



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**“VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA AWS D1.1
EN LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS
METÁLICAS DE ALTURA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE
QUITO”**

AUTOR: GUARDERAS MOROCHO VÍCTOR HUGO

DIRECTOR: ING. NARANJO GUATEMALA CARLOS RODRIGO. MSc

CODIRECTOR: ING. SALAZAR TORRES ANGELITA VERNABE MSc

SANGOLQUI

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA AWS D1.1 EN LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE ALTURA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**" realizado por el señor **VÍCTOR HUGO GUARDERAS MOROCHO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **VÍCTOR HUGO GUARDERAS MOROCHO** para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 25 de enero del 2016

ING. CARLOS RÓDRIGO NARANJO GUATEMALA MSC
DIRECTOR

ING. ANGELITA VERNABE SALAZAR TORRES MSC
CODIRECTORA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **VÍCTOR HUGO GUARDERAS MOROCHO**, con cédula de identidad N° 1717116790, declaro que este trabajo de titulación "**VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA AWS D1.1 EN LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE ALTURA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 25 de enero del 2016

VÍCTOR HUGO GUARDERAS MOROCHO
C.C. 1717116790



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **VÍCTOR HUGO GUARDERAS MOROCHO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA AWS D1.1 EN LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE ALTURA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad..

Sangolqui, 25 de enero del 2016

VÍCTOR HUGO GUARDERAS MOROCHO
C.C. 1717116790

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi Madre, mi Tía Nidito y mi Abuelita quienes con su infinito amor me demostraron que todo en esta vida es posible y el “no puedo” es algo que no existe, a mi familia y amigos que siempre me apoyaron y estuvieron a mi lado en todo momento

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis directores, por la dedicación y paciencia que han tenido en el desarrollo del presente proyecto, a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por haberme brindado la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución; a mis maestros y amigos que tuve el agrado de conocer durante el transcurso de mi carrera

CARATULA.....	i
CERTIFICADO DE LOS DIRECTORES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
NOMENCLATURA.....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del problema	3
1.3. Alcance	4
1.4.1. Objetivos.....	4
1.4.2. Objetivo general.....	4
1.4.3. Objetivos específicos	4
1.5. Marco teórico	5
1.5.1. Introducción a la soldadura	5
1.5.2. Clasificación procesos de soldadura.....	10
1.5.3. Soldadura manual con arco eléctrico.....	11

1.5.4. Soldadura FCAW	15
1.5.5. Soldadura por arco sumergido saw	17
1.5.6. Inspección en soldadura	18
1.5.7. La soldadura en estructuras metálicas de edificación.....	25
1.5.8. Riesgos de una junta soldada mal fabricada	34

CAPITULO II

INTRODUCCIÓN A LA NORMA AWS D1.1

2. Resumen de las secciones y contenidos del código.....	40
2.1. Limitaciones	41
2.2. Diseño de conexiones soldadas según AWS D1.1 sección dos	41
2.2.1. Areas efectivas	43
2.2.2. Soldadura de filete	44
2.2.3. Tamaño mínimo de soldadura	46
2.2.4. Transición de juntas a tope	47
2.2.5. Configuración soldaduras de filete.....	50
2.2.6. Placas de relleno delgadas y gruesas	53
2.2.7. Espacio máximo de las soldaduras intermitentes	55
2.2.8. Detalles de fabricación y montaje	55
2.2.9. Uniones y soldaduras prohibidas	57
2.3. Análisis teórico de la aws d1.1 sección cinco “fabricación”	58
2.3.1. Metal base	58
2.3.2. Consumibles de soldaduras.....	59
2.3.3. Variables del proceso wps	60
2.3.4. Respaldo.....	61
2.3.5. Ambiente de soldadura	62
2.3.6. Conformidad con el diseño	63
2.3.7. Tamaños mínimos de soldaduras tipo filete.....	63
2.3.8. Preparación del metal base.	63
2.3.9. Reparación.....	64

2.3.10. Dimensiones del agujero de acceso a la soldadura	65
2.3.11. Apuntalado y soldaduras auxiliares para la construcción	65
2.3.12. Tolerancia de las dimensiones de la junta	66
2.3.13. Perfiles de soldadura	67
2.3.14. Reparaciones.....	68
2.3.15. Limpieza de soldadura	68
2.4. Análisis teórico de la norma sección seis “inspección”	69

CAPITULO III

GUÍA DE INSPECCIÓN

3. Inspección en soldaduras de estructura metálica de altura	74
3.1. Criterios de aceptación en soldadura de estructuras metálica en altura.....	75
3.2. Determinación de puntos principales para ser inspeccionados	77
3.3. Formatos de inspección visual.....	77
3.4. Guía de inspección de soldadura.....	85
3.4.1. Objetivo.....	85
3.4.2. Contenido	85
3.4.3. Procedimiento	85
3.4.4. Desarrollo	85
3.4.5. Metal base	86
3.4.6. Consumibles de soldaduras.....	86
3.4.7. Secado de electrodos	87
3.4.8. WPS.....	87
3.4.9. Respaldo.....	87
3.4.10. Ambiente de soldadura	88
3.4.11. Conformidad con el diseño	88
3.4.12. Preparación del metal base	88
3.4.13. Límites de aceptabilidad	89
3.4.14. Procesos de corte térmico	89

3.4.15. Coronamientos.....	90
3.4.16. Orificios de acceso a la soldadura	90
3.4.17. Responsabilidad del contratista	91
3.4.18. Métodos de alineamiento.....	91
3.4.19. Perfiles de soldadura	91
3.4.20. Reparaciones.....	96
3.4.21. Aceptación de la soldadura reparada	96
3.4.22. Extremos de las uniones soldadas a tope	96
3.4.23. Superficie de corte	97
3.5. Formulario de chequeo	98
3.6. Normas que se debe seguir en el proceso de inspección visual	104
3.6.1. Herramientas básicas necesarias	104
3.6.2. Condiciones que se debe cumplir para realizar la inspección visual	105
3.6.3. Procedimientos recomendados de otros ensayos no destructivos	105

CAPITULO IV

INSPECCIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS SOLDADAS

4. Descripción de proceso de inspección en construcciones seleccionadas	106
4.1. Requerimientos del procedimiento.....	106
4.2. Recopilación de información obtenida en el proceso de inspección	106
4.3. Límites de aceptabilidad en proceso de inspección visual.....	112
4.4. Calculo de la muestra	113
4.4.1. Muestra seleccionada	115
4.5. Calificación y clasificación de resultados	117

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones 131

5.2. Recomendaciones 132

REFERENCIAS 134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Defectos en soldadura FCAW.....	16
Tabla 2 Tamaño mínimo de la soldadura precalificada de penetración parcial ..	46
Tabla 3 Metales base aprobados por AWS D1.1	58
Tabla 4 Tiempo de secado de electrodos	60
Tabla 5 Espesor Mínimo de barras de respaldo	62
Tabla 6 Tamaños mínimos de soldadura tipo filete	63
Tabla 7 Preparación de metal base	64
Tabla 8 Criterios de aceptación para inspección visual	71
Tabla 9 Espesor nominal mínimo	88
Tabla 10 Formulario de chequeo V-AWS	99
Tabla 11 Formulario de chequeo V-AWS 11A	107
Tabla 12 Ponderación de calificaciones.....	118
Tabla 13 Rangos de Aceptación	118
Tabla 14 Calificación y clasificación de resultados IDEAL.....	119
Tabla 15 Calificación y clasificación de resultados 11A.....	122
Tabla 16 Resultados	124
Tabla 17 Tabulación de datos.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Ecuador en el Cinturón de Fuego del Pacífico	1
Figura 2 Proceso de Soldadura	5
Figura 3 Gradiente de temperatura.....	6
Figura 4 Diagrama Hierro Carbono.....	7
Figura 5 Falla de Soldadura.....	8
Figura 6 Tipos de uniones	9
Figura 7. Tipos Básicos de Soldadura	10
Figura 8. Procesos de Soldadura	10
Figura 9 Soldadura manual con arco eléctrico.....	12
Figura 10 Polaridad de Electrodo	12
Figura 11 Efectos en cordón de soldadura	13
Figura 12. Posiciones de soldadura - plano.....	14
Figura 13 Posiciones de Soldadura – horizontal.....	14
Figura 14 Proceso FCAW	16
Figura 15 Soldadura por arco sumergido.....	17
Figura 16 Radiografías metalúrgicas	20
Figura 17 Detección de radiación no absorbida.....	21
Figura 18 Detección de discontinuidades	21
Figura 19 Partículas magnéticas	22
Figura 20 Proceso de Inspección con líquidos penetrantes.....	24
Figura 21 Corte y preparación de la junta.....	26
Figura 22 Soldaduras de Angulo y su verificación	26
Figura 23 Defectos en soldadura a tope y de Angulo	30
Figura 24 Defectos de Forma en Soldaduras a Tope	33
Figura 25 Defectos de Forma en Soldaduras de Angulo	33
Figura 26. Errores en la construcción de estructuras de Acero	34
Figura 27. Fallas tipo observadas a raíz de sismos.	36
Figura 28. Fallas en Juntas Soldadas Edificio en Sendai, Japón	37
Figura 29. Indicador de Espesores de Soldadura.....	43
Figura 30 Tamaño de la garganta efectiva soldadura tipo filete	45
Figura 31 Traslape de Soldaduras.....	45
Figura 32 Traslape de Soldaduras Tipo Filete	45
Figura 33 Transición de Juntas a Tope en Partes de Espesores Iguales	48
Figura 34 Configuración y detalles de la unión espesores diferentes	49
Figura 35 Configuración y detalles de la Unión (Uniones Soldadas en Filete)	50
Figura 36 Terminaciones de las soldaduras de Filete	51
Figura 37 Extensión de las conexiones flexibles	52

Figura 38 Soldaduras de filete en lados opuestos	53
Figura 39 Placas de relleno gruesas y delgadas	53
Figura 40 Placas de Relleno Traslape	54
Figura 41 Detalles de fabricación y montaje	56
Figura 42 Tolerancia de las dimensiones de la junta	66
Figura 43 Perfiles de soldaduras	67
Figura 44 Formato de Inspección INEN	78
Figura 45 Formato de Inspección NEC	79
Figura 46 Formato de Inspección NEC	80
Figura 47 Reporte de inspección visual	81
Figura 48 Descripción de documentación recibida	82
Figura 49 Inspección visual de soldaduras COMTECOL	83
Figura 50 Formulario de chequeo James F. Lincoln Arc Welding	84
Figura 51 Defectos Internos En Soldadura	89
Figura 52 orificios de acceso a la soldadura	90
Figura 53 Perfil de soldadura de canal junta a tope y esquina interior	92
Figura 54 Perfiles de soldadura en juntas acanaladas	93
Figura 55 Perfiles de soldaduras de filete juntas tipo filete	94
Figura 56 perfiles de soldaduras de junta a tope	95
Figura 57 Perfil de un corte ideal	97
Figura 58 Corte demasiado rápido	97
Figura 59 Excesiva distancia ente la pieza de corte y la	98
Figura 60 Exceso de oxígeno	98
Figura 61 Permisos de construcción según provincias	113
Figura 62 Permisos de construcción por tipo	113
Figura 63 Permisos de construcción según cantones	114
Figura 64 Tipo de construcciones en Quito (Porcentajes)	114
Figura 65 Muestra Estadística	116
Figura 66 Margen de error para muestra seleccionada	116
Figura 67. Resultados generales de la investigación	125
Figura 68. Resultados Porcentuales	125
Figura 69. Resultados por puntuación	126

NOMENCLATURA

ABREVIACIONES

AC	Corriente alterna
AMC	Agencia Metropolitana de Control del Municipio de Quito
ASTM	American Society for Testing Material, Prefijo antes de aceros normalizados
AWS	La sociedad americana de soldadura (American Welding Society)
CAW	Soldadura con electrodo de carbón
CJP	Junta de penetración completa (complete joint penetration)
CW	Soldadura por frío
DC	Corriente directa
DECEM	Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica - ESPE
DFW	Soldadura por difusión
E70XX	Nomenclatura utilizada para definir propiedades de electrodo
END	Ensayo no destructivo
EPS	Especificación para el procedimiento de soldadura
EXW	Soldadura por explosión
FCAW	Soldadura con alambre tubular
FCAW-G	Gas shielded flux cored arc welding
FCAW-S	Soldadura con hilo tubular auto protegido
FOW	Soldadura por forja
FRW	Soldadura por fricción
GMAW	Soldadura con alambre sólido y bajo la protección de gas
GTAW	Soldadura con electrodo de tungsteno bajo la protección de gas

HPW	Soldadura con gas
HSS	Perfiles estructurales huecos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MIDUVI	Ministerio de desarrollo urbano y vivienda
MPa	Mega pascal (Medida de esfuerzo)
MT	Ensayo no destructivo por partículas magnéticas
NEC	Normativa Ecuatoriana para las Construcciones
PAW	Soldadura por plasma
PT	Ensayo no destructivo por líquidos penetrantes
ROW	Soldadura por alta energía mecánica
RT	Ensayo no destructivo por radiografía
SAW	Soldadura por arco sumergido
SMAW	Soldadura con electrodo revestido
USW	Soldadura por ultrasonido
UT	Ensayo no destructivo por ultrasonido
V-AWS	Formulario de chequeo norma AWS D1.1
V-AWS	Formulario de chequeo norma AWS D1.1. Para construcción 11A
WPS	Procedimientos de Soldadura Especificados (Welding Procedure Specification)

RESUMEN

El sector inmobiliario en el mercado ecuatoriano sobre todo en la ciudad de Quito ha tenido un incremento aproximado del 60% comprendido entre los años 2010 al 2015; Esto ha impulsado la construcción de edificaciones para departamentos y oficinas en gran escala, introduciendo procesos más eficientes de construcción, a parte de los ya existentes. El tipo de construcción utilizada son varias, yendo desde construcciones en hormigón armado, construcciones mixtas (hormigón armado y estructura metálica), estructura metálica empernada y estructura metálica soldada. Este proyecto nace de la necesidad de garantizar la confiabilidad de las edificaciones fabricadas en estructura metálica soldada, ya que en las normativas ecuatorianas se hace referencia a los procesos de diseño de las juntas soldadas, describiendo muy poco los procesos fabricación y montaje. De ahí que la finalidad de este proyecto es dejar un documento referencial para que las autoridades establezcan una normativa de control para los procesos de montaje y construcción de juntas soldadas en estructuras metálicas de altura. Como entregables del proyecto se generó una guía para verificar la calidad de la soldadura, para la unidad de inspección de la Agencia de Control del Municipio de Quito la misma que sirvió como soporte para completar el formulario de chequeo de cumplimiento de la norma AWS D1.1, sección dos, cinco y seis. Estos formularios fueron aplicados en una muestra de las construcciones en estructura metálica de altura que se están llevando a cabo en la ciudad de Quito y se obtuvo que alrededor del 38% de las construcciones cumplen el mínimo referencial establecido para los procesos de fabricación y montaje en juntas soldadas.

PALABRAS CLAVE:

- ESTRUCTURA
- JUNTAS
- FABRICACIÓN
- MONTAJE

ABSTRACT

The real estate in the Ecuadorian market especially in Quito has been an increase of approximately 60% between the years 2010 to 2015; this has encouraged the construction of buildings for departments and offices in large-scale construction by introducing more efficient processes, apart from the existing ones. The type of construction used is varied, ranging from reinforced concrete constructions, mixed constructions (reinforced concrete and steel structure), bolted steel structure and welded steel structure. This project builds on the need to ensure the reliability of the buildings made of welded steel structure, as in the Ecuadorian regulatory reference to the processes of design of the welded joints is made, describing very little manufacturing and assembly processes. Hence the purpose of this project is to leave a reference document for the authorities to establish regulations to control assembly processes and construction of tall welded steel structures. As a guide project deliverables generated to verify the quality of welding, to the inspection unit Control Agency of the Municipality of Quito the same that served as support to complete the form check compliance with the *AWS D1.1 section two, five and six*. These forms were applied in a sample of buildings in height metal structure being carried out in the city of Quito and it was found that about 38% of the buildings meet the minimum reference set for manufacturing processes and assembly welded joints.

KEY – WORDS:

- STRUCTURE
- JOINT
- CONSTRUCTION
- ASSEMBLY

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El Ecuador es un país que se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, esto debido a la localización geográfica del mismo, exactamente en el cinturón de fuego del pacifico; una región sometida constantemente a erupciones volcánicas y sismos de gran magnitud como los ocurridos en Japón y Chile en 2011.

En la Figura 1 podemos observar la ubicación de nuestro País en el cinturón de fuego del pacifico y los sismos que han ocurrido en los últimos 60 años; siendo la mayoría de gran magnitud.



Figura 1 Ubicación del Ecuador en el Cinturón de Fuego del Pacifico

Fuente: (Universo Marino, 2015)

Esta situación ha llevado a los países que se encuentran en esta zona del planeta a tomar resguardo y precauciones; sobre todo lo referente a las construcciones civiles; investigando y estableciendo normativas para que las

construcciones sean más seguras y cumplan con el principal objetivo en toda construcción, el de resguardar la integridad de las personas.

Es así como se han establecido varias Normas referentes para los procesos de construcción; en este contexto podemos destacar la normativa japonesa para la construcción, conocida como la Ley Estándar de Construcción, establece los requerimientos mínimos con respecto al sitio, la estructura, las instalaciones y el uso de las edificaciones con el fin de proteger la vida, la salud y la propiedad de la nación, y así a promover el bienestar público. Ésta existe desde 1950, pero sufrió su mayor revisión en 1995, tras el terremoto de Kobe de 7,2 grados donde murieron más de cinco mil personas y más de 100.000 edificios fueron destruidos o severamente dañados por el mismo terremoto y los incendios que este causó.

En el Ecuador también se ha empezado a trabajar en este tema, para eso el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), mediante la resolución No. 058-2009 emite el reglamento técnico Ecuatoriano para la soldadura en Estructuras De Acero, el cual está fundamentado en normas como las antes señaladas, en las que podemos incluir la norma AWS D1.1.

En el año 2014 el (MIDUVI) Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, publico la Normativa Ecuatoriana para las Construcciones (NEC), en donde se establece una guía de los requerimientos mínimos que deben tener las construcciones para garantizar su seguridad.

Aquí se puede encontrar recomendaciones para el diseño de juntas soldadas, personal que debe estar a cargo como inspectores y fiscalizadores, especificaciones que deben contar en planos y contratos hasta como se debe tener almacenado el material de aporte.

Partiendo de lo antes mencionado el presente proyecto tiene como finalidad el verificar el cumplimiento de la Norma AWS D1.1 en los edificios de estructuras metálicas soldadas, obteniendo como resultado una guía de inspección y un

formulario de chequeo para juntas soldadas, que servirá para realizar futuras inspecciones por parte de la Unidad de Inspección de Construcciones de la Agencia Metropolitana de Control.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

“El 22 de Diciembre de 2011 el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito estableció que en los próximos 11 años, el crecimiento de Quito será solo vertical. Una nueva ordenanza prohíbe la expansión horizontal, es decir la creación de nuevas urbanizaciones y barrios. El propósito es racionalizar el uso del suelo. Las medidas son parte del plan de desarrollo y ordenamiento territorial aprobado en el Consejo, el pasado 22 de diciembre.” (Diario El Comercio, 2011)

Debido a lo antes mencionado, las construcciones que se realicen en el Distrito Metropolitano de Quito de aquí en los próximos años serán únicamente edificaciones de altura, las cuales debido a los nuevos procesos utilizados en la industria serán en su mayoría construcciones en estructuras metálicas.

Por los motivos antes expuestos el municipio de Quito debe empezar a elaborar una normativa que permita tener un mejor control de la construcción en estructuras metálicas, que garantice la seguridad de los ciudadanos; para esto debería basarse en estudios y normativas utilizadas internacionalmente que en el transcurso de estos años han demostrado ser muy efectivas.

En el Ecuador se ha elaborado normativas para este tipo de construcciones pero no se tiene un medio de verificación ni una base legal para verificar que los constructores estén cumpliendo con la normativa.

El presente proyecto está establecido para comprobar el cumplimiento de la norma AWS D1.1 en juntas de estructuras metálicas soldadas, dando así una referencia de lo que actualmente se está realizando, esperando ser un aporte para que en un futuro cercano se pueda tener un porcentaje muy alto de estructuras seguras y confiables para la seguridad de las personas.

El principal aporte del presente proyecto a parte de dar un referencia a la Agencia de Control de Construcciones de cómo se estar realizando los procesos de soldadura en estructuras metálicas es el de proporcionar una guía de inspección y un formulario de chequeo, esto con la finalidad que el control de los procesos de soldadura en juntas sea más técnico y lo pueda realizar de manera rápida y eficaz el personal autorizado por la Agencia Metropolitana de Control.

1.3. ALCANCE

El presente proyecto tiene como alcance elaborar un formulario de chequeo de los aspectos más importantes y aplicables de la norma AWS D1.1. Sección dos, cinco y seis, además de una guía de inspección para calificar los parámetros establecidos en el formulario.

1.4.1. OBJETIVOS

1.4.2. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un formulario de chequeo que permita verificar el cumplimiento de la norma AWS D1.1. sección dos, cinco y seis en la construcción y montaje de estructuras metálicas soldadas de altura en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante un proceso de inspección, con la finalidad de que el proyecto sirva como una referencia para los futuros controles e inspecciones en juntas soldadas de estructuras metálicas.

1.4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis Teórico de la Norma AWS D1.1, sección dos, cinco y seis

- Elaborar formulario de chequeo para inspección visual para las construcciones de altura según la norma AWS D1.1, sección dos, cinco y seis.
- Elaborar guía para verificar el cumplimiento de la Norma AWS D1.1 mediante inspección visual, fundamentándose en la sección dos, cinco y seis.
- Realizar el proceso de inspección visual en construcciones seleccionadas en base a la guía y formulario de chequeo.
- Analizar los datos y la información obtenida en el proceso de inspección visual y en la Unidad de Inspección de la Agencia Metropolitana de Control del Municipio Del Distrito Metropolitano Quito.

1.5. MARCO TEÓRICO

1.5.1. INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA

1.5.1.1. Conceptos generales

El proceso de soldadura consiste en la unión por medio de fusión establecido por lo siguiente:

- a) Concentración de calor intenso en la zona donde se formará la unión con el objeto de fundir un pequeño volumen de material.



Figura 2 Proceso de Soldadura

Fuente: (Ingeniería del Acero)

- b) El calor se aplica el tiempo adecuado para permitir que se mezclen los fluidos provenientes de dos o más piezas a ser unidas, tal como se puede observar en la figura 3, esta fusión puede ser directa, cuando solamente se mezclan las propiedades de las piezas a unir, o indirecta cuando las propiedades de las piezas se mezcla con material de relleno para formar la unión
- c) Cuando la mezcla se deja enfriar y solidificar, se establece una unión metalúrgica entre las piezas. Debido a que esta fusión es fundamentalmente el producto de la mezcla de las propiedades de las piezas, tiene la característica de exhibir las mismas propiedades mecánicas que posean las piezas. En otras palabras, las propiedades del material base pueden ser duplicadas en la zona de la unión.

Los procesos de soldadura se pueden clasificar fundamentalmente por el método que se emplea para aplicar el calor a las piezas a unir. Por ejemplo, en la soldadura con arco, el calor es generado por un arco eléctrico producido entre la pieza y un electrodo adecuado. La soldadura autógena utiliza el calor que se genera en la combustión de un gas combustible con oxígeno. Hasta se puede utilizar la fricción entre dos metales para producir la cantidad adecuada de calor y soldarlos.

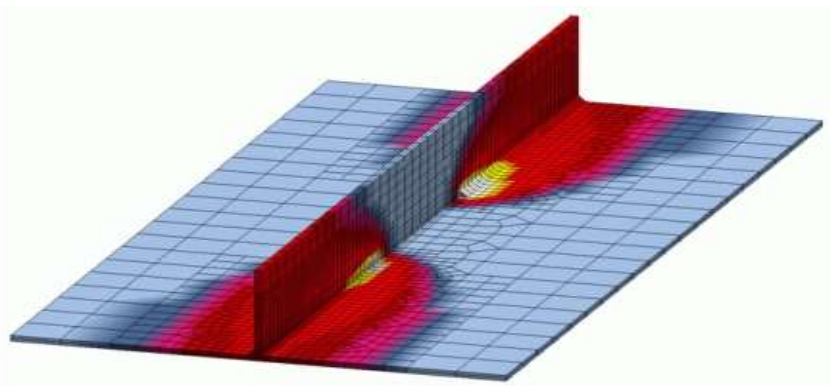


Figura 3 Gradiente de temperatura

Fuente: (MSC software)

En la figura 3 se puede observar que la fuente de calor aplicada produce gradientes de temperatura en las placas. Este gradiente se distingue por las líneas en colores alrededor del área donde se aplica el calor. En la zona de la unión, el metal alcanza altas temperaturas. En las zonas alejadas de la unión, el metal prácticamente no sufre cambio alguno de temperatura. Este calentamiento no uniforme puede provocar problemas de esfuerzos residuales en la zona cercana al cordón de soldadura, lo cual podría afectar las propiedades mecánicas de la junta soldada. Sin embargo, el efecto más grave de la zona afectada por el calor, es el cambio en la microestructura, y por consiguiente en las propiedades del metal. En la figura 4 se muestra un esquema de la microestructura que se formaría en la zona afectada por el calor cuando se suelda unas placas de acero.

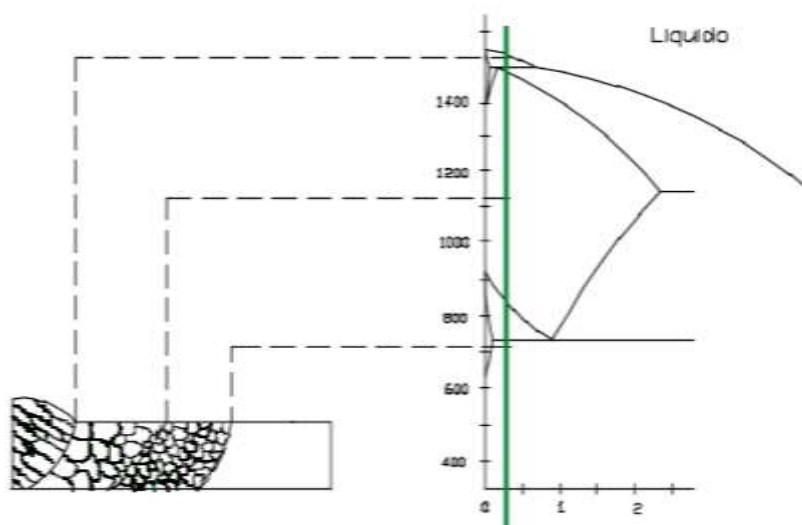


Figura 4 Diagrama Hierro Carbono

Fuente: (Nilson Ortega, 2011)

Normalmente el tamaño de los granos formados durante el proceso de soldadura se mantiene a temperatura ambiente. Esto significa que las propiedades mecánicas en la zona cercana a la unión no serán uniformes. Por ejemplo, sabemos que los granos pequeños producen baja dureza, y los granos

grandes proporcionan mayor dureza a un metal. Debemos enfatizar que la dureza es directamente proporcional al esfuerzo último, e inversamente proporcional a la ductilidad. Debido a esto tenemos que la zona con granos pequeños tendrá poca resistencia a la tensión y elevada ductilidad, mientras que la zona con granos grandes tendrá elevada resistencia a la tensión, y al mismo tiempo elevada fragilidad. Dependiendo de la aplicación de la junta, esta variación en las propiedades mecánicas puede generar problemas de Fallas en la soldadura, tal como se muestra en la figura 5.

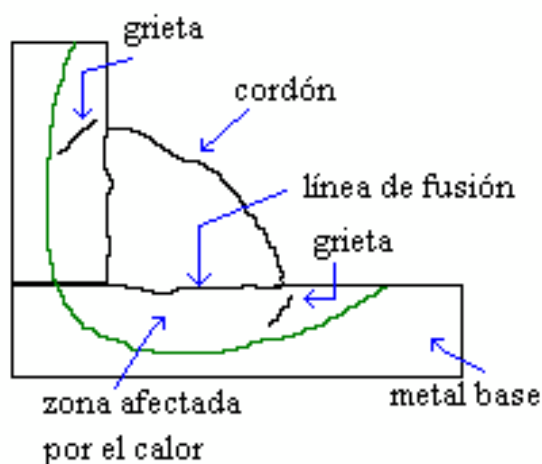


Figura 5 Falla de Soldadura

Fuente: (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011)

1.5.1.2. Tipo de Juntas

Hay cinco tipos básicos de Juntas para integrar una junta soldada. De acuerdo con la figura 6 se definen del siguiente modo:

- a) **Junta a tope.** En este tipo de unión, las partes se encuentran en el mismo plano y se unen en sus bordes.
- b) **Junta de esquina.** Las partes en una unión de esquina forman un ángulo recto y se unen en la esquina del ángulo.

- c) **Junta superpuesta.** Esta unión consiste en dos partes que se superponen.
- d) **Junta en T.** En la unión en T, una parte es normal a la otra en una forma parecida a la letra T.
- e) **Junta de bordes.** Las partes en una unión de bordes están paralelas con al menos uno de sus bordes en común y la unión se hace en el borde común.

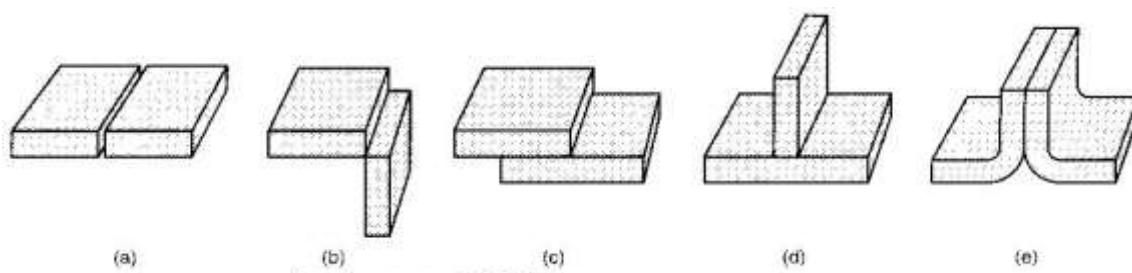


Figura 6 Tipos de Juntas

Fuente: (Word Press, 2009)

De la misma manera se tienen tipos de soldadura los cuales se utilizan de acuerdo a la configuración de la junta soldada, el tipo de proceso, la accesibilidad a la junta de soldadura, y hasta factores económicos. Entre los tipos básicos de soldaduras se tiene los siguientes:

- De Filete
- De Bisel
- De Relleno
- De Tapón

A continuación en la figura 7 se muestra los tipos básicos de soldadura.

