducido del inglés por Enrique Martínez Romero. 2a. Ed. .* México : Editorial Limusa-Wiley, S.A., 1970.

BROCKENBROUGH, Roger. 1970. *Manual de Diseño de Estructuras de Acero. Traducido del inglés por Alfonso Ramírez Rivera. 2a. Ed.* Colombia : McGraw-Hill, 1970.

CHAN, Pozo Ma. Angélica. 2005. *Calificación de Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales. TESIS.* Guayaquil : Biblioteca. ESPOL, 2005.

HIDALGO, Darwin y Lozada Hugo. 2007. *Cálculo y Análisis del Régimen de Soldadura para el Proceso SMAW en Aceros al Carbono y Aleados y la Implementación del Software de Aplicación. TESIS.* Quito : Biblioteca. EPN, 2007.

MENDOZA, William José. 2010. *Especificación de Procedimientos de Soldadura W.P.S. según Código D1.1-2010 A.N.S.I. /A.W.S. Manual de referencia.* 2010.

MINILO, Carlos Oliva. 2007. *Inspectores de Soldadura AWS QC1:2007. Chile.* Chile : Inchisol, 2007.

NARANJO, Carlos. 2011. *Calificación de soldaduras y soldadores según la sección IX del código ASME. Manual de referencia.* Sangolqui : s.n., 2011.

PÁSTOR, Mario. 2002. *Introducción a la Metalurgia de la soldadura.* Riobamba-Ecuador : Editorial Espoch, 2002.

ROMERO, José. *Manejo teórico-práctico del código ASME Sección IX. Manual de referencia.*

VILLACRÉS, Christian. 2009. *Implementación de un Sistema de Inspección para Control de Calidad de Soldaduras en Estructura Metálica con el uso de Ensayos no Destructivos para la Empresa INENDEC. TESIS.* Sangolqui : Biblioteca. ESPE, 2009.

ZAPATA, Alberto. 2004. Parámetros para la elaboración de estándares de soldadura. REVISTA. *Revista Scientia et Technica.* Pereira UTP : Biblioteca UTP, 2004. Vol. 1, 24. ISSN 0122-1701.