



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**CONTROL DE CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS CON
ENSAYO VISUAL Y LIQUIDOS PENETRANTES DE UNA
ESTRUCTURA METÁLICA DE ACUERDO AL
CODIGO AWS D1.1**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RICAR DAVID ALANOCA VARGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres Oscar y Josefa que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

Gracias a ustedes logre llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

Por lo mismo el presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.



AGRADECIMIENTOS

- A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.
- Agradezco a los docentes de la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.
- Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Walter Sarmiento Sarmiento, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de mi trabajo de tesis.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. Hipótesis general	20
1.3.2. Hipótesis específico	20
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	20
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1. Objetivo general	22
1.5.2. Objetivos específicos	22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.1. Control de calidad	23



2.1.2. Estructuras metálicas.....	24
2.1.3. Selección de tipo de estructura.....	24
2.1.4. Tipos de estructuras metálicas	25
2.1.5. Ventajas de las estructuras metálicas	27
2.1.6. Conexiones en estructuras metálicas.....	28
2.1.7. Soldadura.....	28
2.1.8. Electrodo.....	29
2.1.9. Soldabilidad de los aceros	31
2.1.10. Aceros estructurales	31
2.1.11. Inspección visual.....	32
2.1.12. Inspección por Líquidos penetrantes.....	33
2.1.13. Código, especificaciones y estándares	36
2.1.14. Código AWS	38
2.1.15. American Welding Society: AWS D1.1.2015	38
2.1.16. Inspección requeridos por AWS D1.1:2015	40
2.1.17. Diseño de conexiones soldadas según AWS D1.1:2015: Sección dos ...	41
2.1.18. Análisis teórico de la AWS D1.1 sección cinco “fabricación”.....	42
2.1.19. Análisis teórico de la norma sección seis: Inspección	50
2.1.20. Defectos - Discontinuidades	52
2.1.21. ASME-V	53
2.1.22. Procedimiento de inspección visual.....	54
2.1.23. Condiciones de la superficie de soldadura.....	57
2.1.24. Procedimiento de inspección por líquidos penetrantes.....	58
2.1.25. Técnica aplicada.....	60
2.1.26. Criterios de aceptación.....	62



2.1.27. Reparaciones	62
2.1.28. Reporte de inspección	62
2.1.29. Definiciones conceptuales.....	63
2.2. ANTECEDENTES.....	65

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	69
3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO	69
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO	70
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	71
3.4.1. Población.....	71
3.4.2. Muestra.....	71
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO	71
3.6. PROCEDIMIENTO	71
3.6.1. Metodología	72
3.6.2. Desarrollo del procedimiento de investigación	73
3.6.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos	74
3.7. VARIABLES	75
3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	76

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS JUNTAS SOLDADAS DE PROBETAS SOLDADAS CON EL CÓDIGO AWS D1.1:2015	78
4.2. SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS	79
4.3. DISEÑO DE LA JUNTA.....	80



4.4.	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.....	81
4.4.1.	Preparación del material base.....	81
4.4.2.	Realización de la soldadura.....	82
4.5.	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL	83
4.5.1.	Objetivo.....	83
4.5.2.	Alcance.....	83
4.5.3.	Documentos de referencia.....	83
4.5.4.	Criterios de aceptación de la inspección visual de probetas	83
4.5.5.	Reporte de Inspección visual directa de probetas	85
4.6.	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES TIPO II, MÉTODO C	88
4.6.1.	Objetivo.....	89
4.6.2.	Alcance.....	89
4.6.3.	Documentos de referencia.....	89
4.6.4.	Reporte de inspección con líquidos penetrantes de probetas soldadas ...	89
4.7.	CONTROL DE CALIDAD DE LAS JUNTAS SOLDADAS DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.....	93
4.8.	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA	95
4.8.1.	Límites de aceptabilidad en proceso de inspección visual.....	100
4.8.2.	Calificación y clasificación de resultados de ensayo visual.....	101
4.9.	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA.....	104
4.9.1.	Preparación del ensayo.....	105
4.9.2.	Información general	105



4.9.3. Informe / Registros.....	106
V. CONCLUSIONES.....	115
VI. RECOMENDACIONES	117
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
ANEXOS.....	122

Área : Metalurgia Transformativa

Tema : Ensayos No Destructivos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de enero de 2021.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Sistema de clasificación de electrodos AWS A5.1.....	30
Tabla 2. Características de los aceros empleados en la construcción.....	31
Tabla 3. Ventajas y limitaciones de la inspección visual	33
Tabla 4. Clasificación de métodos por líquidos penetrantes	34
Tabla 5. Ventajas y limitaciones del método de inspección por líquidos penetrantes	35
Tabla 6. Metales base aprobados por AWS D1.1	43
Tabla 7. Electrodo expuestos a diferentes ambientes.....	44
Tabla 8. Espesor mínimo de barras de respaldo	46
Tabla 9. Tamaños mínimos de soldadura tipo filete.....	47
Tabla 10. Preparación del metal base	48
Tabla 11. Técnicas y procedimientos de recolección de datos.....	74
Tabla 12. Ponderación por puntos	75
Tabla 13. Rangos de calificación.....	75
Tabla 14. Criterios de aceptación según norma AWS.....	77
Tabla 15. Metales base aprobados para una soldadura SMAW	78
Tabla 16. Especificaciones de electrodos	79
Tabla 17. Detalle de la junta soldada en ranura con junta de penetración completa	81
Tabla 18. Criterios de aceptación para Inspección Visual AWS D1.1: 2015.....	84
Tabla 19. Reporte de inspección visual de probeta soldada	85
Tabla 20. Clasificación de líquidos penetrantes según norma ASTM E165	88
Tabla 21. Reporte de inspección por líquidos penetrantes de probetas soldadas	91