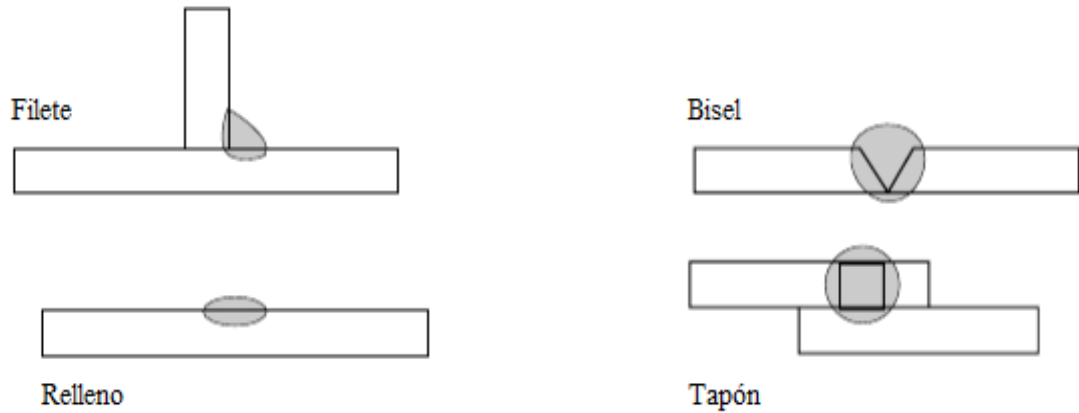


Figura 7. Tipos Básicos de Soldadura
Fuente: (Word Press, 2009)

1.5.2. CLASIFICACIÓN PROCESOS DE SOLDADURA

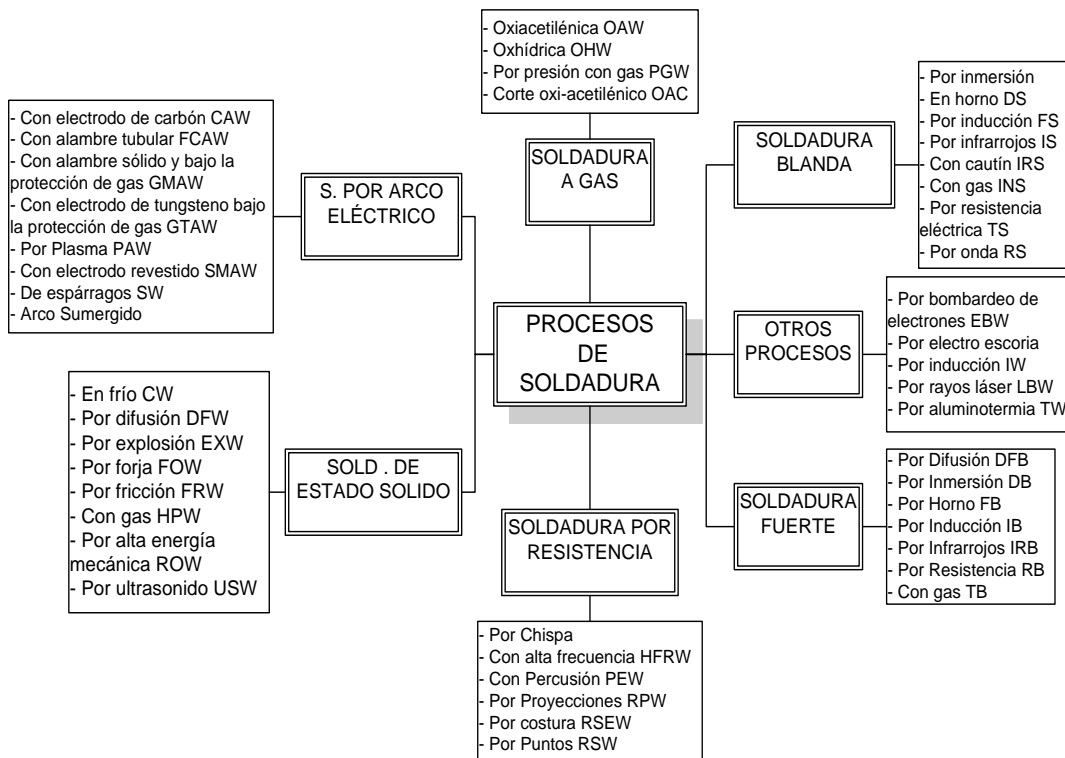


Figura 8. Procesos de Soldadura

1.5.3. SOLDADURA MANUAL CON ARCO ELÉCTRICO

En este proceso de soldadura, el calor necesario para fundir el metal es producido por un arco eléctrico. El arco se produce entre la pieza de trabajo y un electrodo que se traslada en forma manual o automática a lo largo de la zona a ser unida. El electrodo consiste en una varilla de carbono o tungsteno, También se puede tener un electrodo metálico preparado de manera especial, de tal forma que conduzca la corriente y mantenga el arco al mismo tiempo que se funde para proveer metal de relleno a la junta. En nuestro medio, la mayoría de los procesos de soldadura utilizados para fabricar piezas de acero utilizan el proceso de electrodo revestido.

El circuito básico de soldadura se observa en la figura 9, este consiste en una fuente de energía de corriente alterna (AC) o directa (DC), un cable de “tierra” que se conecta a la pieza de trabajo, y un cable “vivo” que se conecta a un porta electrodo apropiado. Este porta electrodo permite realizar el contacto eléctrico entre el cable vivo y el electrodo, al mismo tiempo que proporciona un mango eléctricamente aislado para manejar al electrodo.

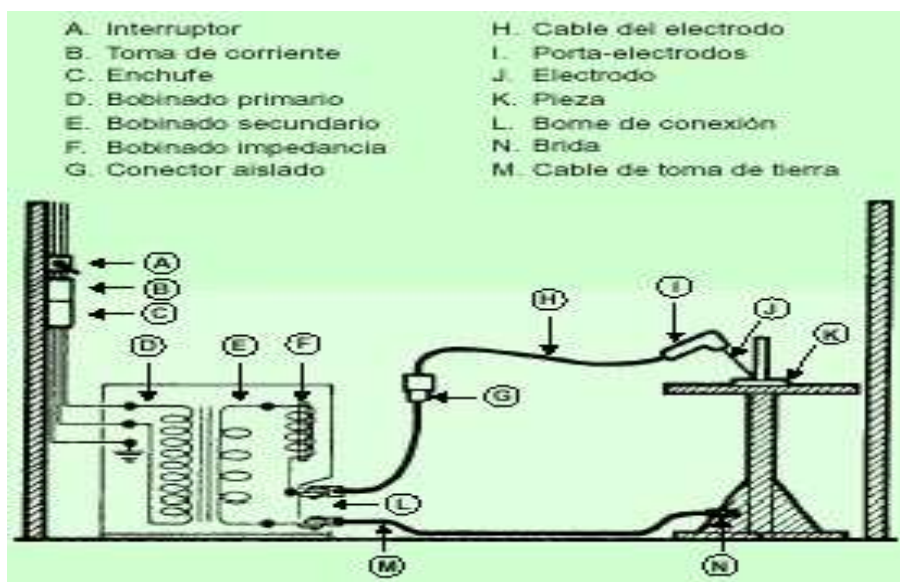
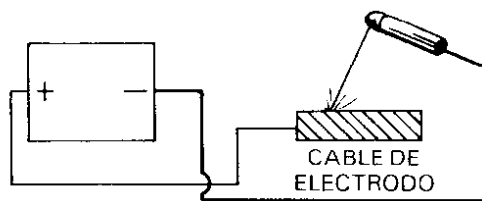


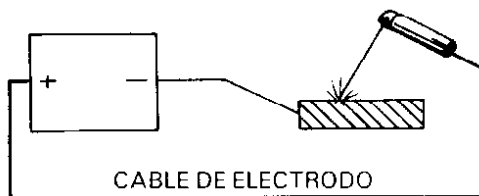
Figura 9 Soldadura manual con arco eléctrico

Fuente: (Slideshare, 2012)

“El arco no es más que una corriente eléctrica que fluye entre dos electrodos a través de una columna ionizada de gas llamada “plasma”. El espacio entre los dos electrodos (entre el electrodo y la pieza de trabajo) se puede dividir en tres áreas de generación de calor: el cátodo, el ánodo, y el plasma.” (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011)



A. Polaridad inversa (positiva)



B. Polaridad directa (negativa)

Figura 10 Polaridad de Electrodo

Fuente: (Soldadura.com, 2010)

La soldadura con arco puede realizarse con corriente directa con el electrodo positivo o negativo, o con corriente alterna (figura 10). Cuando la polaridad de la corriente se calibra de tal modo que el electrodo es negativo, el calor se concentra en él, haciendo que se funda más rápido que el metal base.

“Esto causa poca profundidad de penetración y mucho material de aporte en la soldadura. Si se cambia la polaridad, tenemos que el metal base es negativo y por lo tanto causa más calor que el electrodo positivo”. (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011)

Con electrodo positivo se provoca más profundidad de penetración de la soldadura, ya que el metal base se funde más rápido que el electrodo. Si se utiliza corriente alterna, se puede obtener un balance entre la profundidad de penetración y la geometría del cordón, tal como se ilustra en la figura 11.

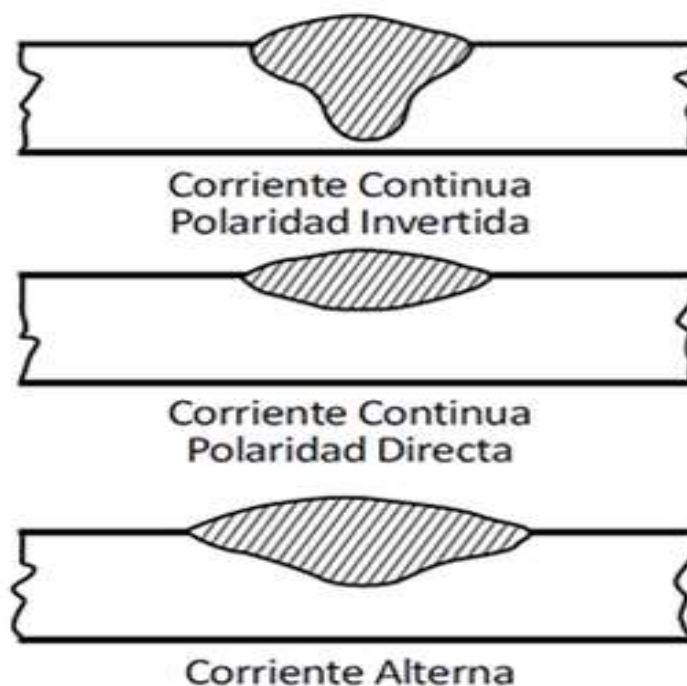


Figura 11 Efectos en cordón de soldadura
Fuente (CENTRO DE CONOCIMIENTO ESAB, 2016)

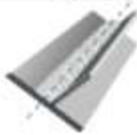





En uniones de filete	En uniones de ranura	Uniones de tubería
Plano		
1F	1G	1G
		 La tubería se rota mientras se suelda
Vertical		
2F	2G	2G
		

Figura 12. Posiciones de soldadura - plano

Fuente: (Indura S.A Industria y Comercio, 2009)







En uniones de filete	En uniones de ranura	Uniones de tubería
Horizontal		
3F	3G	5G
		 La tubería no se rota mientras se suelda
Sobre cabeza		
4F	4G	6G
		

Figura 13 Posiciones de Soldadura – horizontal

Fuente: (Indura S.A Industria y Comercio, 2009)

1.5.4. SOLDADURA FCAW

Según lo establecido en el manual de soldadura de AWS D1.1 tomo 1 se establece lo siguiente:

La soldadura por arco con núcleo de fundente (flux cored arc welding, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se utiliza con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo extra de gas de origen externo, y sin aplicación de presión.

El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto, que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la zanja de soldadura. La característica que diferencia al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua. Las excelentes características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo. El proceso FCAW tiene dos variantes principales que diferencian su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Uno de ellos FCAW con autoprotección, protege el metal fundido a través de la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, el FCAW con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En los dos métodos, el material del núcleo del electrodo otorga una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación. (p 157)

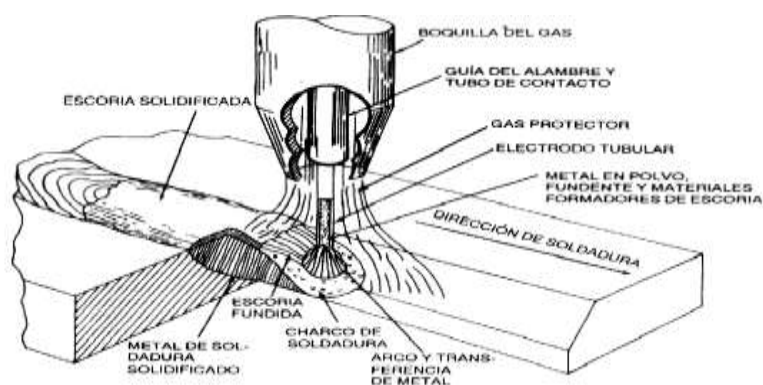


Figura 14 Proceso FCAW

Fuente: (Instituto Distrital de Recreación y Deporte Bogotá D.C., 2010)

1.5.4.1. Defectos en soldadura FCAW

Varios tipos de discontinuidades pueden resultar de malas prácticas o procedimientos. Aunque muchas de estas discontinuidades son inocuas respecto del deterioro de las propiedades de la unión, afectan la apariencia de la soldadura y por consiguiente la reputación de la soldadura por FCAW. Estos problemas, así como sus causas y soluciones se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1

Defectos en soldadura FCAW

Problema	Posible causa	Acción correctiva
Porosidad	Bajo caudal de gas	Aumentar el caudal de gas
	Alto caudal de gas	Disminuir el caudal de gas
	Viento excesivo	Proteger la zona de soldadura
	Gas contaminado	Controlar la fuente de gas
	Metal base contaminado	Limpiar las caras de la junta
	Alambre contaminado	Limpiar el alambre
	Relleno insuficiente	Cambiar el electrodo
	Tensión excesiva	Disminuir la tensión
	Long. libre del electrodo excesiva	Balancear la corriente
Excesiva velocidad de soldadura	Ajustar velocidad	
Falta de fusión o penetración	Manipulación errónea	Dirigir el electrodo a la raíz
	Parámetros erróneos	Regular parámetros
	Diseño de junta erróneo	Aumentar apertura de raíz
Fisuración	Restricción de junta excesiva	Precalear, disminuir restric.
	Electrodo erróneo	Revisar formulación y relleno
	Desoxidantes insuficientes	Revisar formulación y relleno
Alimentación de alambre	Desgaste del tubo de contacto	Disminuir presión de rodillos
	Fusión del tubo de contacto	Reducir tensión
	Conducto de alambre sucio	Limpiar o cambiar conducto

Fuente: Introducción a la metalurgia de la soldadura, L.A. de Vedia-H.G. Svobodam, Agosto 2004, pág. 24

1.5.5. SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO SAW

“Es un proceso automático, en el cual, como lo indica la Figura 15, un alambre desnudo es alimentado hacia la pieza. Este proceso se caracteriza porque el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente, provisto desde una tolva, que se desplaza delante del electrodo. De esta manera el arco resulta invisible, lo que constituye una ventaja, pues evita el empleo de elementos de protección contra la radiación infrarrojo y ultravioleta, que son imprescindibles en otros casos.” (Indura S.A Industria y Comercio, 2009)

Las corrientes aplicadas en este proceso varían en un rango que va desde los 200 hasta los 2000 amperes, y los espesores que es posible soldar varían entre 5 mm y hasta más de 40 mm. Usualmente se utiliza corriente continua con electrodo positivo, cuando se trabaja con intensidades inferiores a los 1000 amperes, economizando el uso de corriente alterna para intensidades mayores, a fin de evitar el fenómeno llamado sopló magnético. El proceso se caracteriza por sus elevados regímenes de deposición y es normalmente empleado cuando se trata de soldar grandes espesores de acero al carbón o de baja aleación.

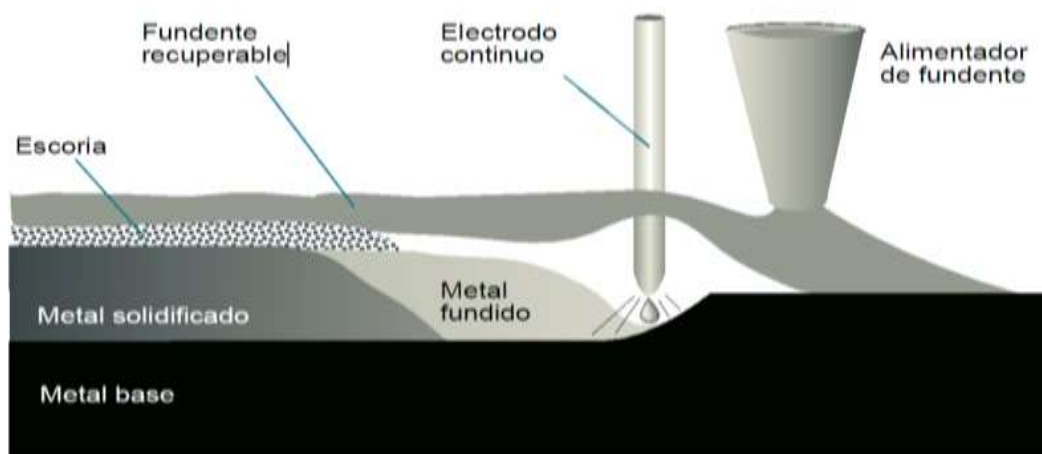


Figura 15 Soldadura por arco sumergido

Fuente: (Indura S.A Industria y Comercio, 2009)

1.5.6. INSPECCIÓN EN SOLDADURA

Un cordón de soldadura debe tener la capacidad de soportar los esfuerzos para los que ha sido diseñado. Por eso es necesario realizar ensayos de esfuerzos para verificar si realmente la soldadura cumple los requerimientos deseados. Sin embargo, estos ensayos generalmente requieren equipo costoso, consumen tiempo, y generalmente es necesario destruir la pieza.

Para garantizar la calidad de la soldadura durante el proceso y no alterar significativamente la integridad de la pieza se utilizan ensayos no destructivos. A continuación se describirán brevemente los ensayos no destructivos más comunes para analizar soldaduras.

1.5.6.1. Inspección visual

“Es la prueba no destructiva más sencilla. Para realizarla generalmente sólo se utiliza una regla graduada, escuadras para verificar perpendicularidad, un pie de rey para medir con exactitud dimensiones lineales, y una lupa. La iluminación debe ser adecuada, y el operario que realiza la inspección visual debe tener cierta experiencia para encontrar fácilmente defectos”. (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2005)

La inspección visual empieza antes de unir las piezas con el arco eléctrico. Los materiales base deben ser inspeccionados para verificar que cumplen las especificaciones establecidas en cuanto a calidad, tipo de material, tamaño, limpieza, y ausencia de discontinuidades. Las materias extrañas que pueden cambiar la calidad de la unión (grasas, pinturas, aceites y óxidos) deben retirarse. Las dimensiones de las piezas a unir deben verificarse. Elementos con dobleces, cortadas de forma no apropiada, o dañadas de alguna manera deben ser reparadas o rechazadas. Debe revisarse la preparación de la junta y el alineamiento entre las piezas a unir. Esto muchas veces necesita más que un simple vistazo a la junta, y a pesar de parecer un proceso

insignificante, influye significativamente en la calidad final del cordón. La inspección previa también incluye inspeccionar que el proceso y los procedimientos de soldadura a ejecutar sean los correctos. Esto incluye verificar que se utilice el tipo y tamaño adecuado de electrodo, que el voltaje y amperaje del equipo sea el establecido, y que se han tomado las medidas necesarias para ejecutar el precalentamiento y pos calentamiento de la pieza en caso de ser necesarios.

Una vez se ha ejecutado el cordón, la inspección visual puede revelar la presencia de grietas, porosidad, etc., variaciones dimensionales, distorsiones y mala apariencia pueden ser observadas visualmente con facilidad. El cordón debe limpiarse de escoria para verificar la existencia de grietas superficiales, para lo cual la ayuda de una herramienta con magnificación (lupa) puede ser muy útil. Debe tenerse el cuidado de no sellar accidentalmente grietas finas que pudieran existir en la superficie del metal cuando se retira la escoria. El objetivo de la inspección visual en esta etapa no solamente debe consistir en la búsqueda de grietas y defectos, sino debe enfocarse a la búsqueda de respuestas de por qué existen los defectos en la pieza. La inspección visual permite detectar únicamente defectos superficiales en las soldaduras.

1.5.6.2. Radiografías

“Las radiografías permiten detectar defectos internos de las piezas tales como grietas, porosidad interna, inclusiones no-metálicas, penetración incompleta, etc. El principio de funcionamiento de las radiografías se ilustra en la figura 16.” (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2005)

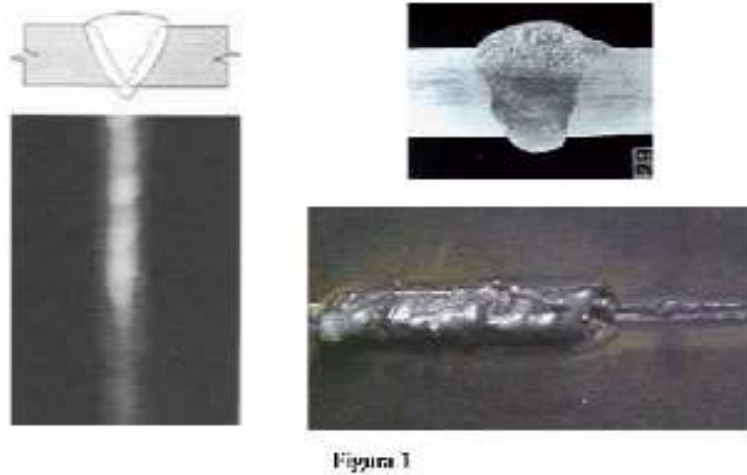


Figura 16 Radiografías metalúrgicas

Fuente: (Robles, 2011)

Una fuente determinada emite energía en forma de rayos X. Parte de esta energía es atraída por el material. Variaciones en la densidad y en el espesor del material a ser inspeccionado provoca desviaciones en la cantidad de energía absorbida por éste. La radiación no absorbida se detecta con papel foto sensible o en una pantalla fluorescente. Si consta algún tipo de defecto dentro del material, la cantidad de radiación absorbida en la zona de este defecto será diferente, y se observara en el detector, tal como se muestra en la figura 17.

Entre las principales limitaciones que posee este método podemos citar lo siguiente:

- Es costosa en comparación con otros ensayos no destructivos.
- El tiempo necesario para inspeccionar piezas con espesor considerable es largo.

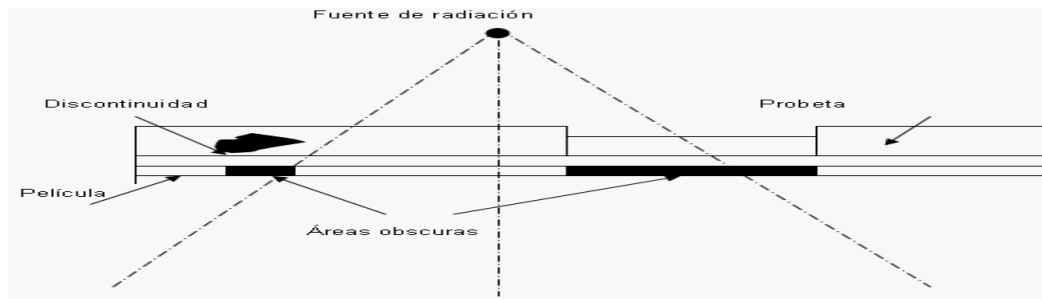


Figura 17 Detección de radiación no absorbida

Fuente: (Academia de Laboratorio de Control de Calidad, 2002)

- Algunos tipos de defectos pueden ser difíciles de detectar dependiendo de su orientación, tal como se muestra en la figura 18.

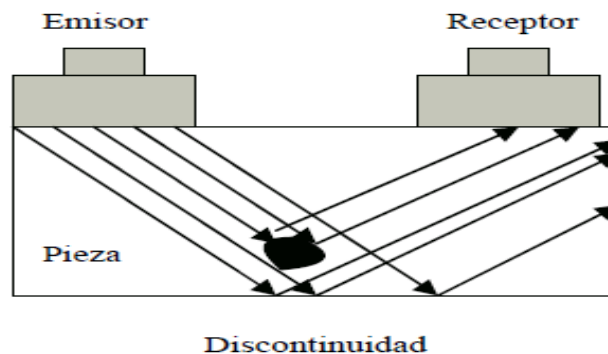


Figura 18 Detección de discontinuidades

Fuente: (Academia de Laboratorio de Control de Calidad, 2002)

- Se Deben tomar medidas de precaución necesarias para evitar la exposición accidental a los rayos X. Se necesita personal calificado en el manejo de equipos de rayos X para ejecutar estos ensayos, así como equipo adecuado.

1.5.6.3. Partículas magnéticas

Se utiliza para localizar grietas y discontinuidades en la superficie de materiales ferromagnéticos. El principio de operación se ilustra en la figura 19.

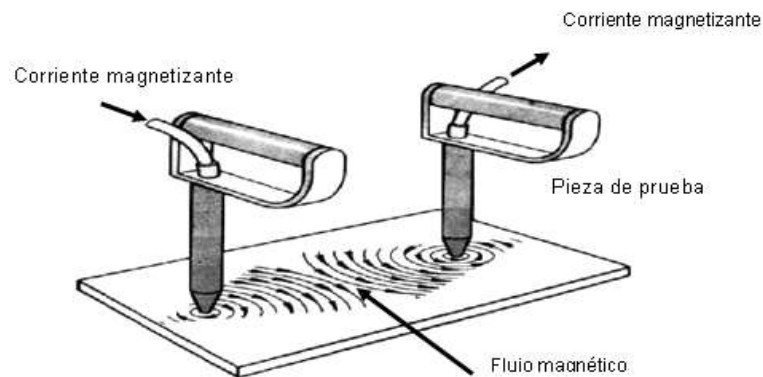


Figura 19 Partículas magnéticas

Fuente: (Academia de Laboratorio de Control de Calidad, 2002)

“Por medio de un electroimán se genera un campo magnético dentro del material a analizar. Cuando existe una discontinuidad, las líneas de campo no son uniformes, sino que se “desvían” alrededor de la discontinuidad. Esto crea pequeños imanes localizados en el metal, los cuales pueden ser detectados por medio de partículas magnéticas sobre la superficie de la pieza.” (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011)

Entre las limitaciones de este proceso se tiene que sólo funciona en materiales ferromagnéticos. Otra desventaja es el hecho que cuando se trata de grietas en el metal, éstas deben ser perpendiculares al campo magnético para poder ser detectadas. “Grietas paralelas al campo magnético son difíciles o imposibles de detectar, ya que casi no producen perturbación en las líneas de campo generadas en la pieza.” (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011)

Es necesario desmagnetizar la pieza después de ser inspeccionada, especialmente si ésta debe trabajar cerca de equipo eléctrico o electrónico. Esto implica costos y tiempo adicional para realizar el ensayo. Además, en piezas grandes, es necesario utilizar campos magnéticos agudos para poder localizar algún defecto. Debido a que estos campos magnéticos se producen a través de una corriente eléctrica, la demanda de energía para realizar el ensayo puede ser muy costosa.

1.5.6.4. Líquido penetrante

Este método es utilizado para detectar discontinuidades que se encuentren expuestas a la superficie en materiales no porosos, y que sean muy pequeñas para ser detectadas por inspección visual. Es un método simple, barato y fácil de interpretar. Su efectividad no depende del ferromagnetismo, por lo que se puede inspeccionar prácticamente cualquier material. Por esta razón, es el ensayo más utilizado para analizar aceros auténticos y materiales no-metálicos. La orientación que tenga el defecto en la pieza tampoco influye en la efectividad del método.

En la inspección con líquido penetrante, se utiliza un líquido fluorescente con excelentes propiedades de penetrabilidad. Este líquido se aplica sobre la superficie a ser examinada. La acción capilar empuja al líquido hacia dentro de los defectos o grietas existentes, para que luego el exceso de líquido sea eliminado de la superficie. A continuación, se emplea el “revelador”, el cual se encarga de sacar el líquido dentro de las cavidades hacia a la superficie. Se utiliza luz ultravioleta con el objeto de observar cualquier cantidad de líquido que se localice sobre la superficie y que indique la presencia de grietas o defectos.

“Debido a que el líquido fluorescente debe penetrar en pequeñas cavidades, la parte a ser analizada debe estar cuidadosamente limpia y seca. Cualquier materia extraña que pudiera cerrar las cavidades producirá resultados erróneos.” (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011)

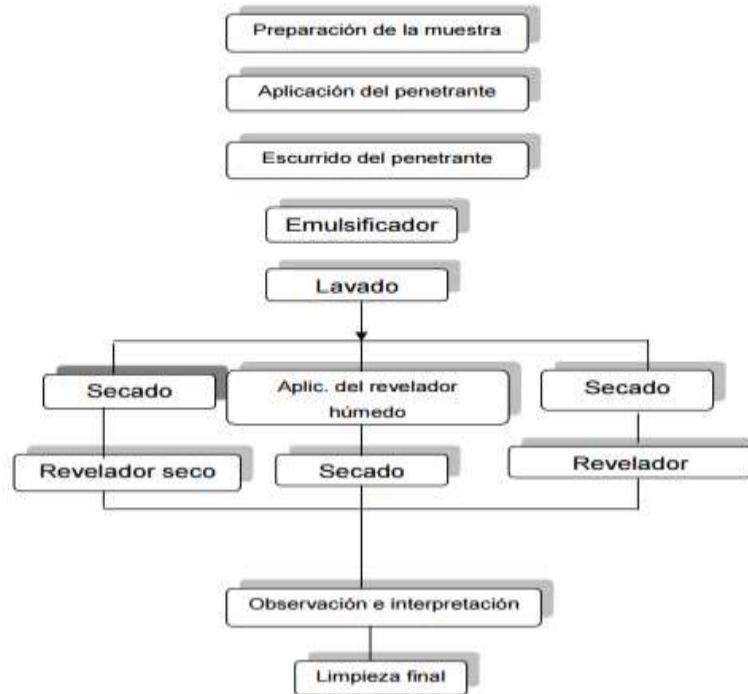


Figura 20 Proceso de Inspección con líquidos penetrantes

Fuente: (COMTECOL, 2012)

1.5.6.5. Ultrasonido

La inspección por ultrasonido es un proceso muy sensible para detectar, ubicar y medir defectos en la superficie y en el interior de una pieza. Este proceso se fundamenta en el hecho que una discontinuidad o cambio de densidad en un material muestra cualquier onda de alta frecuencia que se propague a través del material. El equipo de ultrasonido está conformado básicamente en un cristal de cuarzo (u otro material piezoeléctrico). Cuando se aplica voltaje en el cristal, éste vibra y transfiere dichas vibraciones al metal en contacto con él. Cuando las vibraciones se irradian a través del metal y llegan a una discontinuidad o cambio de densidad, parte de la energía de las ondas se refleja de regreso hacia el cristal. “Estas ondas llegan hasta un receptor (que también será de cuarzo u otro material piezoeléctrico), generando vibraciones mecánicas que pueden ser convertidas a corriente eléctrica. Esta corriente

puede ser transmitida a un osciloscopio, y la posición del defecto puede ser determinada con mucha exactitud". (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2011), (p. 23).