Tabla 22.	Procedimiento de inspección visual	97
Tabla 23.	Ponderación de Calificaciones.....	102
Tabla 24.	Rangos de aceptación	102
Tabla 25.	Calificación y clasificación de resultados ideal.....	102
Tabla 26.	Resultados de evaluación visual de estructura metálica soldada.....	103
Tabla 27.	Reporte de inspección por líquidos penetrantes de una estructura metálica.....	107



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructuras metálicas de columnas armadas.....	25
Figura 2. Proceso de soldadura SMAW	29
Figura 3. Instrumentos de ensayo visual.....	32
Figura 4. Secuencia de un ensayo visual.....	33
Figura 5. Secuencia de un ensayo por líquidos penetrantes.....	35
Figura 6. Indicador de espesores de soldadura	42
Figura 7. Tamaños y Perfiles de soldaduras	50
Figura 8. Defectos de soldadura.....	53
Figura 9. Flujograma del procedimiento de control de calidad	72
Figura 10. Flujograma del procedimiento de investigación.....	73
Figura 11. Soldadura a tope de canal cuadrada.....	80
Figura 12. Ranura tipo V con un ángulo de 60° y separación de 2mm	82
Figura 13. Realización del primer cordón de soldadura	83
Figura 14. Procedimiento de inspección con LP.....	90
Figura 15. Estructura metálica de Huacullani.....	95
Figura 16. Estructura metálica evaluada	96
Figura 17. Junta soldada evaluada	96
Figura 18. Midiendo el cordón de soldadura	96
Figura 19. Inspección de cordón de	96



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANSI	: American National Standards Institute
API	: American Petroleum Institute
ASME	: American Society of Mechanical Engineers
ASNT	: American Society for Nondestructive Testing
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS D1.1	: American welding society/Structural Welding Code-Steel
AWS	: American welding society
CJP	: Soldaduras de ranura en junta de penetración completa
END	: Ensayos no destructivos
EV	: Ensayo visual
FCAW-S	: Flux Cored Arc Welding
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
GTAW	: Gas Tungsten Arc Welding
HSS	: Perfiles estructurales
KSI	: Kilo libras de fuerza por pulgada cuadrada
LP	: Líquido penetrante
PJP	: Soldaduras de ranura en junta de penetración parcial
PQR	: Procedure Qualification Record



- PSI** : Libra por pulgada cuadrada
- SAW** : Submerged Arc Welding
- SMAW** : Shield Metal Arc Welding
- SNT-TC-1^a** : Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing
- WPQ** : Welder Performance Qualification Record
- WPS** : Welding Procedure Specification



RESUMEN

En la industria metal mecánica de la región de Puno la falta de la aplicación correcta de una Norma aceptada internacionalmente en la inspección de soldadura en las uniones de estructuras metálicas, disminuye la calidad de las mismas generando riesgo de fallas en el proceso de montaje, la supervisión técnica en obra desconoce los criterios de ejecución, inspección y las especificaciones de control de calidad de uniones soldadas. En tal razón el desarrollo de la presente tesis ejecutado en el año 2019, se basa en la aplicación del Código AWS D1.1:2015 en donde preliminarmente en probetas preparadas se realizaron trabajos de inspección de las juntas soldadas permitiendo identificar oportunamente fallas que permitió seleccionar una serie de parámetros para la fabricación de estructuras metálicas del proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno, donde el objetivo es evaluar la calidad de las uniones soldadas con los métodos de ensayo visual y líquidos penetrantes de una estructura metálica aplicando el código AWS D1.1:2015; es una investigación no experimental del tipo de análisis cuantitativo- explicativo-descriptivo. La evaluación visual de la estructura metálica soldada en estudio dentro de los criterios de aceptación se obtuvo un calificativo de 53 puntos lo cual implica tomando como referencia la tabla N° 25 de rangos de aceptación; cumple con los criterios señalados, califica la estructura metálica soldada aplicando el ensayo visual enmarcado dentro de la normativa AWS D1.1:2015. Así mismo tomando como criterio de aceptación la norma ASTM E 165 para la inspección con líquidos penetrantes y las normas de aceptación en la Sección 6, Parte C del código AWS D1.1:2015, la soldadura no presenta grietas, presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades obteniendo un calificativo de



aprobado. Concluyéndose que con la aplicación y su estricto cumplimiento de los procedimientos de inspección visual y de líquidos penetrantes desarrollados según la norma AWS D1.1: 2015 secciones 2,5 y 6 representan un instrumento imprescindible que garantiza el control de calidad de una estructura metálica dentro de sus criterios de aceptación establecido en los formatos diseñados; es así que la estructura metálica seleccionado para desarrollar el presente proyecto obtuvo el calificativo de aprobado.

Palabras clave: Calidad, código, estructura soldada, estructura metálica y normativa.



ABSTRACT

In the metalworking industry of the Puno region, the lack of the correct application of an internationally accepted standard in the inspection of welding in the joints of metallic structures, reduces their quality, generating the risk of failures in the assembly process, technical supervision on site does not know the criteria for execution, inspection and quality control specifications for welded joints. For this reason, the development of this thesis carried out in 2019 is based on the application of the AWS D1.1 Code. 2015 where preliminary inspection work of the welded joints was carried out on the welded joints, allowing the timely identification of flaws that allowed the selection of a series of parameters for the manufacture of metal structures for the project, manufacture and assembly of metal tubular trusses and installation of metal belts with metal profiles rectangular pipe in perimeter fence for the "improvement and expansion of the family recreational space in the town of Huacullani - Chucuito Province - Puno Region, where the objective is to evaluate the quality of the welded joints with the visual test methods and penetrating liquids of a metallic structure applying the AWS D1.1 code. 2015; It is a non-experimental investigation of the type of quantitative-explanatory-descriptive analysis. The visual evaluation of the welded metal structure under study within the acceptance criteria was obtained a qualifier of 53 points which implies taking as a reference table N°. 25 of acceptance ranges; complies with the criteria indicated, qualifies the welded metal structure applying the visual test framed within the AWS D.1.1 standard. 2015. Likewise, taking as acceptance criteria the ASTM E 165 standard for inspection with penetrating liquids and the acceptance standards in Section 6, Part C of the AWS D.1.1 code. 2015, the weld does not present cracks, presents normal roughness and does not present discontinuities obtaining a qualification of approved. Concluding that with the application and its strict compliance with the visual inspection procedures



and penetrating liquids developed according to the standard AWS D1.1:2015 sections 2,5 and 6, they represent an essential instrument that guarantees the quality control of a metallic structure within its acceptance criteria established in the designed formats; Thus, the metallic structure selected to develop this project obtained the qualification of approved.

Keywords: Quality, code, welded structure, metal structure and normative.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial la industria de materiales y en especial la metalúrgica han experimentado grandes cambios en las últimas décadas del siglo XXI, sobre todo debido a las grandes exigencias a que están sometidos los componentes de máquinas y estructuras en donde de presentarse una falla ocasionaría no solo un alto costo material sino también un alto costo humano por defectos que no se detectaron a tiempo. La falta de la aplicación correcta de una Norma aceptada internacionalmente en la inspección de soldadura en las uniones de estructuras metálicas, disminuye la calidad de las mismas generando riesgo de fallas en el proceso de montaje en planta que se han detectado, por tal motivo se propone la norma basada en la AWS D1.1:2015 ampliamente conocida y recomendada, que con su correcta aplicación en las uniones de estructuras metálicas disminuirá las fallas en el proceso de montaje. El proceso de soldadura es ampliamente utilizado en la industria metalmeccánica, debido a que es la única forma de realizar unión de dos metales de forma permanente, para ello se utiliza variedad de procesos de soldadura existentes los cuales requieren un exhaustivo seguimiento de control de calidad para el cumplimiento de los estándares fijados por las normas y códigos que rigen los procesos fabriles.

El sector metalmeccánico en la Región de Puno constituye un pilar fundamental en la cadena productiva del país y debido a la creciente demanda en las construcciones con estructuras soldadas para edificaciones comerciales y la seguridad estructural con la que deben de contar, es necesario que las juntas soldadas deban de cumplir con los requisitos exigidos por los códigos, normas o estándares de calidad que se exigen de parte de las autoridades competentes.



Se ha puesto de manifiesto que la mayoría de las uniones soldadas son ejecutadas sin procedimientos calificados de inspección, aunado esto, a que frecuentemente la supervisión técnica en obra desconoce los criterios de ejecución, inspección y las especificaciones de control de calidad de uniones soldadas, de acuerdo con lo estipulado por algún Código, Norma o Especificación, como son los establecidos por la American Welding Society (AWS), normatividad muy aceptada y utilizada a nivel mundial.

Tal es así que la falta de la aplicación correcta de ensayos no destructivos como el ensayo y visual y líquidos penetrantes amparados en una Norma aceptada internacionalmente en la inspección de soldadura de las uniones de estructuras metálicas, garantiza la calidad de las mismas generando riesgo de defectos en el proceso de montaje en planta, por tal motivo se propone la norma basada en la AWS D1.1:2015 ampliamente conocida y recomendada, que con su correcta aplicación en las uniones de estructuras metálicas disminuirá las fallas en el proceso de fabricación.

Finalmente, la necesidad de entender la importancia de la normativa correspondiente es fundamental para producir estructuras con soldaduras de buena calidad tomando en cuenta variables como lo indica la sección dos, cinco y fundamentalmente la sección seis del código AWS D1.1:2015.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué medida la aplicación del Código AWS D1.1:2015 en la inspección de las juntas soldadas utilizando el ensayo visual y líquidos penetrantes garantizan obtener una estructura metálica de calidad?



1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La aplicación del código AWS D1.1:2015 utilizando el método de ensayo visual y líquidos penetrantes en uniones soldadas garantiza obtener una estructura metálica de calidad.

1.3.2. Hipótesis específico

- Los resultados del ensayo visual y líquidos penetrantes en las uniones de probetas soldadas y su comparación con el código AWS D1.1:2015 sección 2, 5 y 6 garantiza hacer un buen análisis de inspección
- Los resultados del ensayo visual y líquidos penetrantes en las juntas soldadas de una estructura metálica y su comparación con el código AWS D1.1:2015 sección 2, 5 y 6 garantiza hacer un buen análisis de inspección.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La justificación del presente trabajo académico es mostrar la aplicación del principal código de calificación de soldadura utilizado en el Perú que son los elaborados por la AWS (American Welding Society) a través de los métodos de ensayo visual y líquidos penetrantes evaluando el control de calidad en la inspección de la fabricación de estructuras metálicas del proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno”, mostrar la importancia de controlar, inspeccionar, medir y comparar los resultados obtenidos con los criterios de aceptación de los estándares, comenzando la inspección desde la recepción de los materiales, durante



la realización de las uniones soldadas, hasta terminados los trabajos de pintura y posterior montaje.

Actualmente en nuestro medio existe un alto porcentaje de construcción informal de estructuras metálicas, por causa del manejo inapropiado de materiales, la poca experiencia de los constructores en el área de acero y soldadura, la falta de participación de profesionales certificados para realizar la inspección de soldadura, la escasa capacitación técnica al personal de obra necesario para lograr una soldadura de óptima calidad, así como el bajo conocimiento en esta área por parte de constructores, como son los ingenieros civiles y arquitectos, quienes ejecutan estructuras de gran magnitud en acero aplicando procesos de soldadura sin realizar un adecuado control de calidad de la misma.