1.5.7. LA SOLDADURA EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DE EDIFICACIÓN¹

Todo proceso empleado en soldadura debe ser adecuado para asegurar el mantenimiento de las propiedades de calidad de la estructura. Para lograrlo han de establecerse una serie de requisitos y especificaciones pertinentes relativas a todos los sujetos intervinientes en el proceso: Metal base, electrodos, ejecución del soldeo, fuente energética, calificación de los operarios, etc.

1.5.7.1. El corte y preparación de la junta

La preparación de la junta se realiza por corte y mecanizado y es incuestionable que los posibles defectos que presente la junta serán perjudiciales para la soldadura terminada. Ver figura 21

En referencia a lo publicado por (Garcimartin, 2002) citamos lo siguiente:

Los procesos más utilizados para realizar el corte de piezas son los de oxicorte y corte por plasma. Se basan en el fundido del acero mediante la elevación de la temperatura y que en los dos influyen aspectos como la velocidad de ejecución y la separación de la fuente respecto de los elementos a cortar. El corte con elementos mecánicos tales como sierra, disco o cizalla solo es recomendable para espesores inferiores a 15 milímetros. Todo corte debe llevar un repaso de bordes realizado mediante piedra esmeril, fresa o cepillo cuyo fin es eliminar rebabas, estrías o irregularidades. Las juntas preparadas se requieren para

¹ Este artículo fue publicado en **A**, Revista del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia. Págs. 12 a 19. nº 22. Julio de 2002. Murcia.

soldaduras a tope, donde ha de asegurarse una penetración de la soldadura. En soldaduras de ángulo basta con un corte recto con un tratamiento de repaso adecuado. (p. 2)

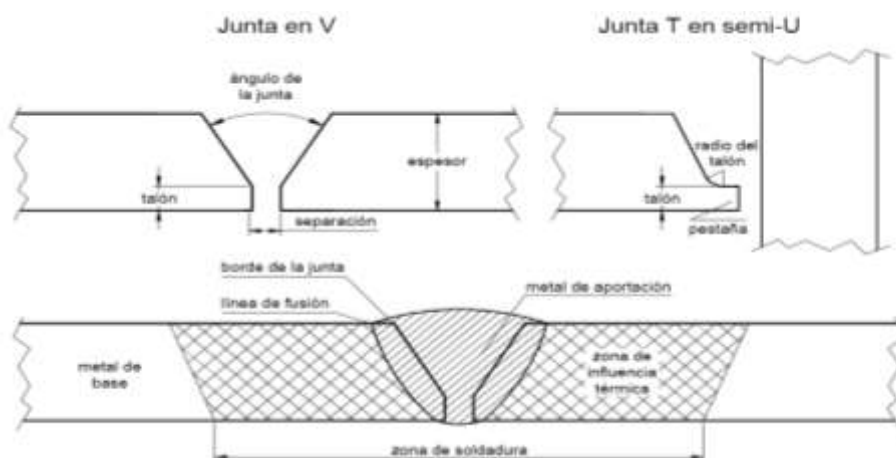


Figura 21 Corte y preparación de la junta

Fuente: (Garcimartin, 2002)

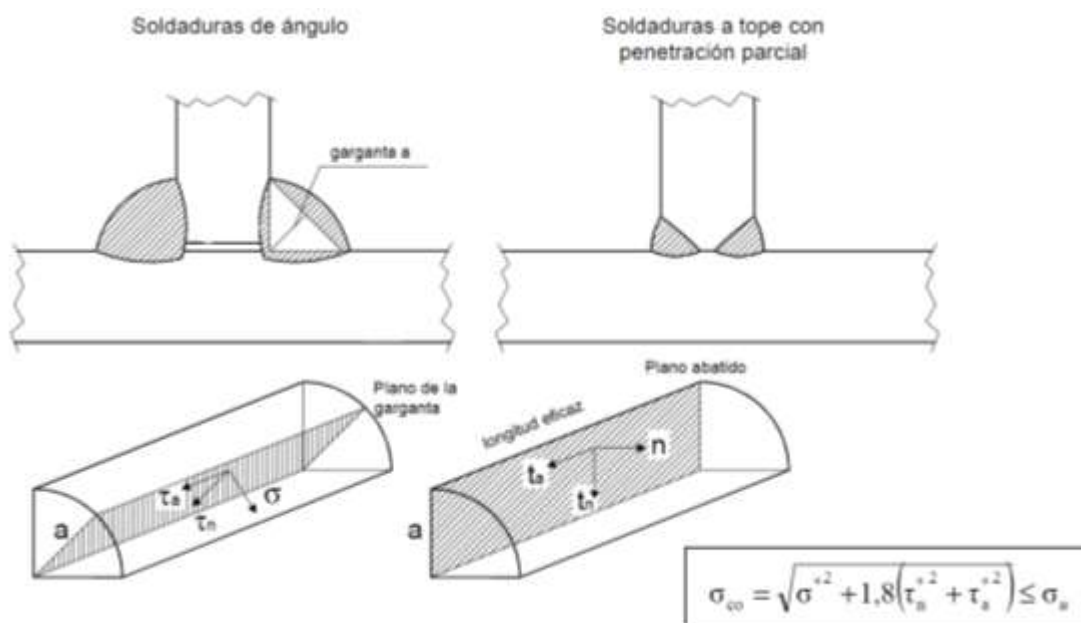


Figura 22 Soldaduras de Angulo y su verificación

Fuente: (Garcimartin, 2002)

1.5.7.2. La importancia de las posiciones de soldeo

La naturaleza de la soldadura permite que el proceso pueda realizarse en posiciones distintas de la horizontal o plana; así pueden realizarse soldaduras en pared, tanto horizontales como verticales o inclinadas y soldaduras en techo. La soldadura más accesible de realizar, sobre todo cuando se realiza manualmente, es la soldadura plana que en obra no siempre es posible realizarla; consecuentemente con esa facilidad su ejecución es más perfecta, con menos defectos. Soldaduras en posiciones difíciles, sobre todo en techo implican la aparición de defectos con mayor frecuencia. Es a estas soldaduras a las que se debe inspeccionar de una manera más cuidadosa.

1.5.7.3. El material de base y los electrodos

“En estructuras metálicas el material base es muy constante, tiene pocas variaciones en lo que se refiere a composición dentro de una determinada clase y grado, esto es una ventaja puesto que evita incertidumbres de origen y por tanto existe menos riesgo a la hora de acertar con las demás variables intervinientes en el proceso electrodos, corriente, velocidad, etc.” (Garcimartin, 2002) (p. 3)

1.5.7.4. Defectos de las uniones soldadas

Pueden ser de varios tipos y producidos por diversos motivos. Entre los defectos más importantes y más comunes tenemos:

- a. Fisuras
- b. Cavidades y poros
- c. Inclusiones
- d. Defectos de fusión
- e. Falta de penetración
- f. Defectos de forma

a) Fisuras

Son discontinuidades provocada por rotura local, la cual puede ser producida por enfriamiento o por los esfuerzos transferidos, es decir una vez que la soldadura ha entrado a soportar cargas. Si son microscópicas reciben el nombre de micro fisuras.

Pueden ser internas o externas y suelen producirse en el metal fundido, en la zona de unión, en la zona de influencia térmica o en el metal de base.

Se clasifican en algunos tipos, bien por la zona de aparición o por su dirección que según (Garcimartin, 2002, p .4) son los siguientes:

- Longitudinales: son las que llevan dirección paralela a la dimensión mayor de la soldadura.
- Transversales: las perpendiculares a la longitud mayor.
- Radiales: son las fisuras aisladas cuyo origen es un punto común. Cuando son pequeñas se denominan de estrella (star cracks).
- De cráter: son las que aparecen en los extremos (cráteres) de la soldadura.
- Fisuras discontinuas: se denominan a las que están orientadas de cualquier forma.
- Ramificadas: son aquellas fisuras que están ligadas entre si y se presentan en forma arborescente a partir de una fisura común.

Las razones más usuales que originan las fisuras son el uso de electrodos inadecuados y la excesiva rigidez de las piezas a unir. Las fisuras suelen aparecer en el proceso de soldeo, en el tratamiento térmico posterior (enfriado demasiado rápido) o en la entrada en servicio de la pieza. En muchas ocasiones la fisura empieza en un defecto superficial o interno, como una mordedura, un poro, etc.

Los principales problemas provocados por fisura son una disminución de la sección resistente, concentración de tensiones en los extremos y crea zonas débiles en ambientes corrosivos.

b) Cavidades y poros

Estos defectos se deben a varias causas, siendo las más trascendentes la presencia de residuos extraños al proceso, tales como óxidos, en si a la falta de limpieza y preparación; también se deben a otras motivos como la excesiva intensidad de la corriente que calienta los electrodos por encima de la temperatura correcta de fusión, al uso de electrodos húmedos, a defectos del recubrimiento, y, finalmente, a mala técnica de soldeo.

Según (Garcimartin, 2002, p .5) Algunos tipos de estos defectos son los siguientes:

- Sopladura, es una cavidad formada por la oclusión de gases en el interior de la soldadura formando diferentes tipos de porosidades (esferoidal, alargada, vermicular, etc.).
- Picadura se denomina al poro de pequeña dimensión que queda abierto a la superficie.
- Rechupe es una cavidad debida a la contracción del metal durante el enfriamiento. Cuando se produce al final del cordón se denomina rechupe de cráter.

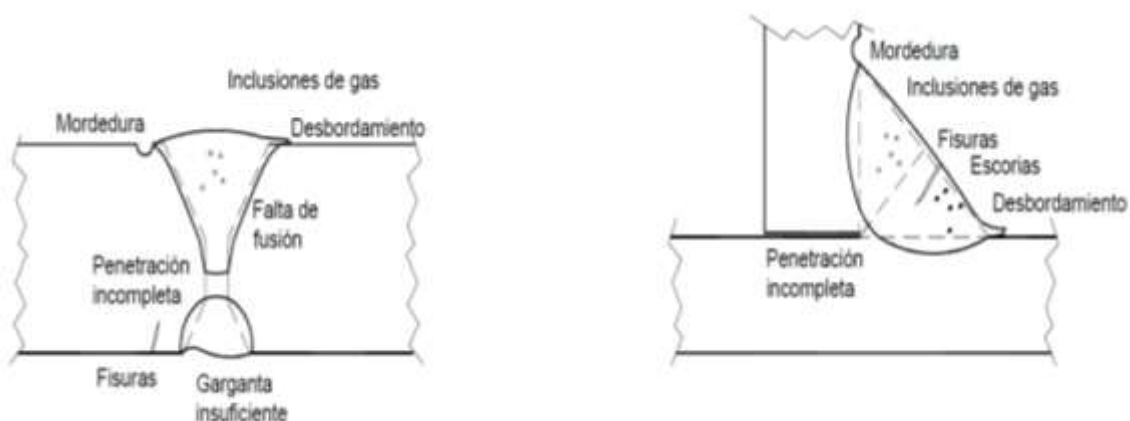


Figura 23 Defectos en soldadura a tope y de Angulo

Fuente: (Garcimartin, 2002)

c) Inclusiones sólidas

Cualquier cuerpo extraño, que quede incrustado en el metal fundido, diferente de los metales base y de aporte de la soldadura constituye una inclusión sólida. Las más comunes son las escorias, los óxidos y las inclusiones metálicas.

Las principales características de estas inclusiones según (Garcimartin, 2002, p .5) se detalla a continuación:

Las escorias son inclusiones procedentes la mayor parte de las veces del propio recubrimiento del electrodo, o de acumulaciones extrañas sobre este, pueden presentarse aisladas, alineadas o esparcidas. Los óxidos son de tipo metálico y quedan aprisionados durante el proceso de soldeo. Las inclusiones metálicas son principalmente de metales tales como el tungsteno, cobre etc. Las causas de estas inclusiones son principalmente la falta de limpieza, sobre todo en soldaduras de varias pasadas. También se producen por una mala distribución de los cordones, la incorrecta inclinación de los electrodos o la falta de intensidad de la fuente energética. La importancia de estos defectos

depende del tamaño de la inclusión y puede ser más evidentes o amplificarse durante el servicio de la estructura.

d) Defectos de fusión

Este tipo de defectos se deben en principio a la falta de unión entre el material de aporte y el metal de base o entre las diferentes pasadas del cordón. Se suele presentar en los bordes, falta de fusión lateral, entre pasadas y en la raíz.

Este defecto se origina usualmente a una mala preparación de los bordes. También se puede producir por una mala práctica del soldador provocando un arco demasiado largo, débil intensidad o excesiva velocidad de avance.

“Es un defecto grave que afecta a la calidad metalúrgica de la unión. Provoca la aparición de fisuras y una disminución de la resistencia. Además facilita la corrosión localizada.” (Garcimartin, 2002) (p. 5)

e) Falta de penetración

“Es debido a una fusión parcial de los bordes provocando discontinuidad de los mismos. Es provocada por una separación incorrecta de los elementos a unir durante el soldeo, al empleo de electrodos excesivamente gruesos, a una velocidad de avance excesiva o a una baja intensidad. Su principal consecuencia es la disminución de la resistencia de la unión”. (Garcimartin, 2002) (p. 5)

f) Los Defectos de forma según (Garcimartin, 2002, p .6)

Se deben a la falta de geometría de la superficie externa en relación con el perfil correcto esperado. Los tipos de defectos de geometría más frecuentes son:

- Mordeduras, faltas de metal en los bordes del cordón o en alguna de sus pasadas. También pueden aparecer en la raíz.

- Sobre espesores, son debidos a un espesor excesivo en las pasadas finales. En las soldaduras de ángulo se denomina convexidad excesiva.
- Sobre penetración, es un exceso de metal en la raíz de las soldaduras ejecutadas por un solo lado.
- Ángulo de sobre espesor incorrecto, se debe a un valor excesivo del ángulo del plano tangente al metal de base y el del cordón en la línea de unión de ambos.
- Desbordamiento, es un exceso de metal de aportación que se solapa con la superficie del metal de base sin unirse con este.
- Defectos de alineación, se producen por diferencia de nivel entre las piezas soldadas o por un ángulo distinto del previsto.
- Hundimiento, es un desplazamiento del metal depositado provocado por una fusión excesiva que provoca una falta o un exceso de metal.
- Hueco, es un hundimiento que da lugar a una perforación de la soldadura.
- Falta de espesor, se debe a una insuficiencia local o continua del metal de aportación.
- Falta de simetría de las soldaduras de ángulo.
- Anchura y superficie irregulares.
- Rechupe de la raíz, es una falta de espesor provocado por contracción del metal fundido.
- Quemado, es provocado por una ebullición del metal fundido que produce una formación esponjosa en la raíz.
- Empalme defectuoso, es una irregularidad local de la superficie del cordón en una zona de empalme. En las figuras 25 y 26 se dan una serie de recomendaciones sobre formas deseables, admisibles e inaceptables tanto para soldaduras a tope como de ángulo.

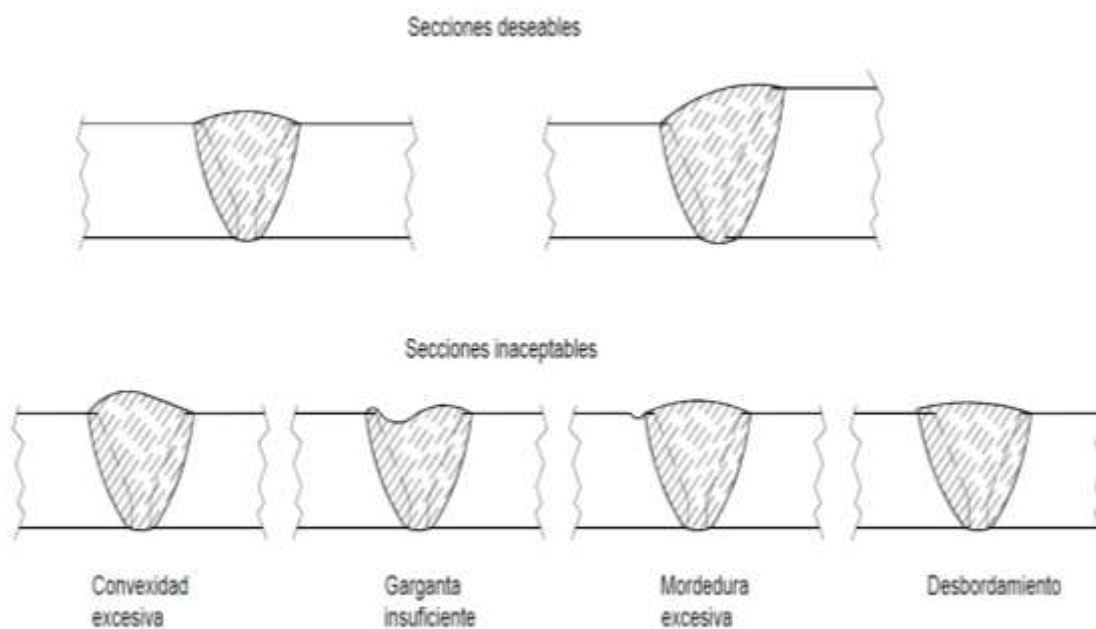


Figura 24 Defectos de Forma en Soldaduras a Tope

Fuente: (Garcimartin, 2002)

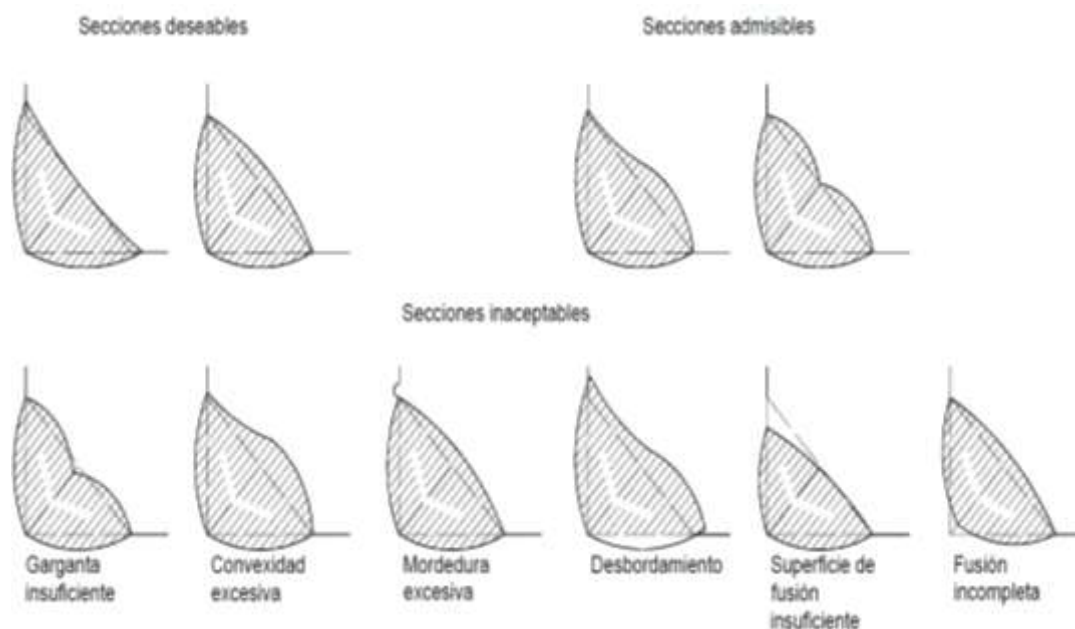


Figura 25 Defectos de Forma en Soldaduras de Angulo

Fuente: (Garcimartin, 2002)

1.5.8. RIESGOS DE UNA JUNTA SOLDADA MAL FABRICADA

Es importante establecer la necesidad de llevar a cabo un control de las juntas soldadas en estructuras metálicas, ya que al momento de garantizar la confiabilidad de estructura no se debe escatimar esfuerzo alguno.

El estudio de (wikibooks.org) dice lo siguiente:

Deben controlarse los procesos de soldado de las estructuras metálicas, dado que las altas temperaturas de este proceso producen una alteración significativa de las fases micro estructurales (ferrita / austenita), produciendo re cristalizaciones que además de producir cambios en las propiedades mecánicas del material, favorecen su corrosión. El manejo irresponsable o sin el cuidado necesario y otras veces defectos de fábrica pueden producir imperfecciones o picados en la superficie de los perfiles y pérdidas de material en recubrimiento, produciéndose una corrosión localizada sobre la imperfección.

Errores en la construcción de estructuras de Acero	
Defecto	Daño
<p>Inadecuada protección del acero</p> <ul style="list-style-type: none"> Falta de recubrimiento o material protector del acero (pinturas) 	<ul style="list-style-type: none"> Expone a los elementos de acero a los efectos del agua, aire, intemperie en general; ocasionando su corrosión, que conlleva a la disminución de su resistencia.
<p>Defectos en las uniones</p> <ul style="list-style-type: none"> Soldaduras defectuosas (grietas, mordeduras, discontinuidad, burbujas, impurezas...) 	<ul style="list-style-type: none"> Puede ocasionar grandes problemas en las estructuras, ya que las uniones representan un elemento fundamental. <ul style="list-style-type: none"> Desplazamientos indeseados, disminución de la capacidad de resistencia, colapso total o parcial de la estructura.

Figura 26. Errores en la construcción de estructuras de Acero

Fuente: (Centro de investigación en gestión integral de riesgos Venezuela, 2009)

1.5.8.1. Falla de estructuras por fatiga en juntas soldadas

Según la (Asociación Argentina de Materiales, p. 5), tenemos que:

El fenómeno de fatiga es considerado responsable aproximadamente de más del 90% de las fallas por rotura de uniones soldadas y precede muchas veces a la fractura rápida. Una discontinuidad que actúa como concentrador de tensiones puede iniciar bajo cargas cíclicas una fisura por fatiga que puede propagarse lentamente hasta alcanzar un tamaño crítico a partir del cual crece de manera rápida pudiendo conducir al colapso casi instantáneo de la estructura afectada. En presencia de cargas fluctuantes, en el vértice de discontinuidades geométricas más o menos agudas se produce un fenómeno de deformación elasto-plástica cíclica a partir del cual se produce la iniciación de la fisura por fatiga. La condición superficial y la naturaleza del medio cumplen un rol importante sobre la resistencia a la fatiga, esto es sobre el número de ciclos necesarios para que aparezca la fisura. Desde un punto de vista ingenieril, cuando la fisura adquiere una longitud de aproximadamente 0.25 mm se acepta habitualmente que se ha completado la etapa de iniciación. A partir de ahí se considera que se está en la etapa de extensión o de crecimiento estable que eventualmente culmina en la rotura repentina de la sección remanente.

Como ejemplo de la importancia de tener una estructura metálica confiable tenemos la experiencia vividas en países como Chile, Japón o Haití que han sufrido terremotos de gran magnitud, y debido a la calidad de sus construcciones se pudo salvar muchas vidas como es el caso de Japón y Chile, todo lo contrario ocurriría en Haití.

1.5.8.2. Análisis en edificio de acero estructural Sendai Japón.

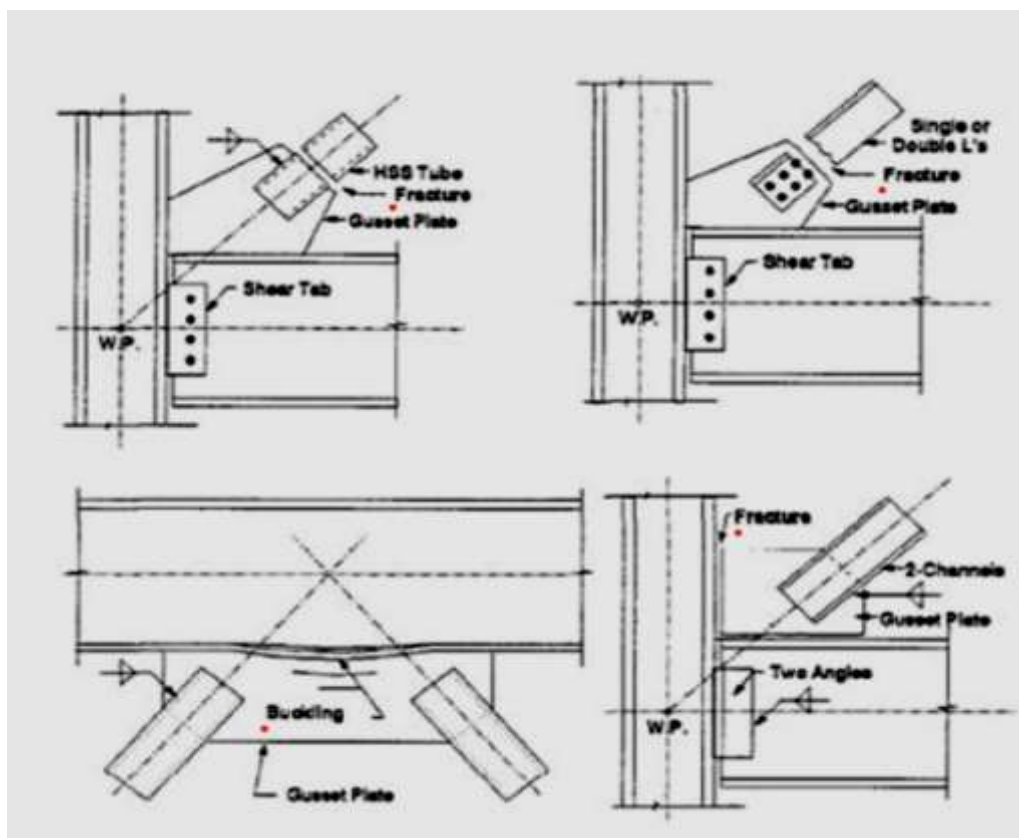


Figura 27. Fallas tipo observadas a raíz de sismos.

Fuente: (Otanu, 2011)

En la figura 28 podemos observar como el sismo provoco daños en juntas soldadas de la estructura pero debido a la calidad con las que se fabrican pudieron soportar el tiempo necesario para evacuar a las personas y la estructura no colapso.



Figura 28. Fallas en Juntas Soldadas Edificio en Sendai, Japón

Fuente: (Otanu, 2011)

1.5.8.3. Terremoto en Chile: el secreto de sus construcciones antisísmicas²

En el reportaje llevado a cabo por (BBC) se encontró lo siguiente:

Como en el caso del fuerte terremoto que remeció el país en abril de 2014, la destrucción que produjo en la infraestructura fue bastante menor en relación a su magnitud. Las imágenes del palacio presidencial de Haití desplomado después del terremoto de 2010 o, más atrás, de Ciudad de México hecha ruinas en 1985 llevan a preguntarse cómo es posible que en Chile eso no ocurra cuando vive sismos más fuertes. O al menos no en esas proporciones. En el "país más sísmico del mundo" rara vez se

² Reportaje publicado por BBC mundo en http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_chile_terremoto_edificios_az

desploma un edificio. En el terremoto pasado murieron seis personas, solo una por aplastamiento. Y en el fuerte sismo de 2010, en el que perdieron la vida más de 500 personas, la mayoría de las muertes fueron causadas por el tsunami que le siguió.

En Alto Hospicio, una de las localidades más afectadas por el sismo, el municipio estima que unas 2.000 viviendas presentan daños estructurales de distinta gravedad. Al menos un 60% son viviendas sociales, cita el diario chileno La Tercera. "La norma asegura que en Chile las estructuras mantengan una resistencia tal que permitan salvar vidas humanas, pero no obliga a que no sufran daños", le dice a BBC Mundo el arquitecto Jaime Díaz, profesor de la Universidad de Chile. Las normas de construcción son fundamentales. Exigen uso de materiales y estudios que encarecen mucho la construcción, y aun así, como se demuestra sismo tras sismo, parecen respetarse. "Es impensable construir, por lo menos en zonas urbanas, sin atender al cuerpo normativo legal", le dice a BBC Mundo el presidente del Colegio de Arquitectos de Chile, Sebastián Gray. Chile ha sufrido terremotos tan devastadores que eso, de alguna manera, impacta en la conciencia colectiva en el sentido de que más vale cumplir ciertas normas Sebastián Gray, Colegio de Arquitectos de Chile "Chile ha sufrido terremotos tan devastadores que también eso, de alguna manera, impacta en la conciencia colectiva en el sentido de que más vale cumplir ciertas normas", agrega. Los expertos coinciden en que una clave está en juntas (soldadas – empernadas) bien fabricadas, estructura de hormigón armado y acero, suficientemente flexibles y resistentes para dejar que el edificio se mueva, se balancee y no se caiga. El arquitecto Díaz explica que las construcciones modernas, además tienden "a incorporar elementos como los aisladores y los disipadores sísmicos que permiten que el movimiento de la tierra no se transmita al edificio y, si se transmite, que esa energía sea absorbida". "En el fondo, el terremoto es

una cantidad enorme de energía que se traspasa a las construcciones. Si no tiene modo de ser disipada, termina destruyendo todas las estructuras", precisa. Otro elemento crucial es el estudio del suelo para que los cimientos sean los adecuados. "A cada tipo de suelo corresponde un cálculo específico para el tamaño, forma, profundidad y resistencia de las fundaciones", explica Gray. "Es un análisis muy especializado que garantiza la estabilidad del edificio", agrega.

CAPITULO II

INTRODUCCIÓN A LA NORMA AWS D1.1

2. RESUMEN DE LAS SECCIONES Y CONTENIDOS DEL CÓDIGO

Según la norma AWS D1.1 tenemos lo siguiente:

1. **Requerimientos generales:** Esta sección contiene información básica sobre las generalidades y las limitaciones del Código.
2. **Diseño para las conexiones soldadas:** Esta sección contiene los requerimientos para el diseño de las conexiones soldadas compuestas de piezas tubulares o no-tubulares.
3. **Precalificación:** Está sección contiene los requerimientos sobre las excepciones de los WPS. (Welding Procedure Specification; “Procedimientos de Soldadura Especificados”) en cuanto a los requerimientos de calificación de este Código.
4. **Calificación:** Esta sección contiene los requerimientos de WPS y para el personal de soldadura (soldadores, operadores de soldaduras y pinchadores) que se necesitan para realizar el trabajo de acuerdo al Código.
5. **Fabricación:** Esta sección contiene los requerimientos, para la preparación, el armado estructural y la mano de obra para las estructuras de acero soldadas.
6. **Inspección:** Esta sección contiene los criterios para las calificaciones y responsabilidades de los Inspectores, los criterios de aceptación para la producción de soldaduras y los procedimientos oficiales para realizar la inspección visual y los ensayos no destructivos END (Nondestructive Testing).

7. **Soldadura “Stud”³**: Esta sección contiene los requerimientos de los conectores de corte en el acero estructural.
8. **Refuerzo y reparación de las estructuras existentes**: Esta sección contiene información básica pertinente para las modificaciones de las soldaduras o la reparación de las estructuras de acero existentes. (p. 3)

2.1. LIMITACIONES

“El código será utilizado bajo las siguientes condiciones:

- a) Aceros con un límite de fluencia menor a 690 MPa
- b) Aceros de un espesor mínimo de 1/8 de pulgadas 3 mm.
- c) Cuando se vayan a soldar metales base más delgados que 3 mm, deberían aplicarse los requerimientos de AWS D1.3”. (American Welding Society, 2010, p. 2)

2.2. DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS SEGÚN AWS D1.1 SECCIÓN DOS

Según lo establece la norma AWS D1.1, Esta sección cubre los requerimientos para los diseños de las conexiones soldadas. Está dividido en cuatro partes, de acuerdo a lo siguiente:

Parte A Requerimientos comunes para el Diseño de Conexiones Soldadas (Componentes No-tubulares y Tubulares)

Parte B Requerimientos Específicos para el Diseño de Conexiones No-tubulares (Estáticamente o cíclicamente cargadas). Los requerimientos deberán aplicarse además de los requerimientos de la parte A y B.

³ Soldadura de esparrago; Proceso de soldadura con arco eléctrico para unir pernos o componentes asimilares a partes básicas

Parte C Requerimientos específicos para el Diseño de Conexiones No-tubulares (Cíclicamente cargados) cuando sea aplicable, los requerimientos deberán aplicarse, además de los requerimientos de la parte A y B.

Parte D Requerimientos Específicos para el Diseño de las Conexiones Tubulares (Estáticamente o Cíclicamente Cargadas) (p. 5)

En el análisis de esta sección podemos tomar como punto de partida aspectos fundamentales que establece la norma AWS D1.1, como es la información sobre planos y diseños establecida por el literal 2.3.1; en donde se recomienda que se detalle la designación de la especificación del metal base, la localización, tipo, tamaño y extensión de todas las soldaduras, la cuales deberán mostrarse claramente en los planos y especificaciones del Contrato.

Continuando con el análisis en el artículo 2.3.3 Requerimientos Específicos de Soldadura se recomienda que “en el contrato y planos de taller se deben indicar aquellas uniones o grupos de uniones en las cuales el “Ingeniero o el Contratista requieran de un orden específico de armado, de secuencia de soldadura, la técnica de soldadura u otras precauciones especiales” (American Welding Society, 2010, p. 8).

En el artículo 2.3.4 Tamaño y Longitud de las soldaduras se detalla cómo debe constar en los planos de diseño y contrato “el tamaño de la soldadura requerida “E”, para soldaduras de filete y uniones T inclinadas, básicamente se menciona que la longitud efectiva de las uniones soldadas en T y en filete deben estar claramente detallado en los planos y los contratos” (American Welding Society, 2010, p. 8) ; adicional a esto podemos mencionar el artículo 2.3.5.1 Soldaduras Ranuradas de penetración parcial, donde se recomienda que los planos de taller deberán indicar las profundidades de las ranuras “S” necesaria para lograr el tamaño de la soldadura “E” requerida para el proceso de soldadura y la posición de la soldadura que vaya a utilizarse, el tamaño de la

soldadura “E”, se indicara en la simbología de soldadura como se establece en la figura 29.

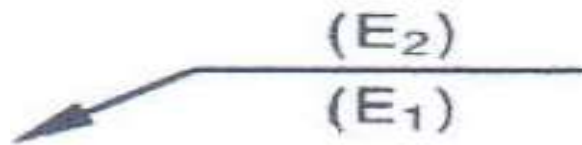


Figura 29. Indicador de Espesores de Soldadura

Fuente: (American Welding Society, 2010)

En general toda la sección 2.3 detalla la manera y la forma en que se debe representar y especificar los planos de las soldadura en filete y tipo T; esta subsección nos será de mucha utilidad en el proyecto en cuanto se necesita saber si los planos fueron realizados de la manera más adecuada, en los cuales se pueda verificar la longitud y forma de la soldadura de una manera eficaz.

2.2.1. ÁREAS EFECTIVAS

El estudio de las áreas efectivas llevadas a cabo por la norma es una herramienta de apoyo para el ingeniero responsable del diseño de las soldaduras, en esta sección se establece recomendaciones muy bien fundamentadas al momento de establecer las longitudes efectivas de soldaduras ranuradas y de filete.

La subsección 2.4 en donde se describe lo referente a la longitud efectiva de soldaduras ranuradas como lo describe el 2.4.1.1 Longitud efectiva en donde se estipula que la longitud efectiva máxima de cualquier soldadura ranurada sin tomar en cuenta su extensión, “deberá ser el ancho de la parte unida, perpendicular a la dirección de la tensión o carga de compresión. Para las soldaduras ranuradas que transmiten corte, la longitud efectiva es la longitud especificada Lo referente al tamaño de soldaduras ranuradas” (American

Welding Society, 2010, p. 10), la norma en su artículo 2.4.1.2 describe que el tamaño de una soldadura ranurada de penetración completa deberá ser el espesor más delgado de la parte unida.

También se encontrara la normativa para el tamaño mínimo de la soldadura de penetración parcial expresado detalladamente en el artículo 2.4.1.3.

2.2.2. SOLDADURA DE FILETE

En soldaduras de filete la longitud efectiva (Recta), la norma recomienda que deberá ser la longitud total del tamaño total del filete incluyendo los retornos finales. No se asumirá ninguna reducción en la longitud efectiva en los cálculos del diseño esto con la finalidad de permitir el cráter de inicio o la detención de soldadura.

En esta sección también se detalla la longitud mínima de la soldadura de filete la misma que será al menos cuatro veces el tamaño nominal, o el tamaño efectivo de la soldadura, deberá considerarse de forma que no exceda el 25% de su longitud efectiva. Si el proceso es de soldadura de filete intermitente la longitud mínima de los filetes deberá ser de 1-1/2 pulgadas (38 mm)

El tamaño de la garganta efectiva de una combinación de soldaduras ranuradas de penetración parcial y una soldadura de filete, se establece de la siguiente manera:

La garganta efectiva de una soldadura deberá definirse como la distancia mínima desde la raíz de la unión hasta su superficie con o sin una reducción de 1/8 pulg [3 mm], menos alguna convexidad.

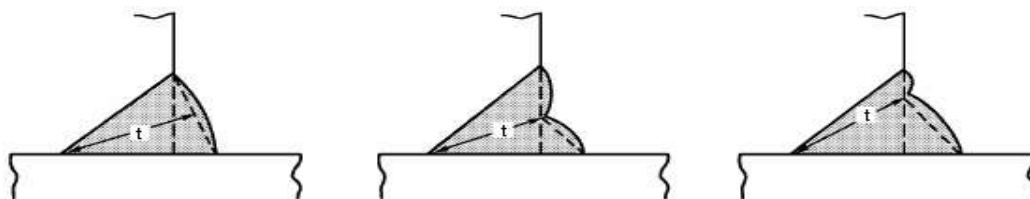


Figura 30 Tamaño de la garganta efectiva soldadura tipo filete

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Por otra parte se tiene que “el tamaño mínimo de la soldadura de filete no deberá ser menor al tamaño requerido para transmitir la carga; estableciéndose de la siguiente manera el máximo tamaño de la soldadura de filete en uniones de traslape (American Welding Society, 2010, p. 12)”

- i. Para metales base inferior a $\frac{1}{4}$ de pulgada se recomienda [6 mm] de espesor ver figura 31

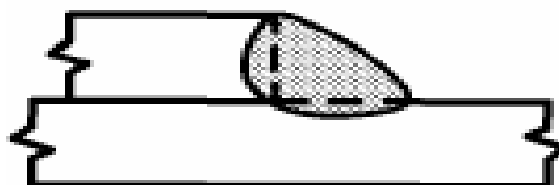


Figura 31 Traslape de Soldaduras

Fuente: (American Welding Society, 2010)

- ii. $\frac{1}{16}$ de pulgada o [2 mm] menos de espesor del metal base, para metal base de $\frac{1}{4}$ pulgada o superior. Ver figura 32

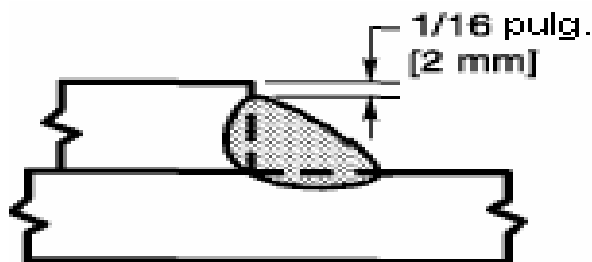


Figura 32 Traslape de Soldaduras Tipo Filete

Fuente: (American Welding Society, 2010)

2.2.3. TAMAÑO MÍNIMO DE SOLDADURA

A menos que se fundamente otro modo en los diseños, los empalmes de las columnas que estén terminados para soportar esfuerzos, deberán estar conectados por soldaduras de ranuras de penetración parcial o por soldaduras de filete, suficientes como para mantener las partes en su lugar. En donde estén terminados otros componentes para compresión, que no sean columnas para soportar en empalmes o en conexiones, deberán estar diseñados para mantener todas las partes alineadas, y deberán proporcionarse para el 50% de la fuerza en el componente. Se aplica según la tabla 2

Tabla 2
Tamaño mínimo de la soldadura pre-calificada de penetración parcial

Espesor del metal base (T)	Tamaño mínimo de soldadura	
	Pulgadas [mm]	pulgadas mm
1/8 [3] a 3/16 [5] incl.	1/16	2
Más de 3/16 [5] a 1/4 [6] incl.	1/8	3
Más de 1/4 [6] a 1/2 [12] incl.	3/16	5
Más de 1/2 [12] a 3/4 [20] incl.	1/4	6
Más de 3/4 [20] a 1-1/2 [38] incl.	5/16	8
Más de 1-1/2 [38] a 2-1/4 [57] incl.	3/8	10
Más de 2-1/4 [57] a 6 [150] incl.	1/2	12
Más de 6 [150]	5/8	16

Fuente: Norma AWS D1.1 2010, sección tres. Precalificación WPS. Pág. 74

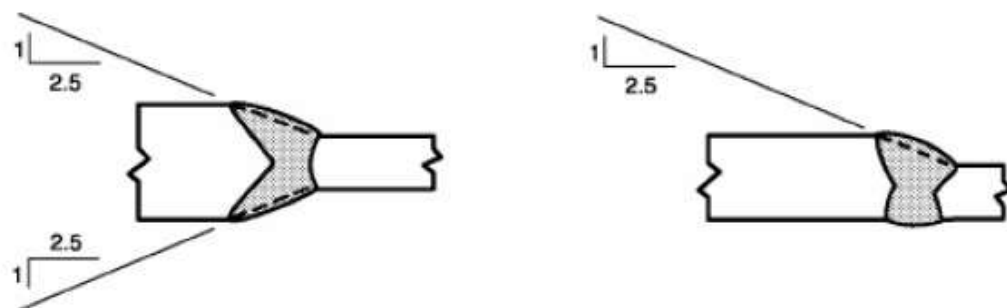
Cuando se proceda a tener una combinación de dos o más soldaduras de diferente tipo ya sean estas de filete o ranuradas o de tapón para compartir la carga en una sola conexión, la capacidad de la conexión se establecerá como la suma de las soldaduras individuales relativas a la dirección de la carga aplicada. Este método no se aplica a las soldaduras de filete que refuerzan a las soldaduras de penetración completa.

Según lo establecido por (American Welding Society, 2010) tenemos:

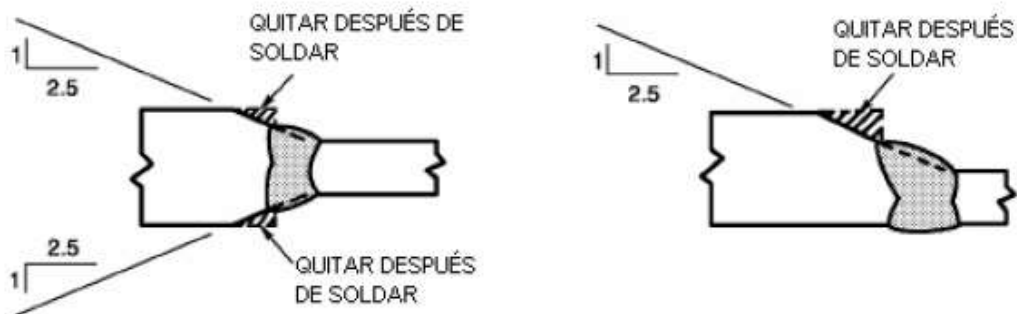
Las soldaduras de filete pueden aplicarse sobre las soldaduras ranuradas de penetración completa y penetración parcial de uniones en T y uniones de esquina, con el propósito de contornear las superficies de la soldadura o para reducir las concentraciones de esfuerzo en la esquina de 90°. Cuando se usa en tales soldaduras de filete los contornos de superficie en aplicaciones estáticamente cargadas, el tamaño no deberá ser mayor que 8 mm. El refuerzo tipo filete en la superficie de las soldaduras de unión en T y en uniones de esquina que ocurren naturalmente, no deberán ser rechazadas, ni tampoco necesitarán quitarse; ya que no interfieren con otros elementos de la construcción. Las conexiones que están soldadas a un componente y empernadas o remachadas a la otra, deberán permitirse. Sin embargo, los remaches y pernos que se usan en conexiones de soporte (provisorio) no deberán considerarse como para compartir las cargas en combinación con las soldaduras en una superficie de empalme común. (p. 12)

2.2.4. TRANSICIÓN DE JUNTAS A TOPE

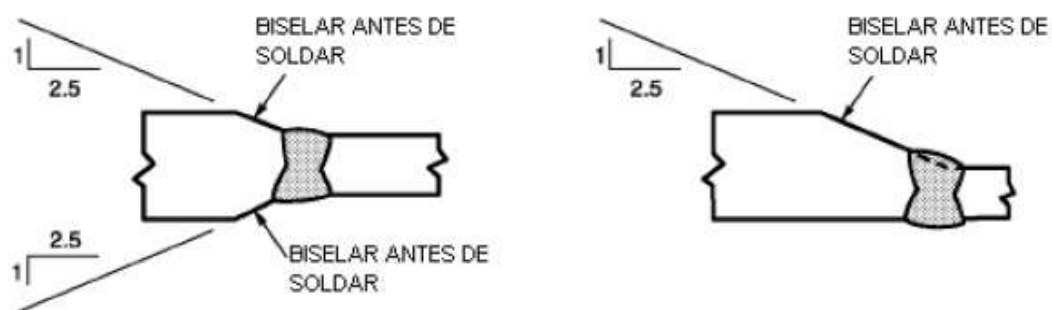
“La tensión de las uniones a tope entre componentes alineados axialmente, de diferentes espesores o anchos, o ambos, y que están sujetos a un esfuerzo de tensión mayor que 1/3 de lo permitido según diseño del esfuerzo de tensión, deberá efectuarse de tal manera que la inclinación en la transición no exceda de 1 a 2 ½ pulgadas” (American Welding Society, 2010, p. 15) (ver Figura 33 sobre el espesor y Figura 34 sobre el ancho). La transición deberá lograrse biselando la parte más gruesa, estrechando la parte más ancha, inclinando el metal de soldadura, o mediante una combinación de ambos. Cuando se requieran las transiciones en el espesor o en el ancho, en los casos donde el esfuerzo de tensión sea inferior al permisible, éstas deberán mostrarse en los documentos del contrato.



A) TRANSICIÓN POR INCLINACIÓN DE LA SUPERFICIE SOLDADA



B) TRANSICION POR INCLINACIÓN DE LA SUPERFICIE SOLDADA Y BISELADO



C) TRANSICIÓN BISELANDO LA PARTE MAS GRUESA

Figura 33 Transición de Juntas a Tope en Partes de Espesores Iguales

Fuente: (American Welding Society, 2010)

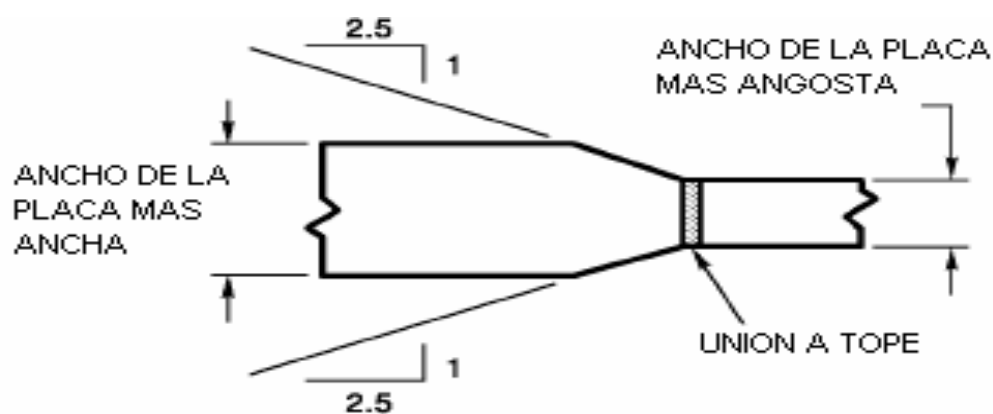


Figura 34 Configuración y detalles de la unión espesores diferentes

Fuente: (American Welding Society, 2010)

La (American Welding Society, 2010) dice:

Estarán prohibidas las soldaduras ranuradas de penetración completa de longitud parcial o intermitente, excepto que los componentes insertos de los elementos conectados por soldaduras en ángulo puedan tener soldaduras acanaladas de longitud limitada en puntos de aplicación de carga localizada para participar en la transferencia de carga localizada. La soldadura acanalada deberá extenderse de tamaño uniforme, a lo menos en la longitud requerida para transferir la carga. Más allá de esta longitud, la ranura se realizará con una transición en profundidad cero a una distancia no inferior a 4 veces su profundidad. La acanaladura deberá rellenarse pareja (a ras), antes de la aplicación de la soldadura en ángulo. Las soldaduras ranuradas intermitentes de penetración parcial, las de biselado sobresaliente y las soldaduras acanaladas sobresalientes pueden utilizarse para transferir el esfuerzo cortante entre las partes conectadas.(p. 12)

2.2.5. CONFIGURACIÓN SOLDADURAS DE FILETE

Para la configuración de soldadura de filete (American Welding Society, 2010) recomienda:

Las soldaduras de filete, transversales en uniones traslapadas que transfieren el esfuerzo entre las partes cargadas axialmente, deberán ser de doble soldadura (Ver Figura 35), excepto en donde la deformación de la unión sea lo suficientemente restringida como para evitar su abertura bajo carga. El traslape mínimo de las partes en las uniones de traslape que soportan esfuerzo, deberá ser de 5 veces el espesor de la parte más delgada, pero no inferior a 1 pulgada (25 mm).

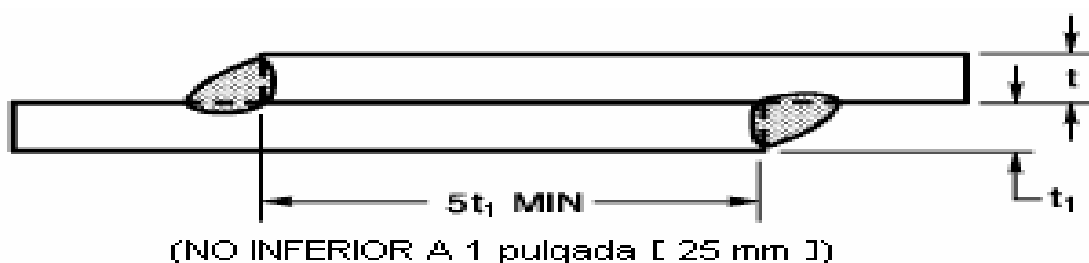


Figura 35 Configuración y detalles de la Unión (Uniones Soldadas en Filete)

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Si las soldaduras de filete longitudinales se van a utilizar solamente en las uniones traslapadas de las conexiones finales de barra plana o en los componentes de placas metálicas, la longitud de cada soldadura de filete no deberá ser inferior a la distancia perpendicular entre ellas. El espacio transversal de las soldaduras de filete longitudinales utilizadas en las conexiones terminales no deberá exceder 16 veces el espesor de la parte más delgada de la conexión, a menos que se haga una estipulación apropiada (como soldaduras intermedias tipo tapón redondo o alargado) para evitar la deformación o separación de las partes. Las soldaduras de filete longitudinal pueden estar en los bordes del miembro (componente) o en las ranuras. El diseño de las conexiones que utilicen

soldaduras de filete longitudinales para los componentes que no sean cortes transversales de barra plana, deberá seguir las especificaciones generales del diseño. (p. 16).

2.2.5.1. Terminaciones de las soldaduras de filete

Para Terminaciones de las soldaduras de filete la (American Welding Society, 2010) dice:

Las terminaciones de las soldaduras de filete pueden extenderse hasta los extremos o hasta los lados de los componentes o pueden interrumpirse o tener extremos redondeados, excepto en algunos casos limitados. En las uniones traslapadas en las cuales una parte se extiende más allá del borde o del lado de una parte sujeta a un esfuerzo de tensión, las soldaduras de filete deberán terminar en un tamaño no menor que el tamaño de la soldadura, desde el comienzo de la extensión (Ver Figura 36).

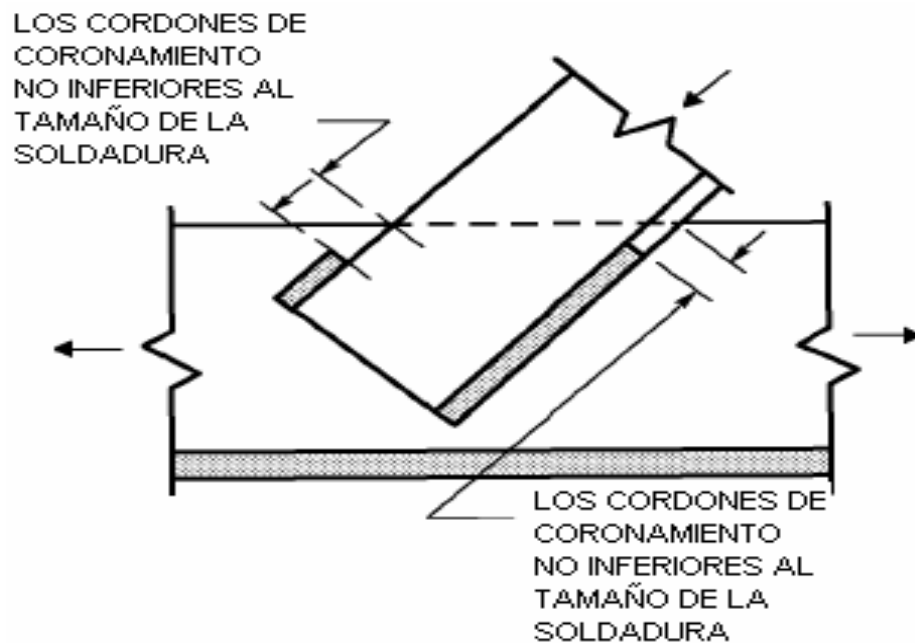


Figura 36 Terminaciones de las soldaduras de Filete

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Las uniones deberán disponerse de manera que permitan la flexibilidad en el diseño de conexión. Si los lados sobresalientes de conexión con el metal-base están unidas con retornos en los extremos, la longitud del retorno en el extremo no deberá exceder cuatro veces el tamaño nominal de la soldadura (ver Figura 37 sobre la extensión de las conexiones flexibles.)

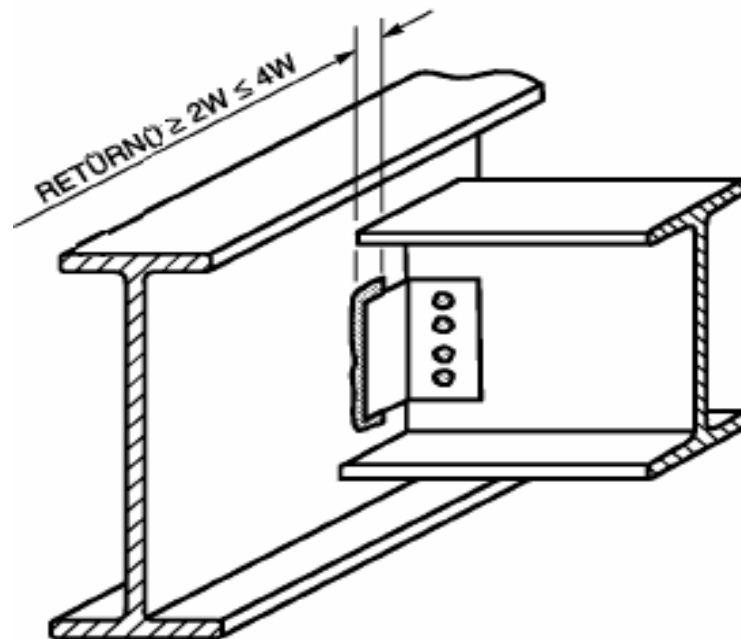


Figura 37 Extensión de las conexiones flexibles

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Las soldaduras de filete en los lados opuestos de un plano común, deberán interrumpirse en la esquina común de ambas soldaduras (Ver Figura 38). También pueden usarse las soldaduras en ángulo intermitente para transferir el esfuerzo entre las partes conectados. (p. 16)

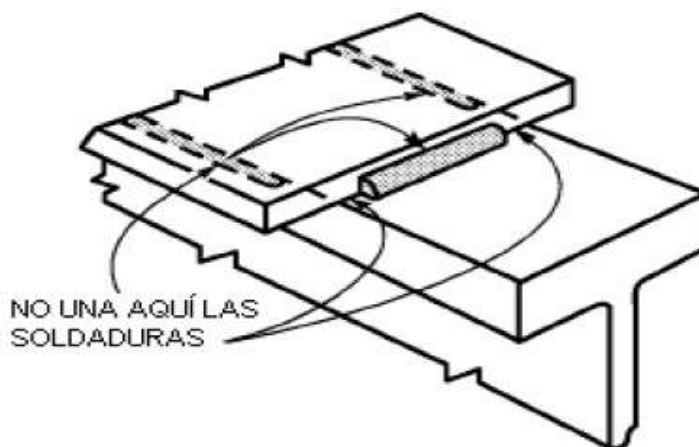


Figura 38 Soldaduras de filete en lados opuestos

Fuente: (American Welding Society, 2010)

2.2.6. PLACAS DE RELLENO DELGADAS Y GRUESAS

Las placas de relleno inferiores a 6 mm de espesor no deberán utilizarse para transferir tensión, (Ver Figura 39).

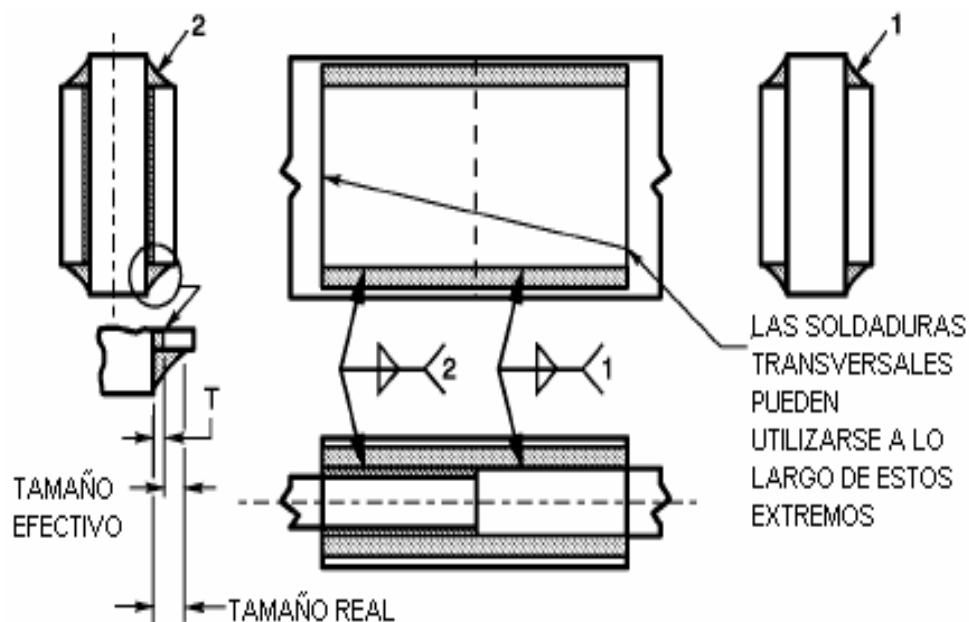


Figura 39 Placas de relleno gruesas y delgadas

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Observando en detalle la figura 39 se determina que el área efectiva de las soldaduras deberá ser igual al de la soldadura 1, pero su tamaño deberá ser el tamaño efectivo más el espesor de la placa relleno T.

Adicional a lo anteriormente mencionada la (American Welding Society, 2010) señala que:

Cuando el espesor de la placa de relleno es adecuado para transferir la fuerza aplicada entre las partes conectadas, la placa de relleno deberá prolongarse más allá de los bordes de la parte externa conectada al metal base. Las soldaduras que unen la parte externa conectada al metal base con la placa de relleno, deberán ser suficientes para transmitir la fuerza a la placa de relleno, y el área sujeta a la fuerza aplicada en la placa de relleno deberá ser adecuada para evitar recargar la placa de relleno con la parte interna conectada al metal base, deberán ser suficientes para transmitir la fuerza aplicada (Ver Figura 40)

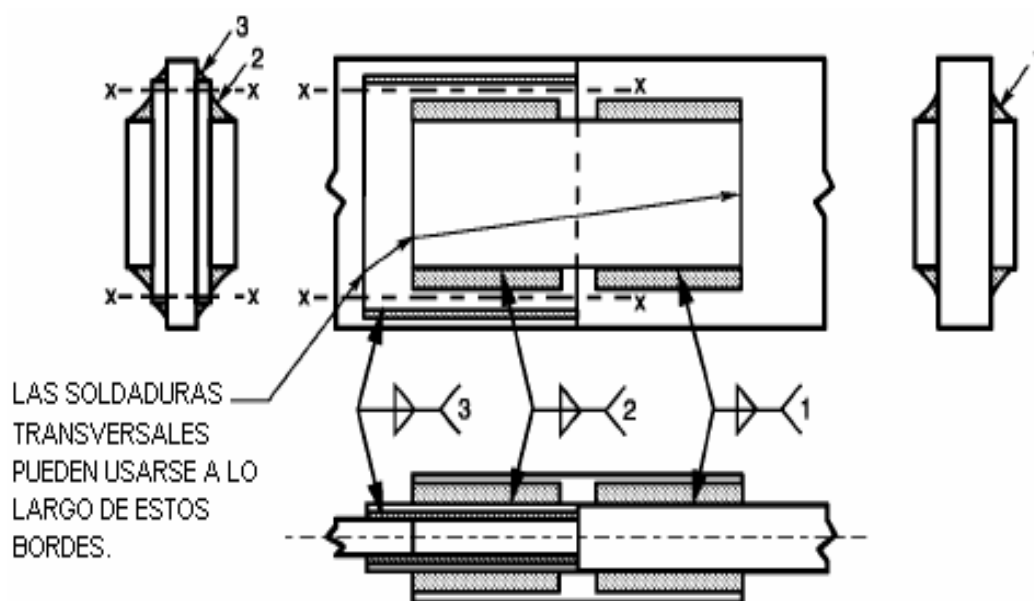


Figura 40 Placas de Relleno Traslapa

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Las áreas efectivas de las soldaduras 1, 2 y 3 deberán ser adecuadas para transmitir la fuerza del diseño, y la longitud de las soldaduras 1 y 2 deberán ser adecuadas para evitar la sobre-tensión de la placa de relleno en el corte a lo largo de los planos x-x, adicional a esto, todas las uniones que requieren placas de relleno deberán contar con todos los detalles del plano de taller y de montaje. (p. 17)

2.2.7. ESPACIO MÁXIMO DE LAS SOLDADURAS INTERMITENTES

El máximo espacio longitudinal de las soldaduras intermitentes que junten una placa a otros componentes no deberá ser superior a 24 veces el espesor de la placa más delgada, ni exceder los 300mm, la distancia longitudinal entre las soldaduras intermitentes de filete que conectan dos o más perfiles laminados, no deberán exceder 600mm.