Con la implementación del sistema de control de calidad, se pretende reducir las fallas en el proceso de soldadura en fabricación y montaje de cada proyecto en ejecución, y evitar las no conformidades en el proceso constructivo de los elementos fabricados, llevando un control operacional planificado y eficiente, optimizando y reduciendo los recursos económicos de la organización, lo cual se verá reflejado en la satisfacción del cliente con la entrega de la fabricación y montaje en los tiempos programados.

La aplicación del Código AWS D1.1:2015 para las inspecciones de las juntas soldadas de las estructuras metálicas, se realiza para determinar que las juntas soldadas cumplan con los requisitos exigidos por el código de construcción y asegurar así su adecuada calidad; identificando en forma oportuna fallas en la estructura y poder corregirlas antes de su montaje; esta norma indica cual es el procedimiento que se debe realizar para llevar a cabo un control de calidad en soldadura en estructura metálica, y



que tipos de END se deben realizar para verificar la sanidad de la soldadura. Es por ello, que se realizará los lineamientos para el control de calidad en estructuras soldadas.

En vista a la gran responsabilidad que tienen los ingenieros metalurgistas transformativos, civiles y arquitectos en la construcción de estructuras metálicas; este documento tiene como finalidad dar a conocer cuáles son los procedimientos necesarios para garantizar las conexiones soldadas de las estructuras armadas con acero, debido que en la actualidad son muy poco conocidos, pero a la vez fundamentales en el campo de la construcción

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de las uniones soldadas con los métodos de ensayo visual y líquidos penetrantes de una estructura metálica aplicando el código AWS D1.1:2015.

1.5.2. Objetivos específicos

- Inspeccionar las uniones de probetas soldadas para luego analizar y comparar los resultados obtenidos con el código AWS D1.1. sección 2,5 y 6.
- Inspeccionar las juntas soldadas de una estructura metálica para luego analizar y comparar los resultados obtenidos con el código AWS D1.1. sección 2,5 y 6.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Control de calidad

Hoy en día contar con herramientas de control de calidad es una necesidad para toda empresa manufacturera. La implementación de un sistema de control de calidad es una herramienta disponible para toda organización que desee mejorar su productividad en forma ordenada y eficiente, por ende, este modelo sirve para muchas compañías metal mecánicas que deseen mejorar su producción y administrar sus operaciones de forma ordenada y eficiente.

Tal es el caso que se deberá demostrar los resultados beneficiosos que se obtiene debido a esta implementación, los resultados son en el aspecto organizacional como compañía, como control de seguimiento en los procesos de fabricación y montaje, además de la imagen que refleja la compañía ante el cliente al suministrar productos de buena calidad, cumpliendo los estándares de calidad en los plazos programados.

El objetivo principal del control de calidad es evitar el reproceso tanto en la fabricación y montaje mecánico en las empresas metalmecánicas y otras industrias en general, llevando un control operacional de inicio a fin, en los procesos de fabricación de estructuras, tanques, tuberías, etc. Además de información documentaria como protocolos, formatos de soldadura, dossier de calidad, brindando capacitación al personal operativo y verificación en campo del control dimensional de los elementos fabricados.

“De acuerdo con la UNE-EN ISO 9001-2015, el termino de calidad debe entenderse como el grado en el que un conjunto de características (rasgos diferenciadores)



cumplan ciertos requisitos (necesidades o expectativas establecidas). Los requisitos las expectativas del cliente” (Becerra, 2018).

2.1.2. Estructuras metálicas

Las Estructuras Metálicas constituyen un sistema constructivo muy difundido en varios países, cuyo empleo suele crecer en función de la industrialización alcanzada en la región o país donde se utiliza. Se lo elige por sus ventajas en plazos de obra, relación coste de mano de obra – coste de materiales, financiación, etc.

Las estructuras metálicas poseen una gran capacidad resistente por el empleo de acero. Esto le confiere la posibilidad de lograr soluciones de gran envergadura, como cubrir grandes luces, cargas importantes. Al ser sus piezas prefabricadas, y con medios de unión de gran flexibilidad, se acortan los plazos de obra significativamente (Construmática, 2014).

Las estructuras metálicas en la actualidad se han convertido en uno de los más notables símbolos de nuestra evolución dentro del marco de la ingeniería; el propósito general de diseñar una estructura metálica es lograr que dicha estructura sea segura, económica y que cumpla con los requerimientos estéticos y funcionales. Las estructuras metálicas están conformadas a base de perfiles de acero, material que posee gran resistencia y un costo no muy alto el cual hace factible la construcción de la misma, sobre todo cuando se requiere urgencia de montaje y características especiales como son alto nivel de luz y esbeltez de los elementos que la conforman (Cedeño *et al.*, 2015).

2.1.3. Selección de tipo de estructura

El tipo de estructura metálica se selecciona considerando aspectos funcionales, módicos, estéticos y de servicio. Los diseñadores y los propietarios deben de llegar a un

acuerdo en cuanto a los requerimientos generales del proyecto; basados en ellos, el diseñador examinará las opciones más adecuadas sobre el tipo de estructura que se ajusta al caso, y preparar los planos y detalles que describirán el proyecto (Cely *et al.*, 2018).

Las Estructuras Metálicas forman parte de un sistema muy popular en varios países, cuyo empleo suele ascender en función de la industrialización alcanzada en la región donde se utiliza. En la actualidad se la adopta por sus ventajas en que la construcción no demanda mucho tiempo, costo de materiales y costo de mano de obra. Las estructuras metálicas poseen una gran capacidad resistente por el empleo de acero. Esto le confiere la posibilidad de lograr soluciones de gran envergadura, como cubrir grandes luces, cargas importantes (Cely *et al.*, 2018).

Al ser sus piezas prefabricadas, y con medios de unión de gran flexibilidad, se acortan los plazos de obra significativamente. La estructura característica es la de entramados con nudos articulados, con vigas simplemente apoyadas o continuas, con complementos singulares de celosía para arriostrar el conjunto (Cely *et al.*, 2018).

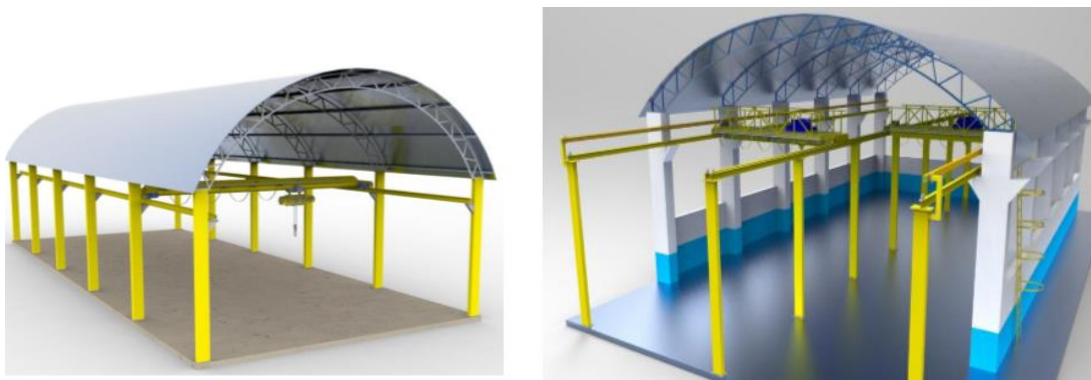


Figura 1. Estructuras metálicas de columnas armadas

2.1.4. Tipos de estructuras metálicas

Partiendo de la base que las estructuras metálicas son artificiales ya que las ha inventado el ser humano podremos entonces destacar qué tipos de estructuras hay:



a) Estructuras abovedadas

Estas estructuras son todas aquellas en las que se emplean bóvedas, cúpulas y arcos para repartir y equilibrar el peso de la estructura, como por ejemplo puede verse en las catedrales o iglesias (Areatecnología, 2013).

b) Estructuras entramadas

Estas son las más comunes ya que son las que utilizan la mayoría de los edificios que podemos ver en cualquier ciudad.

Emplean una gran cantidad de vigas, pilares, columnas y cimientos, es decir, una gran cantidad de elementos horizontales y verticales para repartir y equilibrar el peso de la estructura.

Estas estructuras son más ligeras porque emplean menos elementos que las abovedadas por ejemplo y así pueden conseguirse edificios de gran altura (Areatecnología, 2013).

c) Estructuras trianguladas

Las trianguladas se caracterizan como su propio nombre indica por disponer sus elementos de forma triangular, suelen ser muy ligeras y económicas.

Suelen utilizarse para la construcción de puentes y naves industriales. En estos casos hay dos formas que son las más utilizadas, la cercha y la celosía (Areatecnología, 2013).

d) Estructuras colgantes

Las estructuras colgantes o colgadas son aquellas que utilizan cables o barras (tirantes) que van unidos a soportes muy resistentes (cimientos y pilares).



Los tirantes estabilizan la estructura, como puede verse por ejemplo en los puentes colgantes.

e) Estructuras laminares

Todas aquellas formadas por láminas resistentes que están conectadas entre sí y que sin alguna de ellas la estructura se volverían inestables, como pueden ser las carrocerías y fuselajes de coches y aviones (Areatecnología, 2013).

f) Estructuras geodésicas

Son estructuras poco comunes que están formadas por hexágonos o pentágonos y suelen ser muy resistentes y ligeras.

Son estructuras que normalmente tienen forma de esfera o cilindro.

2.1.5. Ventajas de las estructuras metálicas (Cedeño *et al.*, 2015)

- Vigas reticuladas permiten cubrir grandes luces.
- Construcciones a realizar en tiempos reducidos de ejecución.
- Construcciones en zonas muy congestionadas como centros urbanos o industriales en los que se prevean accesos y acopios dificultosos.
- Edificios con probabilidad de crecimiento y cambios de función o de cargas.
- Edificios en terrenos deficientes donde son previsibles asentamientos diferenciales apreciables; en estos casos se prefiere los entramados con nudos articulados.
- Construcciones donde existen grandes espacios libres, por ejemplo: locales públicos, salones.



2.1.6. Conexiones en estructuras metálicas

a) Por soldadura

La soldadura es la más común en estructuras metálicas de acero y no es más que la unión de dos piezas metálicas mediante el calor. Aplicándoles calor conseguiremos que se fusionen las superficies de las dos piezas, a veces necesitando un material extra para soldar las dos piezas (Areatecnología, 2013).

b) Por tornillo

Los tornillos son conexiones rápidas que normalmente se aplican a estructuras de acero ligeras, como por ejemplo para fijar chapas o vigas ligeras.

2.1.7. Soldadura

Se denomina soldadura a cualquier proceso de unión de dos metales, en general de la misma composición, mediante la fusión del material, con presión o sin presión entre las partes y con aportación o no de otro material.

En el campo de las Estructuras Metálicas se emplea con mayor profusión el proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding) de soldeo manual con electrodo revestido, empleado siempre en obra, pero también en taller (Garcimartín, 2002).