Para los componentes de acero expuestos a la intemperie, no pintado, expuesto a la corrosión atmosférica, si se van a utilizar soldaduras de filete intermitente, el espacio no deberá exceder 14 veces el espesor de la placa más delgada, ni los 180 mm.

2.2.8. DETALLES DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

Las juntas a tope entre las partes que tienen un espesor diferente y están sujetas a esfuerzo de tensión cíclica, deberán tener una transición uniforme entre las superficies descentradas en una inclinación no mayor a $1 - 2 \frac{1}{2}$ pulgadas con respecto a la superficie de cada parte. La transición puede ejecutarse realizando la pendiente con la soldadura, biselando la parte más gruesa o por la combinación de ambos métodos. (Ver Figura 41).

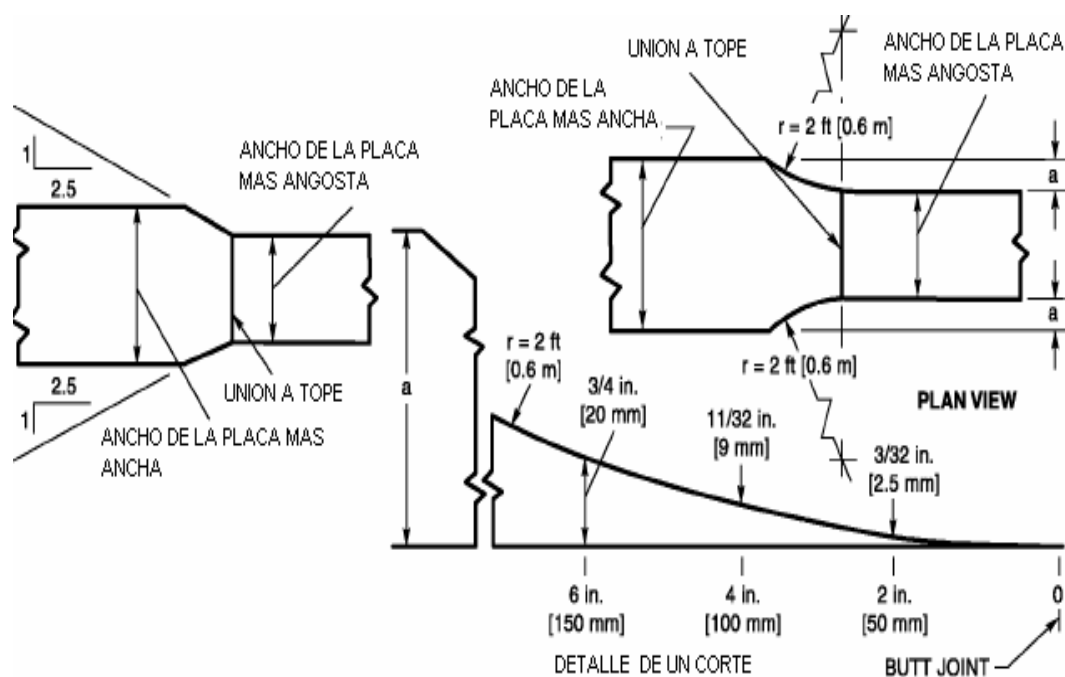


Figura 41 Detalles de fabricación y montaje

Fuente: (American Welding Society, 2010)

2.2.8.1. Soldaduras ranuradas y uniones de esquina longitudinales

“La plancha de respaldo de acero, si se utiliza deberá ser continua, a todo el largo de la unión. Las soldaduras para anexar la plancha de respaldo pueden estar dentro o fuera de la ranura “. (American Welding Society, 2010, p.16)

2.2.8.2. Soldaduras de contorno en las uniones de esquina y uniones en T

En las juntas de esquina transversales y en juntas en T sometidas a tensión, o que la tensión se deba a curvaturas, deberá añadirse en las esquinas entrantes un solo pase de soldadura de filete de un tamaño no inferior 6 mm.

2.2.8.3. Terminaciones de soldaduras de filete

Para las conexiones y detalles sometidos a fuerzas cíclicas en elementos sobresalientes, de una frecuencia y magnitud que tendería a ocasionar una falla progresiva que se inicie en un punto de esfuerzo máximo al final de la soldadura, las soldaduras de filete deberán dar vuelta alrededor del lado o del final; a una distancia no inferior a dos veces el tamaño de la soldadura nominal.

2.2.9. UNIONES Y SOLDADURAS PROHIBIDAS

Para Uniones y Soldaduras Prohibidas (American Welding Society, 2010) recomienda:

Las soldaduras ranuradas efectuadas de un solo lado sin plancha de respaldo, o hechas con planchas de respaldo que no sean de acero, que no hayan calificado para la conformidad con la Sección 4 de la Norma AWS D1.1 deberán prohibirse, excepto que estas prohibiciones para soldaduras ranuradas de un lado no deberán aplicarse a lo siguiente:

- Componentes secundarios o miembros que no soporten esfuerzo.
- Uniones de esquina paralelas a la dirección del esfuerzo calculado entre componentes de elementos contruidos.

Las soldaduras de ranura en bisel simple y las soldaduras ranuradas en J en uniones soldadas en posición plana deberán prohibirse en donde las uniones ranuradas en V o en U se puedan practicar. Las soldaduras de filete que sean inferiores a 5 mm deberán prohibirse; así como las soldaduras en T y de esquina con penetración complete sujetas a esfuerzo de tensión transversal cíclico con la barra de respaldo dejada en su lugar, deberán prohibirse. (p. 16)

2.3. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA AWS D1.1 SECCIÓN CINCO “FABRICACIÓN”

2.3.1. METAL BASE

“Los documentos del contrato deben asignar la especificación y clasificación del metal base que se utilizara. Cuando la soldadura está involucrada en la estructura, donde sea posible se deben usar metales base aprobados”, enlistados en la tabla 3. (American Welding Society, 2010, p. 199)

Tabla 3

Metales base aprobados por AWS D1.1

Aceros		Mínima Resistencia a la fluencia		Rango de Tracción	
		Ksi	MPa	Ksi	MPa
ASTM A36	Espesor hasta 20 mm	36	250	58-80	400-550
ASTM A53	Grado B	35	240	60 min	415 min
ASTM A106	Grado B	35	240	60 min	415 min

Fuente: Norma AWS D1.1 edición 2010, sección tres. Precalificación WPS tabla 3.1.

2.3.2. CONSUMIBLES DE SOLDADURAS

En el proceso de soldadura en estructuras metálicas se debe establecer la clasificación y tamaño del electrodo, voltaje, amperaje y longitud del arco, los cuales deben ser acorde al espesor del material, tipo de ranura, posiciones de soldadura y otras circunstancias relacionadas con el proceso de soldadura que se esté llevando a cabo.

Cuando se utilice gas o mezcla de gases como protección deben estar en conformidad con los requerimientos de AWS A5.32; cuando se mezclen en el lugar de la soldadura, deberán utilizarse los medidores apropiados para proporcionar la correcta mezcla de los gases seleccionados. El porcentaje de gases deberá estar en conformidad con los requerimientos establecidos en WPS.

Un aspecto que también se debe tomar en cuenta es el de los consumibles para soldaduras que se hayan sacado de su envase original, deberán protegerse y almacenarse, de modo que no se afecten las propiedades de la soldadura. También se verificará que los electrodos deben estar secos y en condiciones adecuadas para ser utilizadas.

Todos los electrodos que tengan recubrimientos bajos en hidrógeno, en conformidad con AWS A5.1 y AWS A5.5, deberán ser adquiridos en contenedores sellados herméticamente. Inmediatamente después de abrir el contenedor que está herméticamente sellado, los electrodos deberán almacenarse en hornos mantenidos a una temperatura de al menos 120° C. Los electrodos no pueden volver a secarse más de una vez.

“Los electrodos expuestos a la atmósfera por períodos superiores a los permitidos por la columna A, Tabla 4 pueden devolverse a un horno de mantención a 120° C mínimo; después de un período de mantención mínimo de cuatro horas a 120° C, los electrodos pueden volver a ocuparse” (American Welding Society, 2010, p. 200).

Tabla 4
Tiempo de Secado de Electrodo

Electrodo	Columna A (Horas) Electrodo expuestos al medio ambiente por periodos más largos a los señalados, deberán ser secados nuevamente antes de usarse	Columna B (horas) Electrodo expuestos al medio ambiente por periodos más largos a aquellos establecidos por ensayos deberán ser secados nuevamente antes de usarse
E70XX	4 máx.	Más de 4 a 10 máx.
E70XXR	9 máx.	
E70XXHZR	9 máx.	
E7018M	9 máx.	

Fuente: Norma AWS D1.1, edición 2010, Sección 5. Fabricación. Tabla 5.1, pág. 216

“El fundente utilizado para SAW debe estar seco y libre de contaminación de tierra, cascarilla de laminación u otro material extraño. Todo el fundente debe adquirirse en paquetes que puedan ser almacenados bajo condiciones normales por lo menos durante seis meses sin que dicho almacenamiento afecte sus características o propiedades de soldadura.” (American Welding Society, 2010, p. 201)

2.3.3. VARIABLES DEL PROCESO WPS

“Las variables de soldaduras deberán estar en conformidad con un proceso WPS escrito (Ver Anexo 3). Cada pasada deberá tener una fusión completa con el metal base adyacente y no deberá haber depresiones o socavamientos indebidos en la garganta de la soldadura. Todos los soldadores, los operadores de soldadura deberán estar informados sobre el uso apropiado de los procesos WPS; y deberá seguirse el proceso WPS aplicable durante la ejecución de la soldadura”. (American Welding Society, 2010, p. 201)

2.3.4. RESPALDO

Para realizar el respaldo de acero se deberá cumplir con lo siguiente:

- a) Las soldaduras de ranura que se realice con respaldo metálico deberán tener el metal de soldadura totalmente fundido con el respaldo.
- b) “El respaldo de acero deberá hacerse en forma continua, a todo el largo de la soldadura. Todas las uniones en respaldo metálico deberán ser uniones a tope de soldaduras de ranura de penetración completa, que cumplan con todos los requerimientos de la Sección 5 del código AWS D1.1”. (American Welding Society, 2010, pág. 204).
- c) Para estructuras estáticamente cargadas, el respaldo para la soldadura en sección cerradas como estructuras HSS⁴ se lo realizara con una o dos piezas bajo las siguientes condiciones:
 - El espesor nominal de la pared de la sección cerrada no deberá exceder 16 mm
 - El perímetro exterior de la sección no deberá exceder los 163 mm
 - La intermitencia entre los respaldo de acero no deberá exceder 6 mm
 - La interrupción de los respaldo de acero no deberá ser localizada en las esquinas

Para columnas rectangulares cargadas estáticamente, la discontinuidad del respaldo está permitida en soldadura de ranura de penetración completa soldadas en esquinas, en los empalmes y en los detalles de la conexión.

El espesor nominal mínimo recomendado para las barras del respaldo son las que se indican en la tabla 5:

⁴ Sección Cuadrada Hueca

Tabla 5
Espesor Mínimo de barras de respaldo

Espesor Mínimo		
Procesos	Pulgadas	Milímetros
GTAW	1/8	3
SMAW	3/16	5
GMAW	¼	6
FCAW-S	¼	6
FCAW-G	3/8	10
SAW	3/8	10

Fuente: Norma AWS D1.1, edición 2010, sección cinco.

Fabricación, Pág. 204

2.3.5. AMBIENTE DE SOLDADURA

La soldadura no deberá realizarse si está presente viento o alguna corriente fuerte, cuando las superficies estén húmedas o expuestas a la lluvia, a menos que la soldadura este protegida por una estructura especial podrá realizarse, la misma que también puede servir para reducir la velocidad del viento hasta un máximo de 8 km/h. El trabajo se lo efectuara de preferencia a temperatura ambiente normal y evitar que el personal de soldadura este expuesto a condiciones adversas.

2.3.6. CONFORMIDAD CON EL DISEÑO

Los tamaños y longitudes de las soldaduras no deberán ser menores a lo establecido en los diseños y planos, a excepción de lo permitido en la tabla 8, la ubicación de las soldaduras se cambiara solo con la aprobación del ingeniero responsable.

2.3.7. TAMAÑOS MÍNIMOS DE SOLDADURAS TIPO FILETE

En la tabla 6 se indica el tamaño que deben cumplir las soldaduras de filete para los casos más comunes, con excepción de las soldaduras de filete utilizadas para reforzar soldaduras de canal y aquellas que tengan alguna especificación en especial detallada en los diseños y planos.

Tabla 6

Tamaños mínimos de soldaduras tipo filete

Espesor del Metal Base		Tamaño mínimo de la Soldadura de Filete	
Pulg	Mm	Pulg	Mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	1/8	3
$1/2 < T \leq 3/4$	$6 < T \leq 12$	3/16	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	1/4	6
$3/4 < T$	$20 < T$	5/16	8

Fuente: Norma AWS D1.1 edición 2010. Sección 5, Fabricación, pág. 217

2.3.8. PREPARACIÓN DEL METAL BASE.

Las superficies en las cuales se vaya a depositar el material de aporte deberán estar lisas, uniformes, libres de grietas, ralladuras, fisuras, escoria, oxido, humedad, grasas y otros materiales extraños que podrían impedir una

soldadura apropiada o la formación de gases indeseados, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7
Preparación del metal base

Descripción de Discontinuidad	Reparación Requerida
Cualquier discontinuidad de 25 mm de longitud o menor	Ninguna, no necesita ser analizada
Cualquier discontinuidad de 25 mm de longitud y 3 mm de profundidad máxima	Ninguna, pero la profundidad debe ser analizada
Cualquier discontinuidad de más de 25 mm de longitud con profundidad de más de 3 mm pero no más grande de 6 mm	Remover, no necesita soldarse
Cualquier discontinuidad de más de 25 mm de longitud con profundidad de más de 6 mm pero no más grande de 25 mm.	Remover completamente y soldar

Fuente: Norma AWS D1.1 edición 2010. Sección 5, Fabricación. Pág. 205

2.3.9. REPARACIÓN

En la reparación y determinación de los límites de las discontinuidades producidas en planta, visualmente observadas en superficies de corte, la

cantidad de metal removido debe ser el mínimo para remover las discontinuidades.

Todas las reparaciones de discontinuidades deben hacerse mediante:

- Preparando adecuadamente el área de reparación
- Soldando con un proceso aprobado de bajo hidrogeno

2.3.10. Preparación de la Junta

Para la preparación de la junta o para la eliminación de trabajo o metal inaceptable, puede usarse el maquinado, el corte térmico, corte y remoción con o sin plasma, cincelado o esmerilado.

2.3.11. DIMENSIONES DEL AGUJERO DE ACCESO A LA SOLDADURA

Todos los agujeros de acceso a la soldadura deben tener una longitud desde el borde de la preparación de la junta soldada a la superficie interna no menor 1-1/2 veces el espesor del material en el cual el agujero está hecho.

El agujero de acceso deberá ser detallado para proporcionar espacio para el respaldo cuando sea necesario y también para proporcionar acceso adecuado a la soldadura.

2.3.12. APUNTALADO Y SOLDADURAS AUXILIARES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los apuntalados y las soldaduras auxiliares en la construcción deben hacerse con un WPS calificado o precalificado y por personal capacitado.

Los apuntalados y soldaduras auxiliares que no hayan sido retiradas, deberán cumplir con los requerimientos de inspección visual para que sean aceptados.

2.3.13. TOLERANCIA DE LAS DIMENSIONES DE LA JUNTA

La distancia entre placas para soldaduras de filete no debe exceder los 5 mm, excepto en casos que involucren placas de 75 mm o más de espesor, en tales casos puede usarse una abertura máxima de 8 mm.

Las aberturas de raíz mayores a lo permitido, pero no mayores a dos veces el espesor de la parte más delgada o 20 mm, el que sea menor, pueden ser corregidas mediante soldadura antes de realizar la unión.

Los miembros que serán soldados deben estar en correcto alineamiento y sostenidos en su posición con tornillos, abrazaderas, cuñas, tensores, toma puntas y otros dispositivos adecuados, o por apuntalados hasta que la soldadura haya sido completada.

El uso de utillajes es recomendado donde sea practicable. Deben tomarse las medidas adecuadas para el alabeo y la contracción.

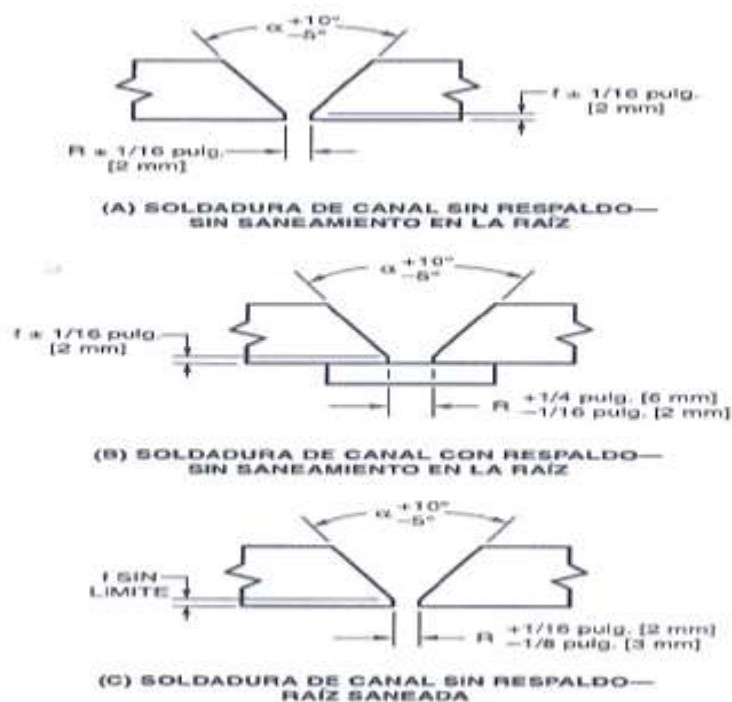


Figura 42 Tolerancia de las dimensiones de la junta

Fuente: (American Welding Society, 2010)

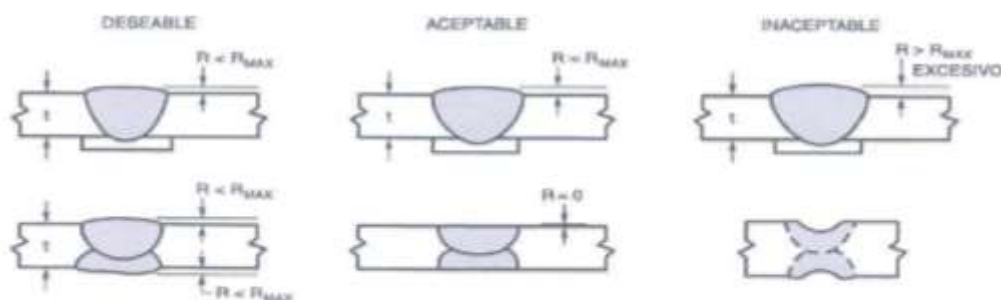
2.3.14. PERFILES DE SOLDADURA

Todas las soldaduras deberán cumplir con los criterios de aceptación visual de la tabla 8.

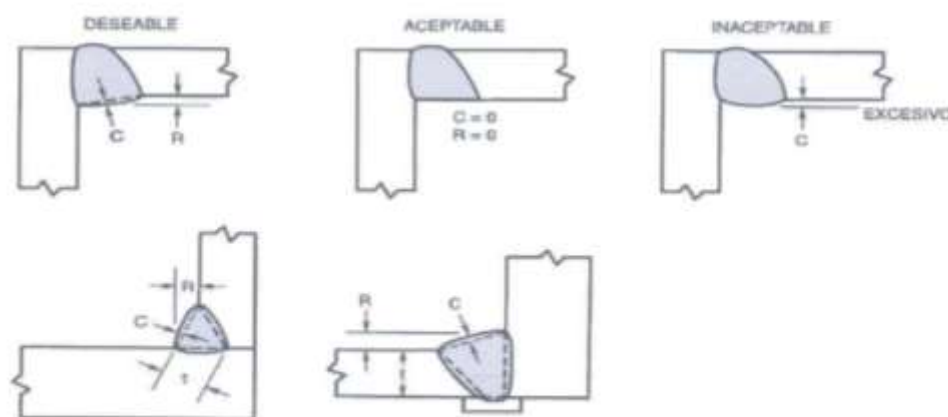
Las caras de la soldadura de filete pueden ser levemente convexas, planas o levemente cóncavas de forma ligera como se muestra en la figura 43.

En soldaduras de filete el socavado no es permitido en los extremos de soldadura intermitente fuera de su longitud efectiva.

La soldadura a tope deberá ser acabada de tal manera de no reducir el espesor del metal base más delgada o el metal de soldadura por más de 1 mm. El refuerzo restante no debe exceder 1 mm de altura.



(A) PERFILES DE SOLDADURA EN JUNTA A TOPE



(B) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL JUNTAS DE ESQUINAS INTERIOR

Figura 43 Perfiles de soldaduras

Fuente: (American Welding Society, 2010)

2.3.15. REPARACIONES

La remoción del metal de soldadura o porciones del metal base puede hacerse por medio de maquinado, esmerilado, burilado o remoción. Debe hacerse de tal manera que el metal de soldadura adyacente o el metal base no se dañe o remueva.

Las porciones inaceptables de soldadura deberán retirarse si remoción significativa del metal base, las superficies deberán ser limpiadas al detalle antes de empezar a soldar.

Toda fisura deberá ser analizada mediante ensayos no destructivos y de ser necesario deberá ser removida y soldada nuevamente.

El martilleo puede usarse en capas de soldadura intermedia para el control de esfuerzos de contracción en soldaduras gruesas para prevenir la fisuración, distorsión o ambas; no se realizara el proceso de martilleo en la raíz o en la capa superficial de la soldadura o el metal base en las orillas de la soldadura.

2.3.16. LIMPIEZA DE SOLDADURA

Antes de soldar sobre metal previamente depositado, toda la escoria deberá ser removida y la soldadura y el metal base adyacente deberán limpiarse cepillando o por medio de otro medio aprobado. En soldaduras terminadas la escoria deberá ser removida de todas las soldaduras terminadas, y la soldadura y el metal base deberá limpiarse mediante cepillado o a través de otro medio apropiado. La salpicadura adherida fuertemente después de la operación de limpieza es aceptable, a menos que su remoción sea requerida con el propósito de un ensayo no destructivo (END). Las juntas soldadas no deberán ser pintadas hasta después de que el proceso de soldadura haya sido terminado y la soldadura haya sido aceptada.

2.4. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA NORMA SECCIÓN SEIS “INSPECCIÓN”

La sección seis contiene los requerimientos para las calificaciones y responsabilidades del inspector, aceptación de criterios para discontinuidades y procedimientos para END.

Cuando se requiera otras técnicas de END además de la inspección visual, deberá ser estipulada en la información suministrada por parte de los inspectores. Esta información deberá detallar las categorías de las soldaduras a ser examinadas, el método o los métodos de ensayos.

Como primer paso para la inspección, se deberá asegurar que se estén utilizando materiales y equipos que cumplen con los requerimientos estipulados por la AWS D1.1., así como también deberá verificar que se esté realizando el procedimiento mediante un WPS, el mismo que debe cumplir los requerimientos de la sección cuatro y cinco así como lo establecido en los diseños.

El Inspector deberá permitir que la soldadura sea realizada únicamente por soldadores, operadores de soldadura que estén calificados en conformidad con los requerimientos de la sección cuatro, o se debe asegurar que cada soldador, operador de soldadura, haya demostrado previamente dicha calificación bajo la supervisión aceptada y aprobada por el Ingeniero responsable. De ser necesario el inspector podrá requerir la recalificación de cualquier soldador calificado u operador.

El inspector debe asegurarse que el tamaño, longitud y ubicación de las soldaduras estén en conformidad con los requerimientos de la norma y con lo establecido en los planos y diseños; solo el ingeniero responsable puede aprobar la realización de la soldadura sin seguir lo antes establecido. El inspector en intervalos adecuados debe observar:

- La preparación de la junta
- La práctica de ensamblaje

- Las técnicas de soldadura
- Desempeño de cada soldador, operador de soldadura

Todo esto con la finalidad de asegurarse que los requerimientos de la norma sean cumplidos.

El inspector deberá identificar con una marca distintiva las juntas que ya han sido inspeccionadas y aceptadas, también se puede utilizar un registro acordado mutuamente entre el inspector y el ingeniero responsable. Los datos obtenidos por el inspector deberán ser registrados, en donde se pueda analizar las calificaciones de todos los soldadores, operadores de soldadura, así como cualquier otra información obtenida durante el proceso de inspección.

Una guía rápida para establecer la aceptación de la soldadura por parte del inspector se lo realiza en base a la tabla 8. De ser necesarios otros procesos que no están establecidos en la norma los mismos deberán ser fundamentados y especificados en base a criterios de ingeniería.

Todos los métodos END incluyendo los requerimientos y calificaciones del equipo, calificaciones del personal, y métodos operacionales, deberán estar en conformidad con la sección 6 de la norma AWS D1.1.

Los procedimientos END descritos en el código han sido utilizados por varios años y proporciona una seguridad razonable para la integridad de la soldadura y la estructura. Los usuarios del código deberán estar familiarizados con todas las limitaciones de los métodos END a ser utilizados, particularmente la inhabilidad para detectar y caracterizar las discontinuidades planares con orientaciones específicas.

Tabla 8**Criterios de aceptación para inspección visual**

Grado de discontinuidad y criterio de la inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente	Conexiones tubulares (todas las cargas)
Cualquier grieta deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación	X	X	X
Deberá haber fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de aporte y el metal base	X	X	X
Todos los cráteres deberán ser llenados para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de las soldaduras de filete intermitente fuera de su longitud efectiva	X	X	X
La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros pueden iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente	X	X	X

CONTINUA



<p>El tamaño de la soldadura de filete en cualquier soldadura continua, puede tener menos del tamaño nominal (L) hasta la disminución permitida (U)</p>	X	X	X								
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="300 556 521 804">Tamaño nominal de soldadura (L) en mm</th> <th data-bbox="521 556 764 804">Disminución permitida de L (U) en mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="300 804 521 888" style="text-align: center;">5</td> <td data-bbox="521 804 764 888" style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="300 888 521 972" style="text-align: center;">6</td> <td data-bbox="521 888 764 972" style="text-align: center;">2.5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="300 972 521 1056" style="text-align: center;">8</td> <td data-bbox="521 972 764 1056" style="text-align: center;">3</td> </tr> </tbody> </table>	Tamaño nominal de soldadura (L) en mm	Disminución permitida de L (U) en mm	5	2	6	2.5	8	3			
Tamaño nominal de soldadura (L) en mm	Disminución permitida de L (U) en mm										
5	2										
6	2.5										
8	3										
<p>Para el material menor de 25 mm de espesor, el socavado no deberá exceder 1 mm.</p> <p>El socavado no deberá exceder 2 mm para cualquier longitud acumulada de hasta 50 mm en cualquier longitud de 200 mm.</p> <p>Para materiales iguales o mayores a 25 mm el socavado no deberá exceder 2 mm, para cualquier longitud de soldadura</p>	X										
<p>En miembros principales, el socavado deberá ser no más de 0.254 mm de profundidad</p>		X	X								

CONTINUA



cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado deberá ser no más de 1 mm de profundidad para todos los otros casos.			
Las soldaduras de penetración completa CJP en juntas a tope o transversales al esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad visible.	X		
La frecuencia de la porosidad en soldadura de filete no deberá exceder de 1 por cada 100 mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá excede 2.5 mm		X	X
Las soldaduras de canal de penetración completa en juntas a tope transversal a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad.		X	X

Fuente: AWS D1.1. Edición 2010. Sección 6. Inspección. Pág. 251

CAPÍTULO III

GUÍA DE INSPECCIÓN

3. INSPECCIÓN EN SOLDADURAS DE ESTRUCTURA METÁLICA DE ALTURA

La inspección de los procesos es completa y comienza con la selección y calificación del personal que va a efectuar el trabajo de soldadura. Se debe examinar visualmente el tamaño de la soldadura, material de aporte, exceso de calor, salpicaduras excesivas, etc.

De ser necesario ensayos destructivos, se recomienda realizar pruebas de carga; las más utilizadas son las siguientes:

- **Flexión:** Para determinar si la penetración es adecuada.
- **Corte y tracción:** para verificar la resistencia de las juntas.
- **Ensayo de tracción:** para evaluar el material de aporte.

De ser necesario y los resultados de la inspección visual así lo determinan, se recomienda usar ensayos no destructivos RT (ensayos de radiografía). Para comprobar la calidad de las soldaduras.

Un aspecto importante a ser tomado en cuenta es el calor excesivo, de parte de la estructura y el posterior enfriamiento, esto puede provocar deformaciones sobre todo si existe asimetría.

Para evitar o tratar de reducir este efecto se recomienda lo siguiente:

- Realizar la soldadura intermitente en lugar de la soldadura continua (si es factible), ayuda a reducir las deformaciones.
- Cada capa de soldadura debe ser limpiada con herramienta adecuada, una vez que la soldadura se ha enfriado debidamente.

3.1. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN EN SOLDADURA DE ESTRUCTURAS METÁLICA EN ALTURA

Es importante observar que exista una adecuada accesibilidad de la soldadura, teniendo en cuenta el tamaño de soldadura y procedimientos necesarios a efectuar durante el proceso.

No es recomendable que existan soldaduras superiores a las establecidas en los cálculos, ya que además de encarecer las mismas, pueden causar peligros debido a la influencia negativa que una mayor aportación de y calor y material tiene en la zona afectada (tensiones residuales, cambios en la estructura micro cristalina del metal, etc.).

Así mismo se recomienda que en Estructuras Metálicas no deba haber gargantas de soldadura inferiores a lo establecido en la AWS D1.1

Otra observación válida es la de incrementar en 1 mm el cordón de soldadura como protección anticorrosiva. Para soldaduras de ángulo se recomienda soldaduras a tope, no solo por el menor costo sino por la menor incidencia termo-metalúrgica en el proceso.

Se debe observar que las soldaduras alrededor de una sección no deben empezar o terminar en una de las esquinas de la sección.

Cuando se trata de espesores delgados se debe verificar que no existan soldaduras hechas de varios pases.

Siempre que sea posible se debe verificar que el proceso de soldadura se lo realice en plano, girando la pieza, puesto que la soldadura final va a tener más calidad. En ocasiones se puede aceptar el puntar con soldaduras cortas antes de realizar la soldadura definitiva.

Es conveniente verificar que se haya evitado el proceso de soldadura en piezas con espesores muy diferentes, de acuerdo con las recomendaciones de la Norma AWS D1.1, si es necesario hacerlo es recomendable que las piezas de mayor espesor hayan sido precalentadas.