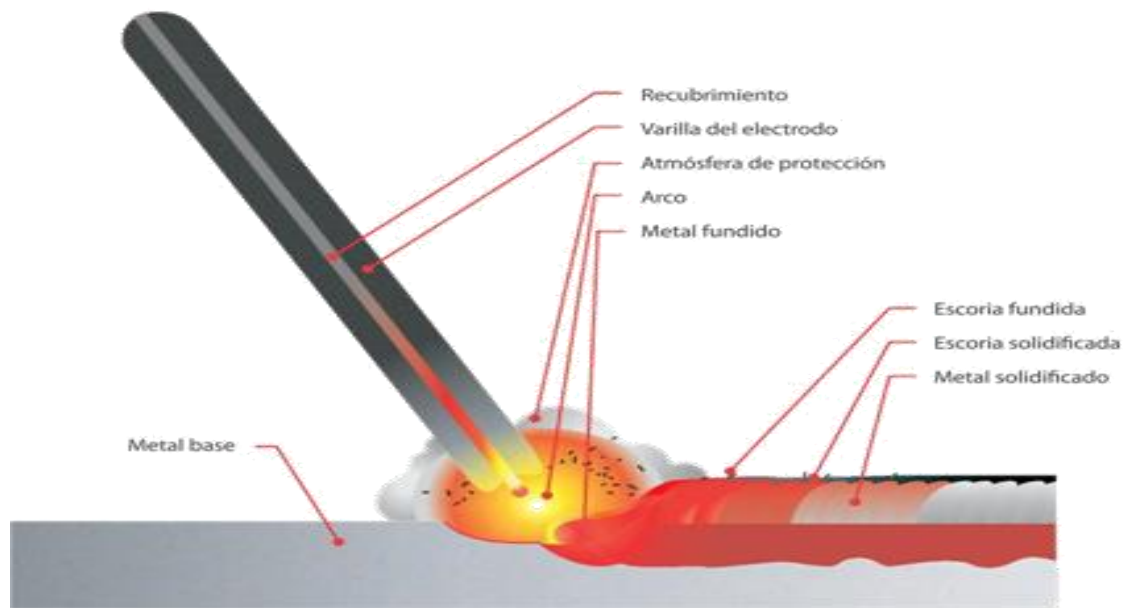


Figura 2. Proceso de soldadura SMAW

Fuente: Catálogo LINCOLN.

2.1.8. Electrodo

El material de aportación que se usa en el proceso de soldadura de arco se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica, generalmente de acero, recubierta de un revestimiento concéntrico (Telenchana, 2013).

La clasificación está conformada por la letra E seguida de cuatro o cinco dígitos cuyo significado es el siguiente:

E significa electrodo

Los dos primeros dígitos en la clasificación de cuatro dígitos o los tres primeros en la clasificación de cinco representan la mínima resistencia a la tracción del depósito de soldadura medida en KSI (miles de PSI).

El tercer dígito en la clasificación de cuatro o el cuarto dígito en la clasificación de cinco dígitos indica la posición de soldadura para la cual se diseñó el electrodo.

El último dígito indica el tipo de revestimiento del electrodo, la corriente y la polaridad que deben utilizarse (Lincoln Electric, 2010).

Tabla 1. Sistema de clasificación de electrodos AWS A5.1

Clasificación AWS		Tipo de revestimiento	Posición a soldar	Corrientes y polaridad
A5.1	A5.1M			
E-6010	E-4310	Celulósico sódico	P, V, SC, H	CCEP
E-6011	E-4311	Celulósico potásico	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-6012	E-4312	Rutílico sódico	P, V, SC, H	CA, CCEN
E-6013	E-4313	Rutílico potásico	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-6018	E-4318	Potásico, BH - HP	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-6019	E-4319	Óxido de hierro, rutílico potásico	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-6020	E-4320	Óxido de hierro	H	CA, CCEN
			P	CA, CCAP
E-6022	E-4322	Óxido de hierro	P, H	CA, CCEN
E-6027	E-4327	Óxido de hierro, HP	H	CA, CCEN
			P	CA, CCAP
E-7014	E-4914	Rutílico, HP	P, V, SC, H	CA,CCAP
E-7015	E-4915	Sódico, BH	P, V, SC, H	CCEP
E-7016	E-4916	Potásico, BH	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-7018	E-4918	Potasico, BH - HP	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-7018M	E-4918M	BH - HP	P, V, SC, H	CCEP
E-7024	E-4924	Rutílico, HP	P, H	CA, CCAP
E-7027	E-4927	Óxido de hierro, HP	H	CA, CCEN
			P	CA, CCAP
E-7028	E-4928	Potásico, BH - HP	P,H	CA, CCEP
E-7048	E-4948	Potásico, BH - HP	P, V-down, SC, H	CA, CCEP

Nomenclatura	CC: Corriente continua	EP: Electrodo positivo	P: plana
HP: Hierro en polvo	CA: Corriente alterna	EN: Electrodo negativo	V: Vertical
BH: Bajo hidrógeno	AP: Ambas polaridades	SC: Sobrecabeza	H:Horizontal

Fuente: Lincoln Electric (2010).

2.1.9. Soldabilidad de los aceros

La soldabilidad del acero mide la capacidad de este que tiene a ser soldado, y depende mucho no solo del material base que va a ser soldado, sino que también depende mucho del material de aportación que se utilice para soldarlo.

La soldabilidad de los aceros al carbono está determinada por el contenido de este elemento. El aumento de mayor cantidad de carbono confiere mayor resistencia al acero, pero también incrementa la templabilidad, lo que hace que, durante la soldadura, aparezcan estructuras de mayor volumen específico que causan tensiones internas con las corrientes deformaciones y la posibilidad de que surja agrietamiento

2.1.10. Aceros estructurales

El acero estructural más usado para estructuras soldadas en el mundo es el acero ASTM A36, son de buena resistencia y soldabilidad, siendo sus principales características las siguientes

Acero laminado en caliente

- % C: 0.25 a 0.29, max.
- % Mn: 0.6 a 1.20 max.