Se debe observar que en el proceso de soldadura se eviten si es factible y según lo establecido en diseños, que en elementos estructurales sometidos a mayor esfuerzo no se realice soldadura.

Para el proceso de soldadura en obra deben tomarse precauciones para evitar la influencia de un ambiente adverso, como las de proteger los trabajos del viento y la lluvia, salvo que se proteja el soldeo mediante precalentamiento adecuado de las piezas, según lo permita AWS D1.1 y los diseños.

Se llevaran a cabo las precauciones adecuadas para reducir hasta límites tolerables las inevitables deformaciones que la soldadura produce en los elementos soldados. Estas deformaciones pueden ser de tipo lineal, tanto longitudinal como transversal y de tipo angular.

Para disminuir las tensiones provocadas por estas deformaciones se deben en lo posible cumplir cuatro principios básicos.

- **El principio de simetría** que en varias ocasiones sirve para compensar deformaciones sobre todo de tipo angular.
- **El principio de libertad**, ayuda a reducir las tensiones de todo tipo, así la pieza no coaccionada puede seguir los movimientos inducidos por el proceso de soldadura.
- **El principio de accesibilidad**, se evitara defectos en la soldadura si la posición del soldador es la más adecuada.
- **El principio de enfriamiento**, que requiere la construcción más idónea de la secuencia de cordones para impedir la acumulación de calor en la región de influencia térmica.

A pesar de todas las precauciones si existen deformaciones fuera de los límites tolerables estas serán corregidas mediante deformación en frío, asegurándose de que en esta corrección no aparezcan fisuras en los cordones

Finalmente hay que insistir una vez más en la importancia de realizar las soldaduras por técnicos debidamente calificados y acreditados por un centro oficial o instituto autorizado.

3.2. DETERMINACIÓN DE PUNTOS PRINCIPALES PARA SER INSPECCIONADOS

Para la selección de los principales puntos a ser inspeccionados nos fundamentaremos en la sección cinco y seis de la norma AWS D1.1; también será fundamentada en base a la experiencia de los constructores las cuales han sido comunicadas durante el proceso de visita e inspección.

Al escoger los puntos principales para la inspección visual tomaremos en cuenta preparación del material base, material de aporte, personal que esté llevando a cabo el proceso, normas de seguridad; adaptando lo establecido en la norma a las necesidades y condiciones que nos podemos encontrar en el sector de la construcción en la ciudad de Quito.

3.3. FORMATOS DE INSPECCIÓN VISUAL

Para llevar a cabo la presente investigación se tuvo como referencia los diversos formatos elaborados para realizar la inspección visual en estructuras metálica, estos formatos han sido elaborados en base a los conceptos y fundamentos de la soldadura y también en experiencias llevadas a cabo en campo.

Como primera referencia tomaremos los formatos de inspección elaborados por las entidades ecuatorianas para la aplicación a nivel nacional.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización emitió el reglamento Técnico Ecuatoriano en el año 2009, para soldadura de estructuras de acero, en el mismo se detalla recomendaciones acerca de los procesos de soldadura en estructuras metálica, así como un formulario para el proceso de inspección de soldadura. (Figura 44)

Actividades de Inspección visual antes de la soldadura	ACTIVIDAD	DOCUMENTO	ACTIVIDAD	DOCUMENTO
	Control de Calidad		Aseguramiento de la calidad (ver nota 9)	
Identificación de material base(Tipo/Grado)	O	-	O	-
Ensamble de las juntas de ranura (Incluyendo la geometría de la junta): - Preparación de la junta. - Dimensiones (alineamiento, abertura de la raíz, ángulo de la ranura, etc.) - Limpieza (condiciones superficiales del acero) - Punteo (calidad del punto de soldadura y ubicación) - Tipo de respaldo y ajuste (si aplicará).	E/O	-	O	-
Configuración y terminado de los agujeros de acceso de soldadura (agujero de ratón).	O	-	O	-
Ensamble de las juntas de filete: - Dimensiones (alineación, abertura de raíz, etc.) - Limpieza (condiciones superficiales del acero) - Punteo (calidad del punto de soldadura y ubicación).	O	-	O	-
Actividades de Inspección visual durante la soldadura	ACTIVIDAD	DOCUMENTO	ACTIVIDAD	DOCUMENTO
	(CC)Control de Calidad		(AC) Aseguramiento de la calidad (ver nota 9)	
En el EPS: - Calibración de los equipos de soldadura. - Velocidad de avance. - Material de soldadura seleccionado. - Gas de protección (Tipo y flujo). - Precaentamiento. - Temperatura entre pases (min./max.). - Posición de soldadura. - Mezclas de metales de aporte no recomendadas, a menos que estén aprobadas.	O	-	O	-
Empiezo de soldadores calificados.	O	-	O	-
Control y manipulación de los consumibles de soldadura: - Empacado - Control de exposición al ambiente.	O	-	O	-
Condiciones climáticas: - Velocidad del viento (dentro de límites). - Precipitaciones y temperatura ambiente.	O	-	O	-
Técnicas de soldadura: - Limpieza final y entre pases. - Limitaciones del perfil de soldadura para cada pase. - Requerimientos de calidad para cada pase.	O	-	O	-
No soldar sobre puntos de soldadura fisurados	O	-	O	-
Actividades de Inspección visual después de la soldadura	ACTIVIDAD	DOCUMENTO	ACTIVIDAD	DOCUMENTO
	(CC) Control de Calidad		(AC) Aseguramiento de la calidad (ver nota 9)	
Limpieza de la soldadura.	O	-	O	-
Marca de identificación clara del soldador.	O	-	O	-
Verificación del tamaño, longitud y localización de las soldaduras	O	-	O	-
Inspección visual en base a los criterios de aceptación: - Prohibición de grietas. - Fusión entre el metal base y el metal aportado. - Cráteres. - Perfiles de soldadura. - Tamaño de la soldadura. - Mordeduras. - Porosidades.	E	D	E	D
Ubicación de filetes de refuerzo.	E	D	E	D
Remoción de respaldos y puntales de sujeción.	E	D	E	D
Reparaciones.	E	-	E	D

NOTA 9: El Control de Calidad puede estar relacionada con la evaluación de la conformidad de segunda parte. El Aseguramiento de Calidad puede estar relacionada con la evaluación de la conformidad de tercera parte. (ver NTE INEN ISO/IEC 17000).

Figura 44 Formato de Inspección INEN

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

En el año 2015 el MIDUVI publica la Normativa Ecuatoriana para Construcciones (NEC), en esta normativa se describe procesos y recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras metálicas, en donde se destina una sección para lo que se refiere a soldadura, estableciendo varios criterios para su correcta fabricación, así como un formato de inspección que servirá como referencia para llevar a cabo el proceso inspección de las mismas, a continuación se observa el formulario.

TAREAS DE INSPECCION VISUAL ANTES DE SOLDAR	CONTROL(PCC)		GARANTIA(PGC)	
	TAREA	REGISTRO	TAREA	REGISTRO
IDENTIFICACION DEL MATERIAL (TIPO/GRADO)	O	-	O	-
Soldaduras de ranura (Incluyendo la geometría de la junta)				
* Preparación de Junta				
* Dimensiones (alineación, apertura de la raíz, cara de la raíz, bisel)				
* Limpieza (condición de las superficies de acero)				
* Remate (calidad y ubicación de la soldadura de prearmado)				
* Tipo de respaldo y ajustes (si es aplicable)				
* Configuración y acabado de los agujeros de acceso	O	-	O	-
Soldaduras de filete				
* Dimensión (la alineación, las diferencias en la raíz)				
* Limpieza (condición de las superficies de acero)	E/O**	-	O	-
* Remate (calidad y ubicación de la soldadura de prearmado)				

** Esta tarea de inspección será realizada haciendo un seguimiento de 10 soldaduras ejecutadas por un soldador determinado. Cuando dicho soldador demuestre un adecuado entendimiento de los requerimientos solicitados y tenga las destrezas y herramientas para realizar dichas tareas, la designación de Ejecutar (E) puede cambiar a observar (O). Si el Inspector determina que el soldador ha discontinuado su rendimiento, la tarea retornará a (E) hasta el momento en que el Inspector considere que el soldador ha reestablecido la garantía en la ejecución de sus tareas.

Figura 45 Formato de Inspección NEC

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015)

TAREAS DE INSPECCION VISUAL DURANTE LA SOLDADURA	CONTROL(PCC)		GARANTIA(PGC)	
	TAREA	REGISTRO	TAREA	REGISTRO
WPS				
* Ajustes del equipo de soldadura				
* Velocidad de desplazamiento				
* Materiales de soldadura seleccionados				
* Tipo de Gas de protección de tipo / velocidad de flujo	O	-	O	-
* Pre calentamiento aplicado				
* Temperatura mantenida interpasos (min. / máx.)				
* Posición apropiada (Plana, Vertical, Horizontal, Sobrecabeza)				
* Evitar mezclar metales de aportación, a menos que sean aprobados				
Utilización de soldadores calificados	O	-	O	-
Control y manipulación de consumibles de soldadura				
* Embalaje	O	-	O	-
* Control a la exposición				
Condiciones ambientales				
* Velocidad del viento dentro de los límites	O	-	O	-
* Lluvias y temperatura				
Técnicas de soldadura				
* Interpasos y limpieza final	O	-	O	-
* Cada pasada dentro de las limitaciones de la sección.				
* Cada pasada cumple los requisitos de calidad				
No soldar sobre soldaduras de prearmado agrietadas.	O	-	O	-

Figura 46 Formato de Inspección NEC

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015)

Como primera referencia se analizara el formato de inspección visual elaborado por la organización Soldadura Latinoamericana, la cual está dedicada a realizar estudios e investigaciones sobre los procesos de inspección visual y ensayos no destructivos en soldadura.

El formato de inspección visual que se observa en las figura 47 y 48; desarrollado por soldadura latinoamericana es fundamentado en el manual para inspección visual que fue elaborado por la organización, el mismo es una buena

guía en la cual se encuentran conceptos para llevar a cabo la inspección visual; en esta guía se encontrara definiciones referente a materiales base, consumibles, proceso de soldadura y ensayos no destructivos.

REPORTE DE INSPECCION VISUAL		
DATOS GENERALES		
Cliente: _____	Reporte N°. _____	
	Hoja: _____ de _____	
Obra: _____		
Dibujo: _____		
Especificaciones: _____	Procedimiento: _____	
DESCRIPCION DE LA INSPECCION		
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____		
RESULTADO		
ACEPTABLE <input type="checkbox"/>		INACEPTABLE <input type="checkbox"/>
Observaciones: _____ _____ _____		
Inspector Nivel II: _____	Fecha: _____	De Conformidad: _____

Figura 47 Reporte de inspección visual

Fuente: (Soldadura Latinoamericana, 2012)

COMTECOL es una empresa colombiana dedicada a trabajar y desarrollar proyectos de ingeniería entre ellos lo correspondiente a procesos de soldadura, caracterizada por llevar a cabo innovadores y estrictos procedimientos para asegurarse de la seguridad y calidad de las soldaduras, en la figura 49 podemos observar el formato que utiliza la empresa en el campo, el mismo es utilizado para control visual en la calidad de soldadura.

COMTECOL		INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS					Versión No.	1			
							Código	FIS-CL-01			
							Fecha	13 de Enero de 2012			
	Grietas	Fusion	Penetración	Socavacion	Porosidad	Terminación	Otros defectos				
Inspección											
Reparación											
Ref	Dimensión		Ref	Dimensión		Ref	Dimensión		Ref	Dimensión	
	Nominal	Real		Nominal	Real		Nominal	Real		Nominal	Real
A			G			M			T		
B			H			N			U		
C			I			P			V		
D			J			Q			W		
E			K			R			X		
F			L			S			Y		
Elaborado por											
Nombre:						Cargo:					
_____						_____					
Firma:						Fecha:					
_____						_____					

Figura 49 Inspección visual de soldaduras COMTECOL

Fuente: (COMTECOL, 2012)

Como principal referencia para la elaboración de la guía de soldadura se tomó como pauta el manual para la fabricación y montaje de estructuras soldadas elaborado por la fundación James F. Lincoln Arc Welding.

En este manual se hace un extenso estudio de los procesos, materiales base y consumibles, preparación y reparación de la junta, etc.; esta teoría fue desarrollada en base a investigaciones llevadas por miembros de la fundación, por autores y resultados en aplicaciones de campo.

Se elaboró un formulario de chequeo de los principales puntos que se deben cumplir antes, durante y después del proceso de soldar estructuras metálicas; los mismos se pueden observar en la figura 50 (Anexo 6).

Inspección Visual del Proceso de soldadura		1				2				3				
Tareas del Inspector	soldado	Inspector												
		CC		AC		CC		AC		CC		AC		
		M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	
Inspección Durante la soldadura														
Seguimiento de Wps (Voltaje, corriente, velocidad de pase, ubicación del pase)														
Control de loa materiales de soldadura expuestos														
Temperatura entre pases es controlada y verificada														
Temperatura máxima entre pase es verificada														
No existe cambios significativos en las condiciones del medio														
Soldadura por puntos no se agrietan durante la soldadura														
Cada pasada es limpiada														
Cada pasada dentro de los límites del perfil														
Cada pasada cumple con los requerimientos de calidad														
Uso de técnicas apropiadas														
END en proceso cuando son requeridos														
Observación de soldaduras inspeccionadas														
Observación del proceso de CC														

Figura 50 Formulario de chequeo James F. Lincoln Arc Welding

Fuente: James F. Lincoln Arc Welding

3.4. GUÍA DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA

3.4.1. OBJETIVO

La guía aquí descrita servirá únicamente como herramienta para la comprobación del cumplimiento de la norma AWS D1.1; por lo que solo servirá de referencia para llevar a cabo un proceso de inspección de soldadura.

De ser necesario el realizar un proceso de inspección de soldadura este deberá ser ejecutado por un técnico especializado y autorizado por los organismos competentes.

3.4.2. CONTENIDO

La presente guía servirá para que el proceso de verificación del cumplimiento de la norma AWS D1.1 sea ejecutado de la manera más eficaz cumpliendo con los parámetros establecidos en el formulario de chequeo. (Ver anexo 1 guía completa)

3.4.3. PROCEDIMIENTO

La utilización de esta guía se lo hará de manera simultánea con el formulario de chequeo; cuya finalidad es dar al inspector una herramienta de apoyo para poder completar el formulario de la mejor manera.

3.4.4. DESARROLLO

La teoría aquí aplicada fue tomada de la Norma AWS D1.1 edición 2010 e ira detallada de acuerdo al orden y aclaraciones necesarias del formulario de chequeo.

3.4.5. METAL BASE

Los planos y diseños deberán designar la especificación y clasificación del metal base que se va utilizar. Cuando esté involucrada una soldadura en la estructura, se deberán utilizar los materiales listados en la Tabla 3.

3.4.6. CONSUMIBLES DE SOLDADURAS

a) Certificación de electrodos

Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista deberá entregar la documentación necesaria que certifique la calidad y certificación de los electrodos.

“La clasificación, el tamaño del electrodo, la longitud del arco, el voltaje y amperaje deberán ser los apropiados para el espesor del material, el tipo de ranura, las posiciones de las soldaduras y otras circunstancias adecuadas al trabajo. La corriente de soldadura deberá estar dentro del rango recomendado por el fabricante del electrodo.” (American Welding Society, 2010)

En la tabla 4 se detalla el tiempo máximo a los que se deben encontrar los electrodos una vez abiertos y expuestos al ambiente.

b) Gas de Protección⁵

Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista deberá entregar la documentación de respaldo que certifique y garantice la calidad de los gases.

⁵ Un gas o una mezcla de gases que se utilicen para protección deberán estar en conformidad con AWS A5.32 “Specification for Welding Shielding Gases”.

3.4.7. SECADO DE ELECTRODOS

Los electrodos con bajo contenido de hidrogeno expuestos a la atmósfera por períodos mayores que los permitidos en la tabla 4 deberán secarse por lo menos durante dos horas a temperaturas de entre (260° C y 430° C)

Los electrodos no deben precalentarse o secarse más de una vez. Los electrodos que se han humedecido no deben usarse.

3.4.8. WPS

Las variables de soldaduras deberán estar en conformidad con un procedimiento WPS escrito (ver Anexo 3, como ejemplo).

Todos los soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores deben estar informados acerca del uso apropiado del WPS, y el WPS aplicable debe seguirse durante la realización de la soldadura.

3.4.9. RESPALDO

Las uniones con respaldo metálico deberán ser uniones a tope de soldaduras de ranura de penetración completa (CJP).

El espesor nominal del respaldo es aceptable si el acero esta comercialmente disponible para cañerías y tuberías, siempre que no haya evidencia de fundición en las superficies internas expuestas.

El espesor nominal mínimo recomendado de las barras de respaldo, dependiendo del proceso de soldadura se muestra en la tabla 9.

Tabla 9
Espesor nominal mínimo respaldo

Proceso	Milímetro
SMAW	5
GMAW	6

Fuente: Norma AWS D1.1, edición 2010. Sección 5, Fabricación, pág. 204

3.4.10. AMBIENTE DE SOLDADURA

“Si es necesario se debe construir estructura especial de protección, la misma tendrá que ser del material y la forma apropiados para reducir la velocidad del viento en la cercanía de la soldadura, a un máximo de 8 km/h y evitar los inconvenientes que se puedan provocar por el clima.” (American Welding Society, 2010)

3.4.11. CONFORMIDAD CON EL DISEÑO

“El tamaño mínimo de la soldadura de filete, excepto en soldaduras de filete utilizadas para reforzar soldaduras de ranura, deberá ser tal como las que se muestran en la Tabla 6. El tamaño mínimo de la soldadura de filete tendrá que aplicarse en todos los casos, a menos que los planos de diseño especifiquen soldaduras de un tamaño mayor.” (American Welding Society, 2010)

3.4.12. PREPARACIÓN DEL METAL BASE

“Las superficies en las cuales se va a depositar el metal de aporte, deberán ser lisas, uniformes y estar libres de escamas, desgarros, grietas, estar libres de escoria gruesa, óxido, humedad, grasa y otros materiales extraños que podrían

afectar adversamente la calidad o la resistencia de las soldaduras.” (American Welding Society, 2010)

3.4.13. LIMITES DE ACEPTABILIDAD

Cuando las discontinuidades como W, X o Y indicadas en la figura 51 se observan antes de completar la unión, el tamaño y forma de la discontinuidad deben ser determinadas por un ensayo de ultrasonido (UT). (Ver tabla 7)

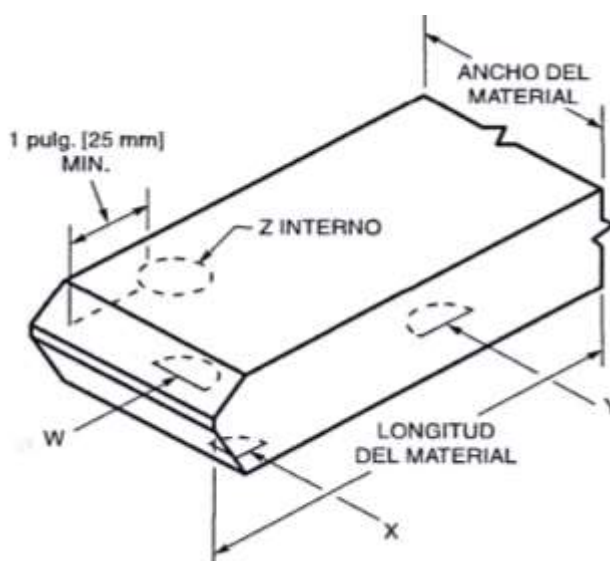


Figura 51 Defectos Internos En Soldadura

Fuente: (American Welding Society, 2010)

3.4.14. PROCESOS DE CORTE TÉRMICO

El proceso de corte térmico de arco eléctrico, de rebaje, el corte con gas oxifuel, se reconocerán para la preparación, corte o desgaste del material

Se podrá utilizar otros proceso de corte térmico y rebaje no descritos en la norma para preparar, cortar o devastar materiales; los mismos que deberán

estar en total conformidad con los requerimientos de los planos o diseños (American Welding Society, 2010).

3.4.15. CORONAMIENTOS

Las superficies adyacentes deberán unirse sin desviación o corte, más allá del punto de tangencia. Los coronamientos pueden ser preparados mediante corte térmico seguido por esmerilado si fuese necesario.

3.4.16. ORIFICIOS DE ACCESO A LA SOLDADURA

Los orificios de acceso a las soldaduras deberán seguir lo establecido en figura 52:

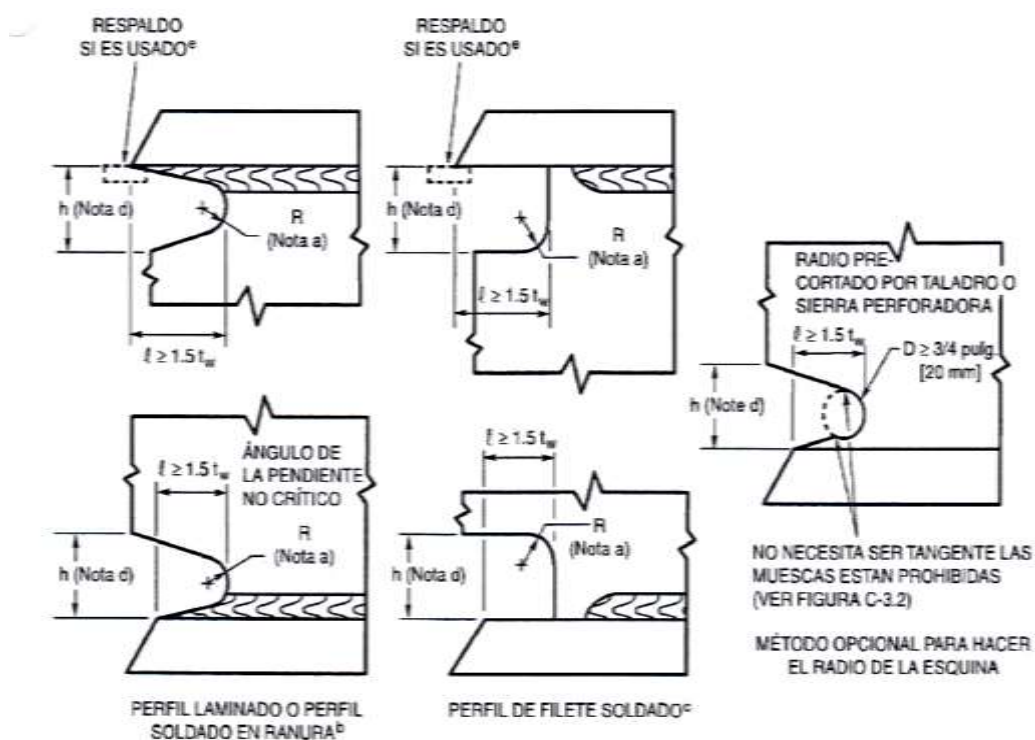


Figura 52 orificios de acceso a la soldadura

Fuente: (American Welding Society, 2010)

3.4.17. RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA

El programa de control de distorsión y de secuencia de soldadura deberá ser emitido por el Ingeniero, para información, recomendaciones y observaciones.

En el contrato debe constar la memoria de cálculo así como la Especificación del Procedimiento de Soldadura (EPS); en el mismo también deben constar los Ensayos No Destructivos (END) que sean necesarios para garantizar la calidad de la soldadura.

3.4.18. MÉTODOS DE ALINEAMIENTO

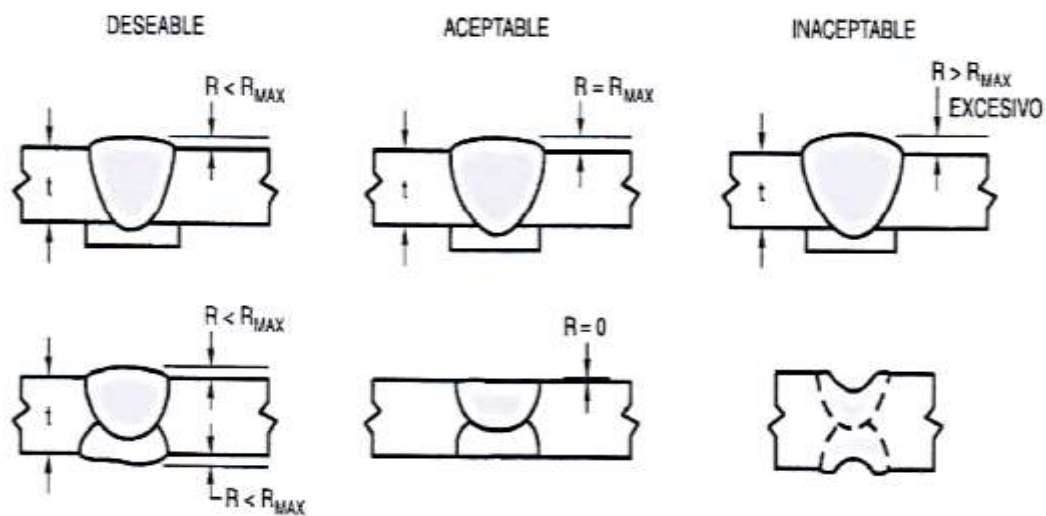
“Las dimensiones de los componentes de estructuras soldadas deberán estar en conformidad con la tolerancia y las especificaciones generales que rigen el trabajo.” (American Welding Society, 2010)

Los miembros que serán soldados deben estar en correcto alineamiento y sostenidos en su posición con tornillos, abrazaderas, cuñas, tensores, toma puntas y otros dispositivos adecuados, o por apuntalados hasta que la soldadura haya sido completada.

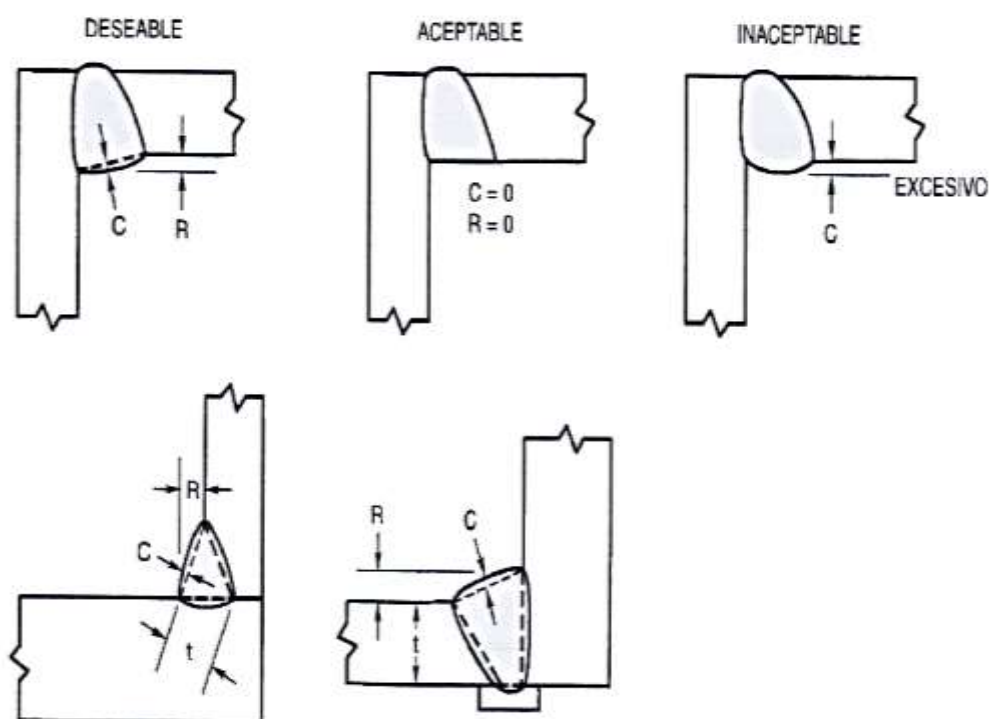
El uso de utillajes es recomendado donde sea practicable. Deben tomarse las medidas adecuadas para el alabeo y la contracción

3.4.19. PERFILES DE SOLDADURA

Todas las soldaduras deben cumplir con los criterios de aceptación de la tabla 17 y no deben existir discontinuidades como las indicadas en la figura 53, 54,55 y 56



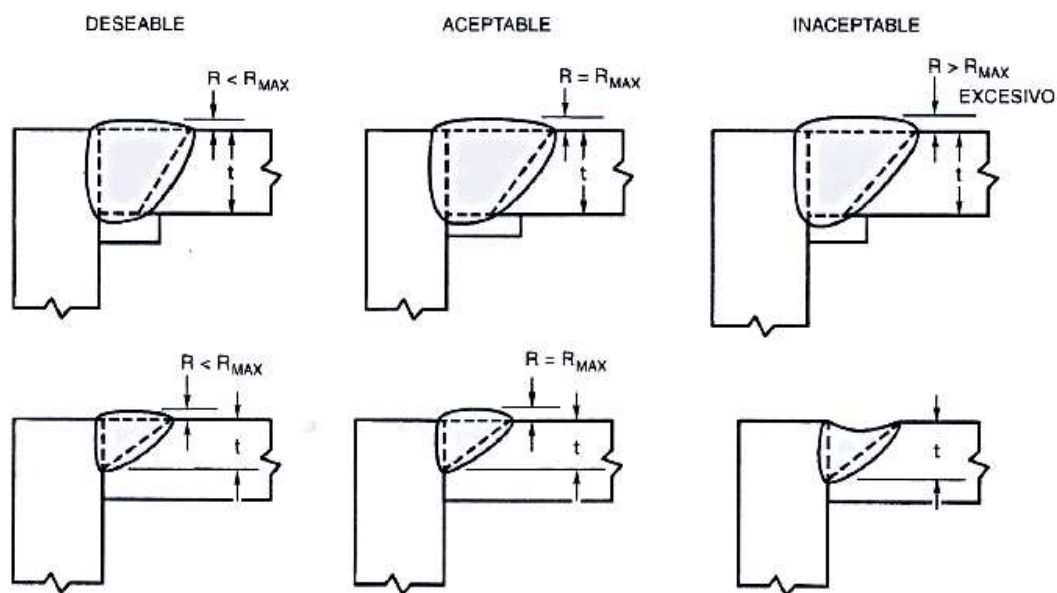
(A) PERFILES DE SOLDADURA EN JUNTA A TOPE



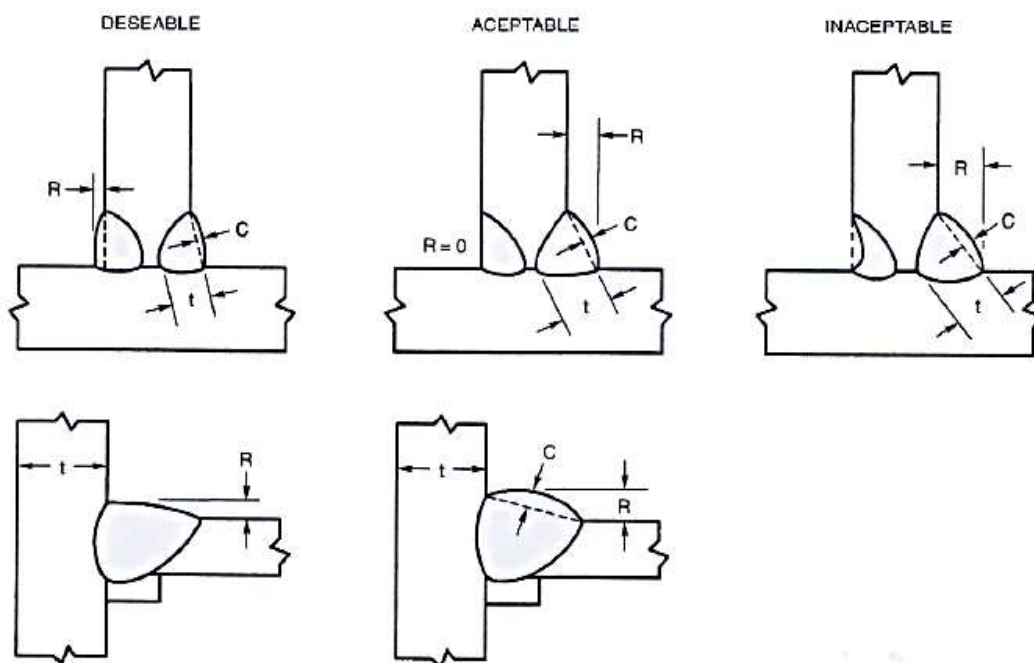
(B) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL JUNTAS DE ESQUINAS INTERIOR