Tabla 2. Características de los aceros empleados en la construcción

DESIGNACION ASTM	ACERO	USOS
A-36	Al carbono	Puentes, edificios estructurales en general, atornillados, remallados y soldados.
A-242 A-536	Alta resistencia, baja aleación y resistencia a la corrosión atmosférica.	Construcciones soldadas, atornillada, técnica especial de soldadura
A-514	Templados y revenidos	Construcciones soldadas especialmente

Fuente: Norma ASTM.

2.1.11. Inspección visual

Inspección visual fue el primer método no destructivo empleado por el hombre. Actualmente la inspección visual es el más importante procedimiento de prueba para la detección y evaluación de defectos, que utilizan los sentidos humanos apoyados únicamente con algún dispositivo que magnifique la capacidad sensorial del inspector. El proceso de inspección puede constituirse por acciones, como observar, escuchar, sentir, oler, agitar o revolver (Carrión *et al.*, 2003). La inspección visual consiste en revisar la calidad de las superficies, durante y después del proceso de fabricación de las piezas, detectando discontinuidades en uniones como soldadura, sellados, etc. (Zacarías, 2013). Para este ensayo, se utiliza instrumentos sencillos como galgas de medición, iluminación artificial, flexómetro, lentes de aumento, boroscopios industriales como se muestra en la figura 3 (Araque, 2018).



Figura 3. Instrumentos de ensayo visual

2.1.11.1. Ventajas y limitaciones del método de ensayo visual

Tabla 3. Ventajas y limitaciones de la inspección visual

Ventajas	Limitaciones
- Método de bajo costo	- Solamente se pueden inspeccionar discontinuidades superficiales. Hay que considerar las limitaciones de la visión humana.
- Aplicable en todo proceso productivo	- Se requiere una fuente efectiva de iluminación.
- Se realiza en forma rápida y sencilla	- Es necesario el acceso a la superficie a inspeccionar.
- La geometría de piezas no representa ningún problema	- Se requiere de personal capacitado y experimentado para realizar el proceso de inspección.

Fuente: Barrera y Coronel (2013).

2.1.11.2. Etapas para la aplicación del método de ensayo visual

A continuación, se presentan el procedimiento a seguir para realizar la inspección visual. En la figura 4, se tiene la secuencia que se debe cumplir para realizar el procedimiento de ensayo visual

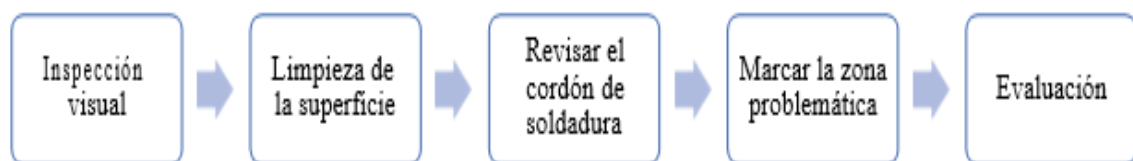


Figura 4. Secuencia de un ensayo visual

2.1.12. Inspección por Líquidos penetrantes

La inspección por líquidos penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados, el método se basa en los principios básicos de la acción capilar, y la capacidad de humectación de un

líquido de baja viscosidad, propiedades que permiten que éste penetre por hendiduras o grietas imperceptibles a la vista para resaltarlas y evidenciarlas (Carrión et. al 2003). aprovechando algunas propiedades de los líquidos las cuales son:

- La capilaridad es la cualidad que posee una sustancia para absorber un líquido. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido.
- La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta (Araque, 2018).

En la Tabla 5 se clasifican los métodos de inspección por LP según la norma ASTM E-165 indicando sus características.

Tabla 4. Clasificación de métodos por líquidos penetrantes

Tipo	Técnica	Pigmento	Caracterización
A	1	Fluorescente	- Lavables con Agua
	2		- Post-emulsificables
	3		- Removibles con solvente
B	1	Coloreado	- Lavables con Agua
	2		- Post-emulsificables
	3		- Removibles con solvente

Fuente: Norma ASTM E-165.

2.1.12.1. Ventajas y limitaciones del método de inspección por líquidos penetrantes

Tabla 5. Ventajas y limitaciones del método de inspección por líquidos penetrantes

Ventajas	Limitaciones
- Sensibilidad alta a discontinuidades abiertas en la superficie, y materiales metálicos y no metálicos.	- Solo son aplicables a discontinuidades superficiales y materiales no porosos.
- Aplicable a cualquier tipo de geometría.	- Es difícil remover de roscas, ranuras y agujeros no visibles.
- Ensayo de fácil aplicación.	- Se requiere que los inspectores posean una amplia experiencia y habilidad.
- No requiere de equipos complejos para su ejecución.	- Se requiere una correcta combinación del revelador y penetrante, para resultados eficientes.

Fuente: Barrera y Coronel (2011).

2.1.12.2. Etapas para la aplicación de líquidos penetrantes

En la Figura 5, se presenta la secuencia que debe cumplir el procedimiento del método de inspección por líquidos penetrantes este procedimiento se lo elaboro conforme la normativa Norma ASTM E-165.



Figura 5. Secuencia de un ensayo por líquidos penetrantes



2.1.13. Código, especificaciones y estándares

Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales; existe una variedad muy amplia de áreas, productos, servicios y sistemas objeto a las normas, y el alcance, campo de aplicación, extensión y estructura de estas también son muy variados (Minilo, 2007).

2.1.13.1. Código

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

Es un cuerpo de leyes de una nación, estado o industria y constituyen un soporte legal, están organizados en forma sistemática para su fácil referencia en concordancia con los procesos, procedimientos, materiales y personal involucrado.

Ejemplo de códigos

- ANSI / AWS D1.1 : Código de soldadura estructural.
- ANSI / API 1104 : Soldadura de líneas de tubería e instalaciones relacionadas.
- ANSI / ASME Sec. IX : Calificaciones de soldadura y brazing.