Figura 53 Perfil de soldadura de canal junta a tope y esquina interior

Fuente: (American Welding Society, 2010)



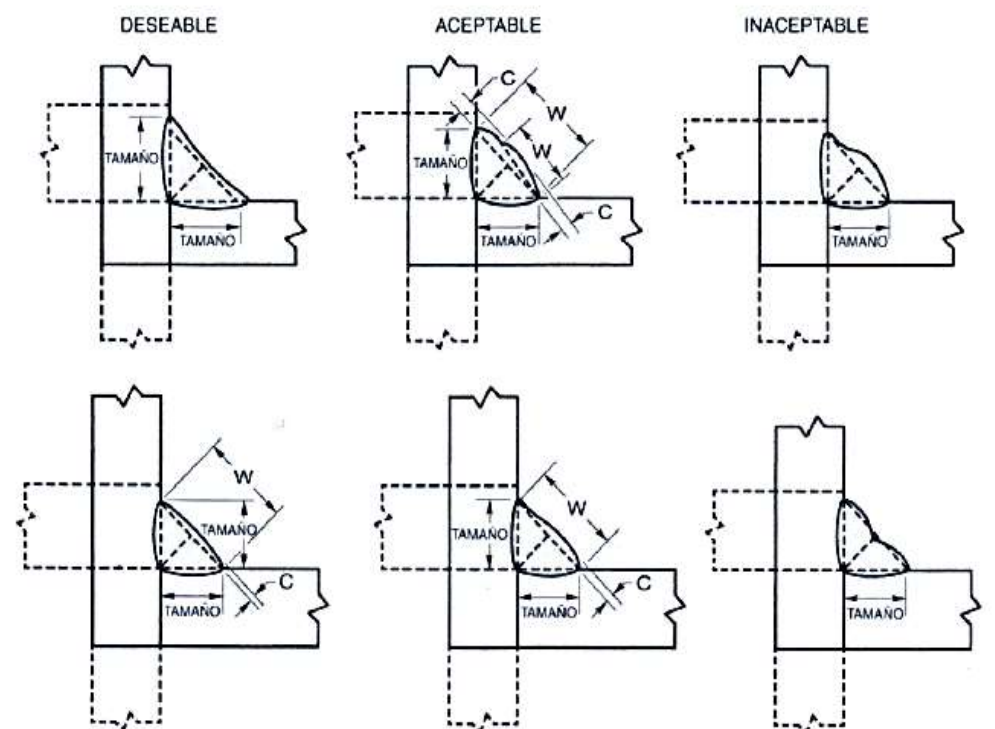
(C) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL JUNTAS DE ESQUINAS EXTERIOR



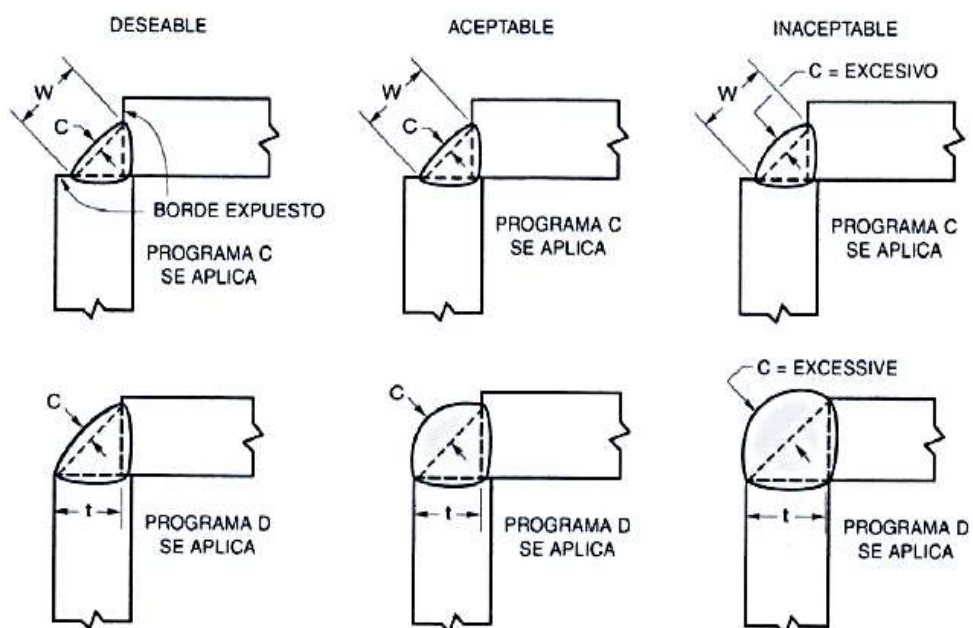
(D) PERFILES DE SOLDADURA DE CANAL EN JUNTAS T-

Figura 54 Perfiles de soldadura en juntas acanaladas

Fuente: (American Welding Society, 2010)



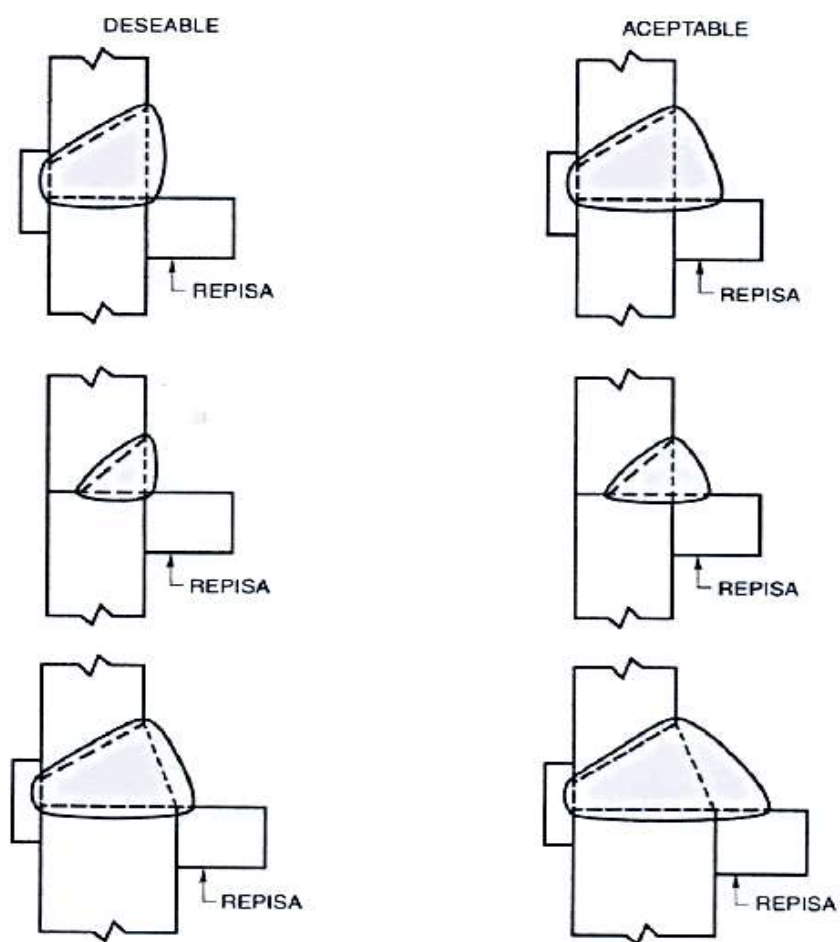
(E) PERFILES DE SOLDADURA DE FILETE JUNTAS DE ESQUINAS INTERIOR, UNIÓN DE TRASLAPE Y JUNTAS T-



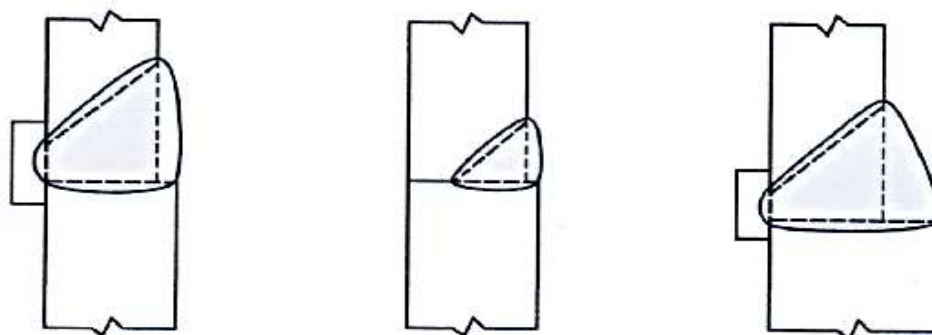
(F) PERFILES DE SOLDADURA DE FILETE JUNTAS DE ESQUINAS EXTERIOR

Figura 55 Perfiles de soldaduras de filete juntas tipo filete

Fuente: (American Welding Society, 2010)



(G) DETALLES TÍPICOS DE REPISA



(H) PERFILES TÍPICOS DE SOLDADURAS DE JUNTA A TOPE ENTRE DESIGUAL ESPESORES

Figura 56 perfiles de soldaduras de junta a tope

Fuente: (American Welding Society, 2010)

3.4.20. REPARACIONES

El metal de soldadura deberá depositarse para compensar cualquier deficiencia de tamaño. “La soldadura reparada o reemplazada deberá ser sometida a nuevas pruebas mediante los métodos originalmente utilizados, y se deberá aplicar la misma técnica y los mismos criterios de aceptación de calidad.” (American Welding Society, 2010)

3.4.21. ACEPTACIÓN DE LA SOLDADURA REPARADA

Para la aceptación de soldadura reparada (American Welding Society, 2010) determina que:

Antes de soldar sobre el metal previamente depositado, se deberá quitar toda la escoria, y la soldadura junto con el metal base adyacente y deberán cepillarse para que queden limpios. Este requerimiento deberá aplicarse no solo a las capas sucesivas sino también a los cordones de soldadura continua y al área del cráter cuando la soldadura se reanude después de alguna interrupción. Si después que se haya realizado una soldadura inaceptable, se realiza un trabajo que haya dado como resultado una soldadura inaccesible o haya creado nuevas condiciones que hagan que la corrección de la soldadura inaceptable sea peligrosa o inefectiva, entonces las condiciones originales deberán restaurarse quitando las soldaduras o los componentes, o ambos antes de realizar las correcciones. (p. 229)

3.4.22. EXTREMOS DE LAS UNIONES SOLDADAS A TOPE

Los extremos de las uniones soldadas a tope requieren tener un acabado rasante, de manera de no reducir el ancho detallado, o del ancho real proporcionado; cualquiera que sea mayor, en más de 1/8 pulgada [3 mm], de manera de no dejar refuerzo en cada extremo que sea 1/8 pulgada [3 mm].

3.4.23. SUPERFICIE DE CORTE

Se recomienda realizar inspección visual en las superficies donde se haya realizado corte térmico; su aceptación se determinará de acuerdo al siguiente grupo de ilustraciones.

- Perfil de un corte ideal



Figura 57 Perfil de un corte ideal

Fuente: (Thermadyne Industries, Inc., 2008)

- Corte demasiado rápido



Figura 58 Corte demasiado rápido

Fuente: (Thermadyne Industries, Inc., 2008)

- Excesiva distancia entre la pieza de corte y la herramienta



Figura 59 Excesiva distancia ente la pieza de corte y la Herramienta

Fuente: (Thermadyne Industries, Inc., 2008)

- Exceso de Oxígeno



Figura 60 Exceso de oxígeno

Fuente: (Thermadyne Industries, Inc., 2008)

3.5. FORMULARIO DE CHEQUEO

El formulario de chequeo se elaboró en base al estudio realizado por la norma y en un proceso de investigación de campo donde se pudo determinar los puntos que pueden ser inspeccionados en base a los procesos de construcción de juntas soldadas que utilizan las constructoras. (Ver Tabla 10)

Tabla 10
Formulario de chequeo V-AWS

Inspección Visual del Proceso de Soldadura		Calificación			Observaciones
Puntos de inspección	Parámetros	N/A	Cumple	No cumple	Detallar tipo de material, proceso, información importante
Existe WPS para el proceso de soldadura	WPS es el proceso de especificación de soldadura				
Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados	Personal debidamente preparado para realizar este tipo de proceso				
Existe planos estructurales con el detalle de diseño de la soldadura	Debe especificarse diseño de junta soldada tal como lo establece la sección 2 de la norma				
Montaje de vigas acorde a lo detallado en planos y diseños	Se lo realiza en supervisión de personal calificado				
Se realiza proceso de inspección continuamente	Debe ser realizado por personal calificado y llevar todo debidamente documentado				
Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra	Ensayo de partículas magnéticas o tintas penetrantes son métodos recomendados por la norma				
Electrodos proceso	Propiedades claras y				

CONTINUA 

SMAW certificados	visibles				
Consumibles cumplen con proceso de soldadura detallado en WPS	WPS según lo especificado en AWS D1.1				
Respaldo hecho de material acorde a normativa y cumple con el espesor nominal	Se cumple lo mismo que se especifica para metal base y dependerá del proceso de soldadura				
Se cumple el espesor nominal para sección HSS	No debe exceder los 16 mm				
Perímetro exterior sección HSS cumple con la norma	no debe exceder 163 mm				
Soldadura en condiciones naturales estables	Soldadura no se la realiza exponiéndolas a lluvia o humedad excesiva y a velocidad del viento superiores a 8 km/h				
Metal base con superficies uniformes	Superficie donde se deposita metal de aporte es suave, uniforme, libre de grietas, escoria.				
Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS	Se hace bajo supervisión de personal calificado				
Se realiza limpieza antes de empezar la soldadura	Se deberá quitar toda escoria y el metal previamente				

CONTINUA



	depositado				
Electrodos almacenados correctamente	Los electrodos deben estar secos y en condiciones que no afecten sus propiedades				
Electrodos de bajo hidrogeno almacenados en recipiente	Termo de almacenamiento a temperatura de 120°C				
Soldadores tienen conocimiento del WPS	Soldadores siguen proceso descrito en WPS				
Respaldos de acero deben soldarse en forma continua	metal de soldadura deberá estar totalmente fundido con el respaldo				
Se realiza el corte térmico dentro de las líneas prescritas	Equipo debe ser fácil de manipular y ajustar				
Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	Deben estar libre de muescas o cortes y cumple requerimientos de aspereza				
Apuntalados que no han sido removidos son inspeccionados visualmente	Se cumple lo mismo para soldaduras de ayuda				
Dirección de progresión de soldadura es desde	Las partes deben estar relativamente				

CONTINUA



partes fijas hasta partes con mayor libertad	fijas o con menor libertad				
Los componentes que vayan a soldarse están en un alineamiento correcto	Son mantenidos en esa posición mediante pernos, abrazaderas, cuñas, cuerdas de retención, soportes, y otros dispositivos apropiados				
No se realiza martillado en la raíz o en la capa superficial de la soldadura	Tampoco se lo realiza en los bordes del metal base de soldadura				
Soldadura se termina en el extremo de la unión	Con esto se asegura la calidad y si es necesario se lo puede hacer por medio de planchas de extensión				
Soldaduras a tope tienen un acabado nivelado	Con esto se evita que se reduzca el ancho detallado en los diseños y planos				
Soldaduras que utilicen respaldo deberá tener el metal de soldadura totalmente fundido con el mismo	Aplica para soldaduras ranuradas de penetración completa (CJP)				
La intermitencia de respaldos no deberán estar ubicadas en las esquinas	Aplica para secciones tubulares cuadradas (HSS)				

CONTINUA



Para eliminar metal inaceptable o reparar la junta se utilizan procesos aceptados por la norma	Los proceso de maquinado, corte térmico, rebaje, esmerilado son aceptados por AWS D1.1				
Las caras de las soldaduras de filete pueden ser levemente convexas	También pueden ser levemente planas o levemente cóncavas.				
De existir grietas en soldaduras, estas deberán ser reparadas o reemplazadas	Las grietas en soldaduras son inaceptables				
Se retira la escoria de soldaduras completadas, el metal base adyacente y soldadura deberán limpiarse mediante cepillado	Las salpicaduras remanentes que permanecen adheridas fuertemente aun después de la operación de limpieza son aceptables				

Fuente: Norma AWS D1.1 edición 2010, Sección Dos, Cinco y Seis

3.6. NORMAS QUE SE DEBE SEGUIR EN EL PROCESO DE INSPECCIÓN

Se recomienda que el técnico que vaya a realizar la inspección tenga un nivel de visión óptimo (natural o corregida) que le permita inspeccionar visualmente las diferentes discontinuidades y detalles de soldaduras con precisión y sin mayor esfuerzo. También se necesitara que el inspector tenga un estado físico que le permita ingresar a sitios de compleja accesibilidad para realizas las inspecciones, en algunos casos en lugares de difícil acceso. Todo esto respetando las normas establecidas por seguridad industrial.

3.6.1. HERRAMIENTAS BÁSICAS NECESARIAS

Para llevar a cabo una apropiada inspección; y para poder desarrollar este proceso antes, durante y después, se deberá contar mínimo con las siguientes herramientas:

- Cinta Métrica
- Regla de acero por 6 pulgadas
- Calibrador
- Lupa
- Linterna de bolsillo
- Cámara fotográfica de alta definición

Los equipos utilizados para la inspección deberán ser de una calidad certificada para garantizar que el proceso sea llevado a cabo de la mejor manera.

3.6.2. CONDICIONES QUE SE DEBE CUMPLIR PARA REALIZAR LA INSPECCIÓN VISUAL

Para realizar la inspección, el personal a cargo deberá revisar la documentación correspondiente en planos y diseños de la estructura, si se puede acceder a las calificaciones de los procedimientos de soldadura, calificaciones de soldadores y certificaciones de materiales.

El inspector analizará los planos y diseños de construcción de la obra, hasta asegurar la completa comprensión de la información referente a los procesos de soldadura que se ejecutaran.

El inspector deberá contar con un juego de planos, manual y lista de inspección para su uso en cualquier momento del desarrollo de la inspección. Previendo que dicha documentación incluye las últimas revisiones o actualizaciones.

Una vez en la construcción, el personal a cargo verificará que los materiales base y materiales de aporte se encuentren en buen estado de almacenamiento y uso, por ejemplo que los electrodos se encuentren depositados en termos, bajo las temperaturas previamente establecidas por el fabricante o la norma. Las soldaduras terminadas, serán inspeccionadas visualmente por el personal a cargo, verificando que poseen el tamaño específico y que las discontinuidades encontradas, no excedan los límites de aceptabilidad establecidos por la guía de inspección.

3.6.3. PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS DE OTROS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos de soldadura recomendados para este tipo de procesos pueden variar dependiendo de los resultados de la inspección y los defectos encontrados, los más recomendables debido a su rapidez y eficacia son, END con líquidos penetrantes o con partículas magnéticas.

CAPÍTULO IV

INSPECCIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS SOLDADAS

4. DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE INSPECCIÓN EN CONSTRUCCIONES SELECCIONADAS

Para realizar el proceso de inspección de soldadura se desarrolló la guía de inspección y formulario en base a las necesidades y requerimientos que se fueron observando en la práctica y lo establecido en la AWS D1.1.

4.1. REQUERIMIENTOS DEL PROCEDIMIENTO

Para ejecutar el procedimiento inspección de soldadura en estructuras metálicas de altura se utilizara los siguientes recursos:

- Guía de Inspección visual en estructuras de altura
- Formulario de chequeo V-AWS
- Regleta metálica graduada de bolsillo
- Cámara Fotográfica
- Lupa

4.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL PROCESO DE INSPECCIÓN

Para el levantamiento de información se utilizó el formulario V-AWS de inspección visual, el cual fue debidamente completado siguiendo lo establecido en el procedimiento de inspección visual. A continuación se encuentran los formularios completados en las diferentes empresas:

Tabla 11
Formulario V-AWS 11A

Inspección Visual del Proceso de Soldadura		Calificación			Observaciones
Puntos de inspección	Parámetros	N/A	Cumple	No cumple	Detallar tipo de material, proceso, información importante
Existe WPS para el proceso de soldadura	WPS es el proceso de especificación de soldadura			X	Solo indicaciones en planos
Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados	Personal debidamente preparado para realizar este tipo de proceso		X		Todos tienen cursos y acreditaciones
Existe planos estructurales con el detalle de diseño de la soldadura	Debe especificarse diseño de junta soldada tal como lo establece la sección 2 de la norma		X		
Montaje de vigas acorde a lo detallado en planos y diseños	Se lo realiza en supervisión de personal calificado		X		Se detalle este procedimiento en los planos y diseños
Se realiza proceso de inspección continuamente	Debe ser realizado por personal calificado y llevar todo debidamente documentado		X		En su mayoría se utiliza tintas penetrantes
Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra	Ensayo de partículas magnéticas o tintas penetrantes son métodos recomendados por la norma		X		Ensayos realizados en tintas penetrantes
Electrodos proceso	Propiedades claras y		X		Propiedades

CONTINUA



SMAW	visibles				claras
Consumibles cumplen con proceso de soldadura detallado en WPS	WPS según lo especificado en AWS D1.1			X	No existe WPS
Respaldo hecho de material acorde a normativa y cumple con el espesor nominal	Se cumple lo mismo que se especifica para metal base y dependerá del proceso de soldadura		X		
Se cumple el espesor nominal para sección HSS	No debe exceder los 16 mm	X			Espesor varía de 25-16 mm
Perímetro exterior sección HSS cumple con la norma	no debe exceder 163 mm			X	Varía dependiendo la sección de la estructura
Soldadura en condiciones naturales estables	Soldadura no se la realiza exponiéndolas a lluvia o humedad excesiva y a velocidad del viento superiores a 8 km/h			X	Presencia de llovizna
Metal base con superficies uniformes	Superficie donde se deposita metal de aporte es suave, uniforme, libre de grietas, escoria.		X		
Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS	Se hace bajo supervisión de personal calificado			X	No existe WPS

CONTINUA



Se realiza limpieza antes de empezar la soldadura	Se deberá quitar toda escoria y el metal previamente depositado		X		Mediante cepillado
Electrodos almacenados correctamente	Los electrodos deben estar secos y en condiciones que no afecten sus propiedades			X	Expuesto al medio ambiente
Electrodos de bajo hidrogeno almacenados en recipiente	Termo de almacenamiento a temperatura de 120°C			X	No existe termos
Soldadores tienen conocimiento del WPS	Soldadores siguen proceso descrito en WPS			X	No existe WPS
Respaldos de acero deben soldarse en forma continua	metal de soldadura deberá estar totalmente fundido con el respaldo		X		6 mm de espesor
Se realiza el corte térmico dentro de las líneas prescritas	Equipo debe ser fácil de manipular y ajustar		X		
Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	Deben estar libre de muescas o cortes y cumple requerimientos de aspereza		X		
Apuntalados que no han sido removidos son inspeccionados	Se cumple lo mismo para soldaduras de ayuda	X			Apuntalados son removidos

CONTINUA



visualmente					
Dirección de progresión de soldadura es desde partes fijas hasta partes con mayor libertad	Las partes deben estar relativamente fijas o con menor libertad		X		
Los componentes que vayan a soldarse están en un alineamiento correcto	Son mantenidos en esa posición mediante pernos, abrazaderas, cuñas, cuerdas de retención, soportes, y otros dispositivos apropiados		X		Se utilizan niveles de alta calidad
No se realiza martillado en la raíz o en la capa superficial de la soldadura	Tampoco se lo realiza en los bordes del metal base de soldadura		X		
Soldadura se termina en el extremo de la unión	Con esto se asegura la calidad y si es necesario se lo puede hacer por medio de planchas de extensión		X		
Soldaduras a tope tienen un acabado nivelado	Con esto se evita que se reduzca el ancho detallado en los diseños y planos		X		
Soldaduras que utilicen respaldo deberá tener el metal de soldadura totalmente fundido con el mismo	Aplica para soldaduras ranuradas de penetración completa (CJP)		X		
La intermitencia de respaldos no deberán estar ubicadas en las esquinas	Aplica para secciones tubulares cuadradas (HSS)		X		

CONTINUA



Para eliminar metal inaceptable o reparar la junta se utilizan procesos aceptados por la norma	Los proceso de maquinado, corte térmico, rebaje, esmerilado son aceptados por AWS D1.1		X		Se realiza bajo la supervisión del ingeniero a cargo
Las caras de las soldaduras de filete pueden ser levemente convexas	También pueden ser levemente planas o levemente cóncavas.		X		
De existir grietas en soldaduras, estas deberán ser reparadas o reemplazadas	Las grietas en soldaduras son inaceptables		X		Soldaduras con grietas son inspeccionadas y calificadas por un especialista
Se retira la escoria de soldaduras completadas, el metal base adyacente y soldadura deberán limpiarse mediante cepillado	Las salpicaduras remanentes que permanecen adheridas fuertemente aun después de la operación de limpieza son aceptables		X		

Fuente: Norma AWS D1.1 Edición 2010, Sección dos, cinco y seis

4.3. LÍMITES DE ACEPTABILIDAD EN PROCESO DE INSPECCIÓN VISUAL

Para establecer los límites de aceptabilidad con los cuales vamos a calificar a las construcciones inspeccionadas seguiremos lo establecido en la norma y sus criterios de aceptación los cuales se describen en la tabla 8.

En base a lo establecido en la norma hemos realizado y destacado ciertos puntos para aplicar a nuestro formulario y determinar si las estructuras inspeccionadas cumplen o no con la norma.

La ponderación se lo realizara en base a la importancia de cada ítem de acuerdo a lo establecida por la norma y en base a los requerimientos básicos para que se realice un adecuado proceso de soldadura.

Los constructores para llevar a cabo el proceso de soldadura en estructura metálica deben cumplir como mínimo los siguientes puntos:

1. Tener un WPS debidamente desarrollado por un técnico con mínimo tercer nivel de estudio, afín al área, acorde a las necesidades y requerimientos de la estructura
2. Personal encargado de realizar la soldadura debe ser calificado
3. El personal debe tener conocimiento del WPS y cumplir lo establecido en el mismo
4. Metal base y de aporte acorde a los diseños y planos de la estructura.
5. Electrodo certificados y correctamente almacenados
6. El proceso se realiza en condiciones climáticas normales
7. Toda soldadura que presente fisura deberá ser evaluado mediante ensayos no destructivos más rigurosos.

4.4. CALCULO DE LA MUESTRA

El caculo de la muestra se fundamentó en base a información obtenida por ecuador en cifras, este estudio fue publicado en 2014 y detalla básicamente la emisión de permisos de construcción emitidos por los diferentes municipios.

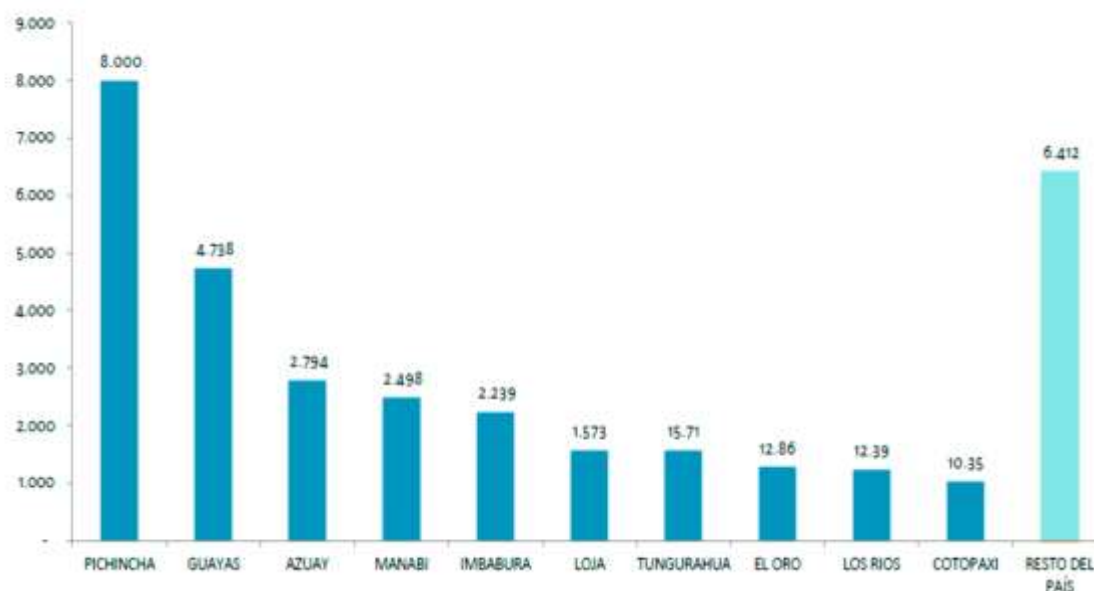


Figura 61 Permisos de construcción según provincias

Fuente: Ecuador en Cifras (INEC)

Número de permisos de construcción por tipo

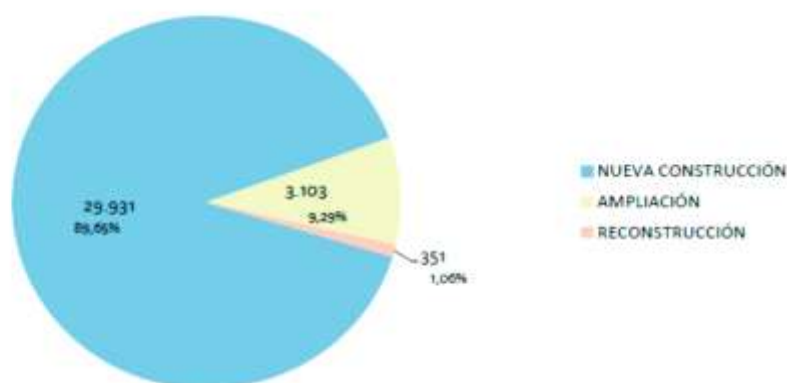


Figura 62 Permisos de construcción por tipo

Fuente: Ecuador en Cifras (INEC)

Permisos de Construcción, según Cantones

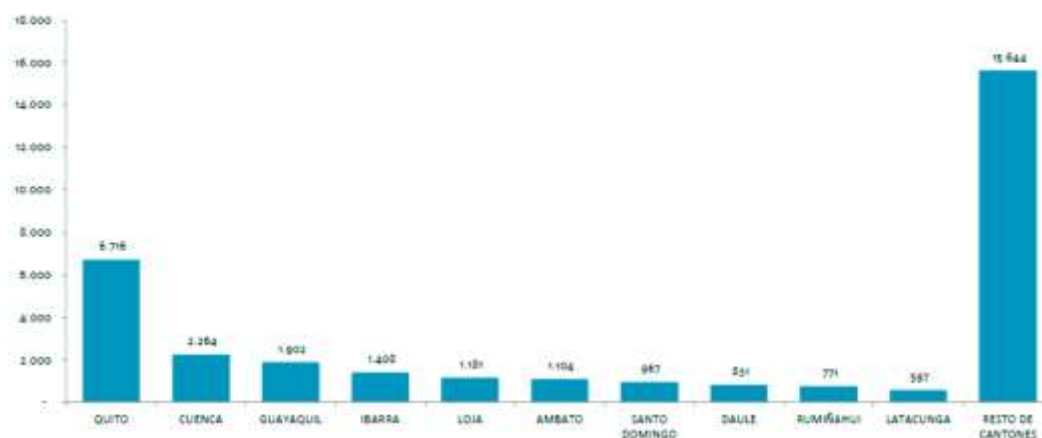


Figura 63 Permisos de construcción según cantones

Fuente: Ecuador en Cifras (INEC)

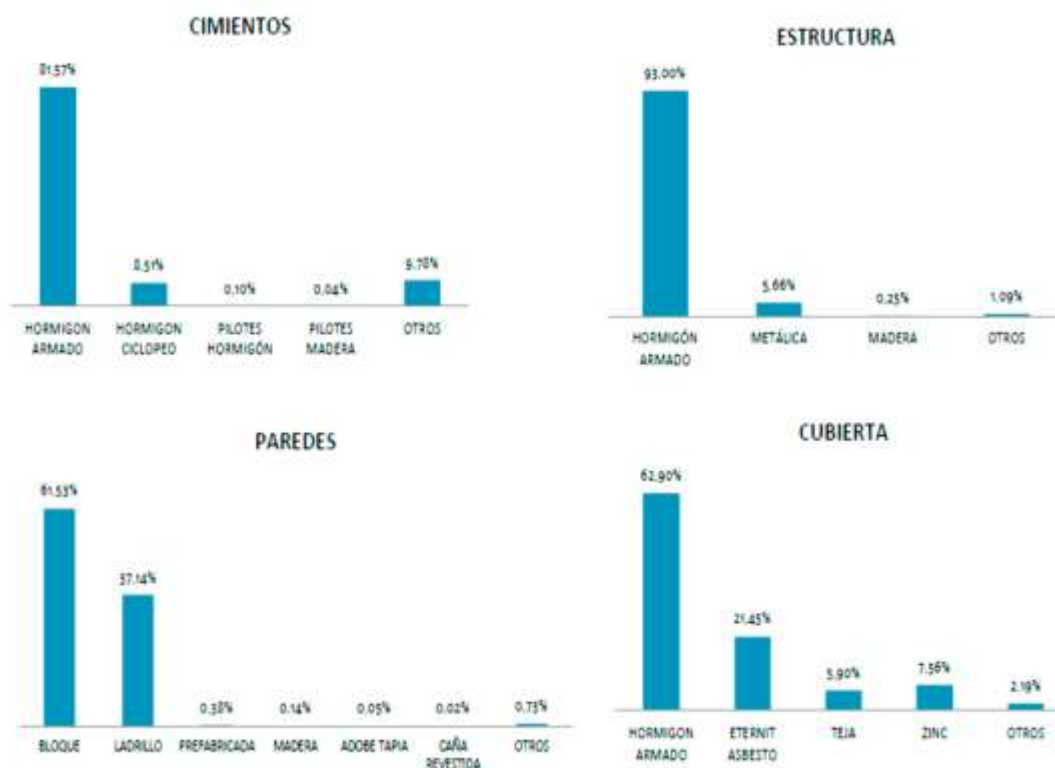


Figura 64 Tipo de construcciones en Quito (Porcentajes)

Fuente: Ecuador en Cifras (INEC)

En base a los datos mostrados en las figuras y en la información recibida del municipio de Quito, podemos establecer lo siguiente:

- En el año 2014 se emitieron 6716 permisos de construcción
- No todos los permisos son para construcciones nuevas, también está incluido ampliaciones y reconstrucciones
- Del total de permisos de construcción emitidos para la ciudad de Quito el 5,66% pertenece a estructuras metálicas, es decir un total de 380 construcciones
- Cabe señalar que de las 380 construcciones, alrededor del 60% están destinadas a lo que son galpones, remodelaciones o reconstrucciones
- Es decir que alrededor de 150 construcciones son destinadas a edificaciones.
- De las 150 construcciones según datos de la agencia metropolitana de control, 90 permisos de construcción son destinados para edificaciones de altura (es decir edificios de más de 4 pisos).

4.4.1. MUESTRA SELECCIONADA

Una vez obtenido el universo, procedemos a calcular la muestra de la siguiente manera:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Formula 1 Cálculo de Muestra

Fuente: (Berrie, 2014)

Dónde:

N= Total de la población

Z α = 1.96 (confiabilidad del 90%)

p= proporción esperada (0.10=10%)

q= 1-p (1-0.10=0.90)

d= precisión (5%)

De lo establecido anteriormente tenemos:

Para una población total de 90
y un margen de error de 10 %,
la muestra deberá ser de **47**

Figura 65 Muestra Estadística

Como resultado tenemos que para un universo de 90 construcciones debemos obtener una muestra de 47 construcciones. Cabe señalar que de la muestra final seleccionada solo pudo ser de 16 construcciones, esto debido a que varias construcciones se encontraban en proceso de planos y movimiento de tierras en los terrenos seleccionados, o ya estaban en más del 90% de construcción, circunstancias que impedían realizar el proceso de inspección. Y recalando que edificios de estructura metálica con más de 4 pisos de altura el 80% está concentrado por 5 constructoras, según datos de la agencia metropolitana de control.

En este caso se tuvo que recalcular la muestra, obteniendo la siguiente información:

Con una muestra de 16
para una población de
90, se obtiene un margen de
error máximo del **22.3 %.**

Figura 66 Margen de error para muestra seleccionada

4.5. CALIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS

Para el proceso de calificación se utilizara el proceso de ponderación por puntos, este método nos permitirá conocer cuál de las construcciones inspeccionadas cumple con lo establecido en la norma. Para desarrollar este proceso primero se tabulo la información recogida en campo para tener una manera más clara y precisa de como efectúan el proceso de soldadura las constructoras seleccionadas. En el formulario de chequeo contamos con un total de treinta y tres puntos, los mismos que fueron completados en inspecciones junto con el personal del municipio y personal encargado. Para el método de ponderación por punto se dividió al formulario en tres tipos de requerimiento según su importancia, alto, medio y bajo. Para seleccionar la jerarquía de los puntos establecidos en el formulario, se hizo un análisis junto con el personal de la Agencia Metropolitana de Control de los parámetros que debían tener mayor relevancia respecto a los procesos que se aplican en las construcciones de la ciudad y lo que establece la AWS D1.1.

Es así que se designó los parámetros más importantes; por ejemplo se dio mayor ponderación al WPS ya que es un documento importante que garantiza la calidad de la soldadura y que los procesos repetitivos de fabricación de soldadura para determinada construcción estén estandarizados, sobre que se cumpla el Diámetro de la sección cuadrada Hueca establecida por la norma, ya que el diámetro exterior seleccionado por el constructor dependerá del diseño del edificio, siendo este parámetro no tan importante como el WPS.

Teniendo cada uno su respectiva calificación de acuerdo a su importancia, tal como lo muestra en la tabla 12:

Tabla 12
Ponderación de Calificaciones

IMPORTANCIA	CALIFICACIÓN
Alto	3 puntos
Medio	2 puntos
Bajo	1 punto

De acuerdo a lo antes establecido y el número de requerimiento tenemos un total de setenta y dos puntos; de acuerdo a la sumatoria que otorgue cada encuesta se verificara si la construcción cumple con lo establecido en la norma, teniendo como referencia que si la puntuación consigue como mínimo el 70% del total se asume que cumple de forma aceptable, ponderando la puntuación en parámetros de calificación alta. El detalle se encuentra a continuación:

Tabla 13
Rangos de Aceptación

RANGO	CRITERIO
Puntuación igual o mayor a 52 puntos	CUMPLE
Con mínimo 32 puntos de calificaciones altas	
Puntuación entre 52 y 37 puntos	RE INSPECCIÓN
Con calificaciones altas entre 32 y 21 puntos	
Puntuación menor a 37 puntos	NO CUMPLE
Con calificaciones altas menores a 21 puntos	

Tabla 14

Calificación y clasificación de resultados IDEAL

Parámetro	Cumple	No cumple	NA
Existe WPS para el proceso de soldadura	3		
Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados	3		
Electrodos son debidamente certificados	3		
Consumible cumplen con proceso WPS	3		
Existe planos estructurales con el detalle de diseño de la soldadura	3		
Montaje de vigas acorde a lo detallado en planos y diseños	3		
Se realiza proceso de inspección continuamente	3		
Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra	3		
Respaldo hecho de material acorde a normativa y cumple con el espesor nominal	3		
Se cumple el espesor nominal para sección HSS	1		
Perímetro exterior sección HSS cumple con norma	1		
Soldadura en condiciones naturales estables	3		
Metal base con superficies uniformes	2		
Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS	3		

CONTINUA



Se realiza limpieza antes de empezar soldadura	2		
Electrodos almacenados correctamente	3		
Electrodos de bajo hidrogeno almacenados en termos	3		
Soldadores tienen conocimiento WPS	3		
Respaldos de acero deben soldarse en forma continua	2		
Se realiza corte térmico dentro de las líneas prescritas	1		
Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	2		
Apuntalados que no han sido removidos son inspeccionados visualmente	1		
Dirección de progresión de la soldadura es desde partes fijas hasta partes con mayor libertad	2		
Los componentes que vayan a soldarse están en un alineamiento correcto	2		
No se realiza martillado en la raíz o en la cara superficial de la soldadura	1		
Soldadura se termina en el extremo de la unión	1		
Soldadura a tope tienen un acabado nivelado	2		
Soldaduras que utilicen respaldo deberá tener el metal de soldadura totalmente fundido con el mismo	1		
La intermitencia de respaldos no deberán estar ubicados en las esquinas	1		

CONTINUA



Para eliminar el metal inaceptable o reparar la junta se utilizan procesos aceptados por la norma	2		
Las caras de los filetes pueden ser levemente convexas	1		
De existir grietas en soldaduras, estas deberán ser evaluadas mediante ensayos no destructivos	3		
Se retira la escoria de soldaduras completadas, el metal base adyacente y soldadura deberán limpiarse mediante cepillado	2		
Total	72	0	0
Aceptable	Mayor a 52		
Recalificación	52-37		
Inaceptable	Menor 37		

Tabla 15

Calificación y clasificación de resultados 11A

Parámetro	Cumple	No cumple	NA
Existe WPS para el proceso de soldadura		3	
Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados	3		
Electrodos son debidamente certificados	3		
Consumible cumplen con proceso WPS		3	
Existe planos estructurales con el detalle de diseño de la soldadura	3		
Montaje de vigas acorde a lo detallado en planos y diseños			3
Se realiza proceso de inspección continuamente	3		
Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra	3		
Respaldo hecho de material acorde a normativa y cumple con el espesor nominal	3		
Se cumple el espesor nominal para sección HSS			1
Perímetro exterior sección HSS cumple con norma			1
Soldadura en condiciones naturales estables		3	
Metal base con superficies uniformes	2		
Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS		3	

CONTINUA



Se realiza limpieza antes de empezar soldadura	2		
Electrodos almacenados correctamente		3	
Electrodos de bajo hidrogeno almacenados en termos		3	
Soldadores tienen conocimiento WPS		3	
Respaldos de acero deben soldarse en forma continua	2		
Se realiza corte térmico dentro de las líneas prescritas	1		
Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	2		
Apuntalados que no han sido removidos son inspeccionados visualmente			1
Dirección de progresión de la soldadura es desde partes fijas hasta partes con mayor libertad	2		
Los componentes que vayan a soldarse están en un alineamiento correcto	2		
No se realiza martillado en la raíz o en la cara superficial de la soldadura	1		
Soldadura se termina en el extremo de la unión	1		
Soldadura a tope tienen un acabado nivelado	2		
Soldaduras que utilicen respaldo deberá tener el metal de soldadura totalmente fundido con el mismo	1		
La intermitencia de respaldos no deberán estar ubicados en las esquinas	1		

CONTINUA



Para eliminar el metal inaceptable o reparar la junta se utilizan procesos aceptados por la norma	2		
Las caras de los filetes pueden ser levemente convexas	1		
De existir grietas en soldaduras, estas deberán ser evaluadas mediante ensayos no destructivos	3		
Se retira la escoria de soldaduras completadas, el metal base adyacente y soldadura deberán limpiarse mediante cepillado	2		
Total	48	19	6
PARÁMETRO PONDERADO	24		
CALIFICACIÓN	RE INSPECCIÓN		

Tabla 16

Resultados

	General	Porcentual
Total de construcciones	16	100%
Estructuras aprobadas	6	38%
Estructuras con recalificación	8	50%
Estructuras no aprobadas	2	13%



Figura 67. Resultados generales de la investigación

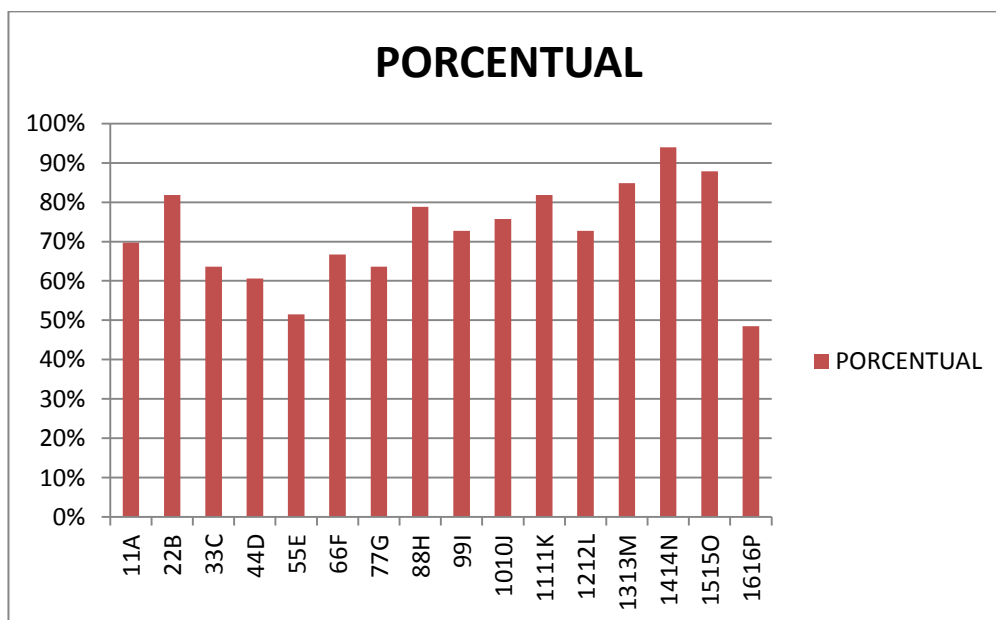


Figura 68. Resultados Porcentuales

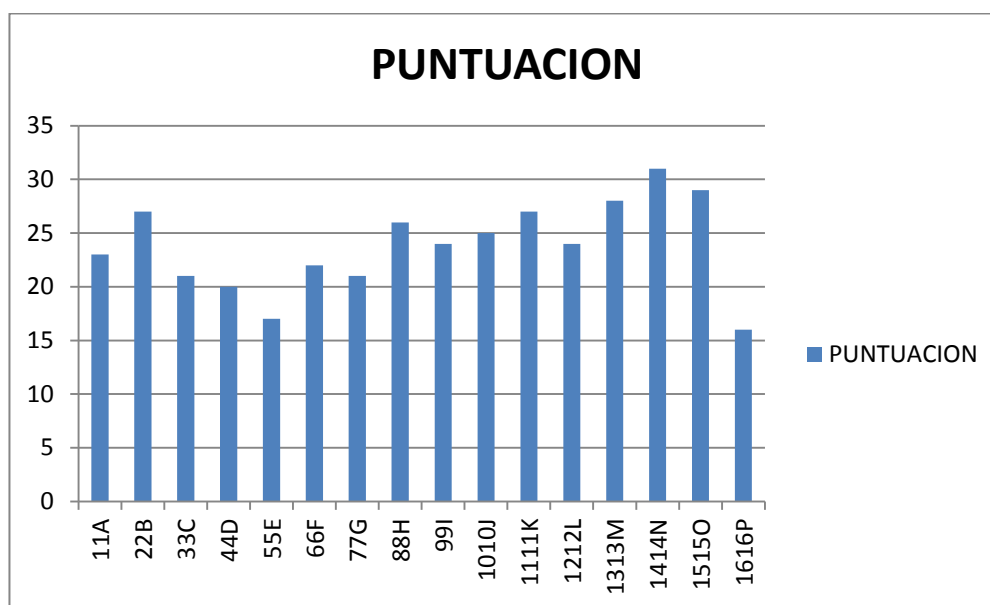


Figura 69. Resultados por puntuación

Del análisis antes expuesto se establece que el 38% de las construcciones inspeccionadas están en un rango de aceptación superior o igual al cumplimiento del 70% de lo estipulado por la norma, un 50% se encuentra en un rango de cumplimiento entre el 50% - 70% que pasarían a un proceso de re inspección, mientras que un 12% de construcciones no cumplen no el mínimo requerido.

A continuación se muestra una tabulación de las encuestas en donde se determina los parámetros de inspección que más se cumple por parte de las empresas constructoras.

Tabla 17

Tabulación de datos

N o	Puntos de Inspección	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	NUMERO DE CONSTRUCCIONES		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	NO CUMPL E	CUM PLE	N / A
1	Existe WPS para el proceso de soldadura	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	5	11	0
2	Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	14	0
3	Existe planos estructurales con el detalle de diseño de la soldadura	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	9	7	0
4	Montaje de vigas acorde a lo detallado en planos y diseños	1		1	0	0	0	1	0	1	1	0		0	1	1	0	7	7	2
5	Se realiza proceso de inspección continuamente	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	14	0
6	Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	14	0
7	Electrodos proceso SMAW certificados	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	0
8	Consumibles cumplen con proceso de soldadura detallado en WPS	0	1	1	1	0	1		1	1	0	0		0	1	0	1	6	8	2
9	Respaldo hecho de material acorde a normativa y cumple con el espesor nominal	1	1	1		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	1

CONTINUA



1 0	Se cumple el espesor nominal para sección HSS		1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	4	10	2		
1 1	Perímetro exterior sección HSS cumple con la norma		1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	4	10	2		
1 2	Soldadura en condiciones naturales estables	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	5	11	0		
1 3	Metal base con superficies uniformes	1	1	0	0	1	1	1	1	1			1	1	1	1	2	12	2		
1 4	Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS	0	1	0	0	0			1	0				1	1		5	4	7		
1 5	Se realiza limpieza antes de empezar la soldadura	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	1		
1 6	Electrodos almacenados correctamente	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	6	10	0		
1 7	Electrodos de bajo hidrogeno almacenados en recipiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	13	3	0		
1 8	Soldadores tienen conocimiento del WPS	0	1	0	1	0	1		1	1	1	1		0	1	0	5	9	2		
1 9	Respaldos de acero deben soldarse en forma continua	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	0		
2 0	Se realiza el corte térmico dentro de las líneas prescritas	1		1	1	1		1		1		1		1	1	1	0	1	10	5	
2 1	Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	2	12	2	
2 2	Apuntalados que no han sido removidos son inspeccionados visualmente			0								1	1		1	0	1	1	2	5	9
2 3	Dirección de progresión de soldadura es desde partes fijas hasta partes con mayor libertad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	15	0	
2 4	Los componentes que vayan a soldarse están en un alineamiento correcto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	16	0	

CONTINUA



Para la valoración de los resultados se estableció lo siguiente:

- Se listo todos los puntos de inspección
- Se asignó (1) para las construcciones que cumplen con los puntos de inspección, (0) para los que no cumplen y espacio en blanco () para lo que no aplica
- Se estableció cuáles son los puntos de inspección que más se cumplen y cuáles son los que menos cumplen

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Se realizó un análisis teórico de la norma en donde se pudo establecer los parámetros a ser inspeccionados en las estructuras seleccionadas.
2. Se desarrolló el formulario de chequeo V-AWS, en base al análisis teórico de la norma y en base a los procesos de construcción que se aplican en la ciudad.
3. La guía de inspección cumplió satisfactoriamente como ayuda referencial para completar el formulario de chequeo.
4. En el proceso de verificación del cumplimiento de la norma AWS D1.1 en estructuras metálicas de altura en el distrito metropolitano de Quito dio como resultado que alrededor de un 38% de construcciones de la muestra seleccionada cumplen con lo establecido en la AWS D1.1.
5. La legislación ecuatoriana que actualmente está vigente para construcciones no exige un adecuado seguimiento en lo referente a la construcción y montaje de las juntas soldadas en estructura metálica, sobre todo en construcciones privadas, esto debido a que por ley se exige solo la memoria de cálculo del diseño de la estructura, planos arquitectónicos y documentos administrativos referentes a títulos de propiedad, permisos de construcción, financiamiento de la obra, estado tributario.
6. En el proceso de fabricación de juntas soldadas, el momento de construcción y montaje son donde más problemas se evidencia, ya que no existe control para que lo establecido en diseños y norma se cumpla.
7. La construcciones no cumplen con el almacenamiento correcto de consumibles, aunque las constructoras adquieran consumibles de

calidad, el mal almacenamiento de los mismos afectan su propiedades por ende la calidad de la soldadura.

8. El 80% de construcciones cumplió con la inspección de grietas siendo estas reparadas o reemplazadas por otra soldadura.
9. La mayoría de construcciones cumplen con un proceso de limpieza adecuado, antes y después de haber realizado la soldadura.
10. Se comprobó que se realiza procesos de inspección periódica por parte del constructor, pero no hay un ente fiscalizador que garantice la veracidad de los resultados obtenidos.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener un control más estricto del desarrollo y ejecución del proyecto en la parte técnica no centrarse tanto en el tema arquitectónico y administrativo.
2. Se recomienda que la inspección y control durante el montaje y construcción de la estructura metálica, debería ser obligatorio y establecido dentro de la legislación local.
3. La aplicación de la guía y el formulario de chequeo debería ser realizado por parte de un ingeniero mecánico o ingeniero civil con conocimientos técnicos referentes a los procesos de soldadura
4. La guía de inspección y el formulario de chequeo, deberán ser mejorados y reforzados, acorde a las necesidades generadas en un futuro por los procesos de inspección llevados a cabo por el personal técnico de la Agencia Metropolitana de Control.
5. Se recomienda que las constructoras tengan un proceso de calificación para soldadores antes de empezar la construcción.
6. Se recomienda mejorar los métodos de almacenamiento de electrodos y consumibles por parte de las constructoras.

7. Se recomienda que instituciones autónomas como las universidades, puedan actuar como ente fiscalizador en los procesos de inspección de soldadura en estructuras metálicas.
8. Las autoridades deberían buscar alianzas entre las diferentes instituciones para elaborar un proceso y reglamentos de control a todo nivel en las construcciones de estructura metálica soldada, tomando en cuenta el gran riesgo de sismos que está expuesto nuestro país.
9. Se recomienda a la Agencia Metropolitana de Control, crear un debate entre los sectores involucrados en el sector de la construcción tanto públicos como privados, en donde se pueda establecer criterios que permitan mejorar la calidad y seguridad de las construcciones, así como determinar las competencias que tienen las diferentes instituciones públicas respecto al tema.

REFERENCIAS

- Academia de Laboratorio de Control de Calidad. (2002). Apuntes para el Laboratorio de Pruebas No Destructivas. México D.F, México, México.
- American Welding Society. (2005). *Manual de soldadura Tomo I*. Mexico D.F.: Prentice-Hall Hispanoamerica, S.A.
- American Welding Society. (2010). *Norma AWS D1.1, Structural Welding Code*. Florida - Estados Unidos: American Welding Society.
- Andrés García, R. S. (2012). METALURGIA DE UNIONES SOLDADAS DE ACEROS DISÍMILES (ASTM A240–A537) Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO ANTE CARGAS MONOTÓNICA Y CÍCLICA. *Rev.LatinAm.Metal.Mat*, 36-48.
- ASM International,. (1985). *Metals Handbook, Desk Edition*,.
- Asociación Argentina de Materiales. (n.d.). *www.materiales-sam.org.ar*. Retrieved from <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/vedia.pdf>
- BBC. (n.d.). *www.bbc.com*. Retrieved from [www.bbc.com](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_chile_terremoto_edificios_az):
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_chile_terremoto_edificios_az
- Berrie. (2014). <http://www.berrie.dds.nl/>. Retrieved from <http://www.berrie.dds.nl/>:
<http://www.berrie.dds.nl/calcss.htm>
- CENTRO DE CONOCIMIENTO ESAB. (2016). <http://www.esab.com.ar/>. Retrieved from <http://www.esab.com.ar/>:
<http://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/nociones-de-electricidad-con-relacion-al-arco-electrico.cfm>
- Centro de investigación en gestión integral de riesgos Venezuela. (2009). Patología en las edificaciones. *Patología en las edificaciones*. Caracas, Venezuela.
- COMTECOL. (2012). *PROCEDIMIENTO DE INSPECCION VISUAL DE SOLDADURAS*. BOGOTA.
- Diario El Comercio. (2011, 12 28). *El crecimiento de la ciudad será solo hacia arriba hasta el 2022*. Retrieved from www.elcomercio.com:
<http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/crecimiento-de-ciudad-sera-hacia.html>
- Edwards and Endean. (1990). *Manufacturing with Materials*. The Open University.
- Endean, E. a. (1990). *Manufacturing with Materials*. In T. O. University.

- Fernández, J. S. (n.d.). Introducción a la Estadística Empresarial. In *Capítulo 5.- Números Índices*.
- Garcimartin, M. A. (2002). Soldadura en Estructuras Metalicas de Edificacion. *Revista del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia*, 12 a 19.
- Gerken, J. M. (1994). Gas Tungsten Arc Welding. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Groover, M. P. (200). *Fundamentos de manufactura moderna 3ª edición*. México D.F: McGraw-Hill.
- GUEVARA, C. M. (2009, Abril). Implementación de un sistema de inspección para control de calidad de soldadura en estructura metálica con el uso de ensayos no destructivos para la empresa INENDEC. Sangolqui, Pichincha, Ecuador.
- <http://www.dinatecnica.com.ar>. (n.d.).
- Indura S.A Industria y Comercio. (2009). Manual de Sistemas y Material de Soldadura. *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Chile.
- Ingenieria del Acero. (n.d.). <http://www.ingenieriadelacero.com/>. Retrieved from <http://www.ingenieriadelacero.com/>: <http://www.ingenieriadelacero.com/>
- Instituto Distrital de Recreacion y Deporte Bogota D.C. (2010). <http://www.idrd.gov.co/>. Retrieved from <http://www.idrd.gov.co/>: <http://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php>
- Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2009). Reglamento Tecnico Ecuatoriano. *Soldadura de estructura de acero*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Instituto Nacional de Tecnologia Industrial de Argentina. (2012). Reglamento CIRSOC 304. In I. N. Argentina, *Estructuras de acero soldadas*.
- INTERNATIONAL, A. (1985). Metals Handbook, Desk Edition.
- John M. Gerken. (n.d.). Gas Tungsten Arc Welding,. 1991: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Lévi, M. (2011). *Guia del Inspector de Soldadura*. Bogota.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015, Enero). Normativa Ecuatoriana de Construcciones. *NEC*. Quito, Pichincha, Ecuador.

- MSC software. (n.d.). <http://simulatemore.mscsoftware.com>. Retrieved from <http://simulatemore.mscsoftware.com/>:
<http://simulatemore.mscsoftware.com/simulate-manufacturing-with-simufact/>
- Nilson Ortega, C. J. (2011). *Diagrama Hierro Carbono*. Narino.
- Otanu, D. S. (2011). Tokyo, Japon: university of Tokyo.
- Robles, J. C. (2011). www.wordpress.com. Retrieved from www.wordpress.com:
<https://josecarlosrobles.wordpress.com/>
- ROJAS, G. (2015). *Armaduras de acero*. Costa Rica,.
- SECRETARÍA DE LAS INFRAESTRUCTURAS Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL SUSTENTABLE. (n.d.). *Manual de Diseño para la Construcción con Acero*. México. Gobierno del Estado de Oaxaca.
- Slideshare. (2012). <http://es.slideshare.net/>. Retrieved from <http://es.slideshare.net/>:
<http://es.slideshare.net/reynaalviri/soldaduraalarcoelectrico-ept>
- Soldadura Latinoamericana. (2012). www.soldaduralatinoamericana.com. Retrieved from www.soldaduralatinoamericana.com: www.soldaduralatinoamericana.com
- Soldadura.com. (2010). <http://html.soldadura.com>. Retrieved from <http://html.soldadura.com>: <http://html.soldadura.com/equipo-basico-para-soldar-al-arco.html>
- SteelConstruction.info. (n.d.). <http://www.steelconstruction.info>. Retrieved from <http://www.steelconstruction.info>:
http://www.steelconstruction.info/Single_storey_industrial_buildings
- The Lincoln Electric Company. (1995). *The Procedure Handbook of Arc Welding Design*. Cleveland: The Lincoln Electric Company.
- (1995). *The Procedure Handbook of Arc Welding*. In T. L. Company.
- Thermadyne Industries, Inc. (2008). VICTOR. *Welding, Cutting, and Heating Guide*, 240.
- Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. (2011, Agosto). <http://www.uca.edu.sv>. Retrieved from <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210034/doc4.pdf>
- Universo Marino. (2015, junio 15). <http://universomarino.com/>. Retrieved from <http://universomarino.com/category/volcanes-submarinos/>

wikibooks.org. (n.d.). <https://es.wikibooks.org>. Retrieved from https://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa_de_la_edificaci%C3%B3n/Estructuras_met%C3%A1licas/Acero/Causas_materiales_y_mecanismos_de_deterioro

Word Press. (2009). hectorariel26.wordpress.com/. Retrieved from [hectorariel26.wordpress.com/](https://hectorariel26.wordpress.com/2009/11/20/fundamentos-de-soldadura/)
<https://hectorariel26.wordpress.com/2009/11/20/fundamentos-de-soldadura/>

www.elcolombiano.com. (n.d.). Retrieved from www.elcolombiano.com:
http://www.elcolombiano.com/por_que_colapso_la_construccion_en_haiti-MVEC_96192