2.1.13.2. Especificaciones

Es una forma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los



requisitos especificados por el producto han sido cumplidos o no. Consiste en el documento de soporte que contiene una detallada descripción de las partes de un conjunto, allí se ubican características específicas tales como: dimensiones, espesores, composición química, resultados de ensayos, etc.

Ejemplo de especificaciones

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

2.1.13.3. Norma o estándar

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

Aunque el estándar ha sido clasificado independiente con el término “norma”, tal y como es empleado por la AWS, ASTM, ASME y ANSI, es el nombre genérico que se asigna a diferentes documentos y se aplica de manera indistinta a los códigos, especificaciones, métodos, prácticas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por esta y la combinación de esta (Villacres, 2009).

Ejemplo de estándares

- ANSI / ASME: B31.3



- ANSI / AWS : D1.1
- ANSI / AWS : D1.3

2.1.14. Código AWS

La American Welding Society - AWS ha desarrollado estándares, códigos, prácticas recomendadas y guías relacionadas con la construcción de elementos soldados, aportes para soldadura y procedimientos de soldadura. Para establecer la calidad de un producto, estos documentos son consultados.

Todas las normas de la AWS son normas consensuadas voluntariamente que han sido desarrolladas de conformidad con las reglas de la American National Standards Institute - ANSI. En todos los casos, estas normas llevan la completa autoridad legal del contrato u otro documento que invoque la norma AWS.

2.1.15. American Welding Society: AWS D1.1.2015

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

1. Requisitos generales

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



2. Diseño de conexiones soldadas

Esta sección contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas de miembros tubulares o no tubulares.

3. Precalificación de las WPS

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

4. Calificación

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

5. Fabricación

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

6. Inspección

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



7. Soldadura de pernos

Esta sección contiene los requisitos para la soldadura de pernos a acero estructural.

8. Refuerzo y reparación de estructuras existentes

Esta sección contiene la información básica relacionada con la modificación o la reparación por soldadura de estructuras de acero existentes.

9. Estructuras tubulares

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

2.1.16. Inspección requeridos por AWS D1.1:2015

Los END son la aplicación práctica del conocimiento técnico-científico logrados en el campo de la física y de las demás ciencias naturales, para la detección y evaluación de discontinuidades y fallas de los materiales, pero también se puede llegar a estudiar la composición y las variaciones de la estructura de los materiales usados en ingeniería.

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.



2.1.17. Diseño de conexiones soldadas según AWS D1.1:2015: Sección dos

Esta sección incluye los requisitos para el diseño de conexiones soldadas. Está dividida en tres partes, de la siguiente manera:

Parte A: Requisitos comunes para el diseño de conexiones soldadas (miembros tubulares y no tubulares)

Parte B: Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargada estática o cíclicamente). Los requisitos se deben aplicar además de los requisitos de la Parte A.

Parte C: Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas cíclicamente). Cuando corresponda, los requisitos se deben aplicar además de los requisitos de las Partes A y B.

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, 2015, p. 5).

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. 5) ; 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 6.

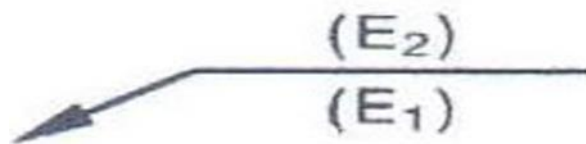


Figura 6. Indicador de espesores de soldadura

En general toda la sección 2.3 detalla la manera y la forma en que se debe representar y especificar los planos de las soldaduras 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.

2.1.18. Análisis teórico de la AWS D1.1 sección cinco “fabricación”

Todas las disposiciones aplicables a esta sección deben ser observadas en la construcción y montaje de conjuntos y estructuras soldadas producidas por cualquier proceso aceptable según este código (véase 3.2 y 4.14).

2.1.18.1. 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 7 (American Welding Society, 2015, p. 165)

Tabla 6. 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	415
ASTM A106	Grado B	35	240	60	415

Fuente: Norma AWS D1.1 ed. 2015, sección tres. Precalificación WPS tabla 3.1.

2.1.18.2. 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.

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 8 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, 2015).

Tabla 7. Electrodo expuestos a diferentes ambientes

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.	
E70XXR	9 máx.	
E70XXHZR	9 máx.	Más de 4 a 10 máx.
E7018M	9 máx.	

Fuente: Norma AWS D1.1, edición 2015, Sección 5. Fabricación. Tabla 5.1, pág. 181.

El fundente utilizado para SMAW 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.

2.1.18.3. Variables del proceso WPS

Las variables de soldaduras deberán estar en conformidad con un proceso WPS escrito 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, 2015).

2.1.18.4. 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, 2015).
- 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 respaldos de acero no deberá exceder 6 mm
 - La interrupción del 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 9:

Tabla 8. Espesor mínimo de barras de respaldo

Procesos	Espesor Mínimo	
	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 2015, sección cinco.

2.1.18.5. 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 protegido 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.

2.1.18.6. 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 10, la ubicación de las soldaduras se cambiará solo con la aprobación del ingeniero responsable.

2.1.18.7. Tamaños mínimos de soldaduras tipo filete

En la tabla 10 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 9. Tamaños mínimos de soldadura 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 2015. Sección 5, Fabricación.

2.1.18.8. 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 10.

Tabla 10. 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 2015. Sección 5, Fabricación.

2.1.18.9. 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

2.1.18.10. 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.

2.1.18.11. Perfiles de soldadura

Todas las soldaduras deberán cumplir con los criterios de aceptación visual de la figura 7.

Las caras de la soldadura de filete pueden ser levemente convexas, planas o levemente cóncavas de forma ligera como se muestra en la figura 7.

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.

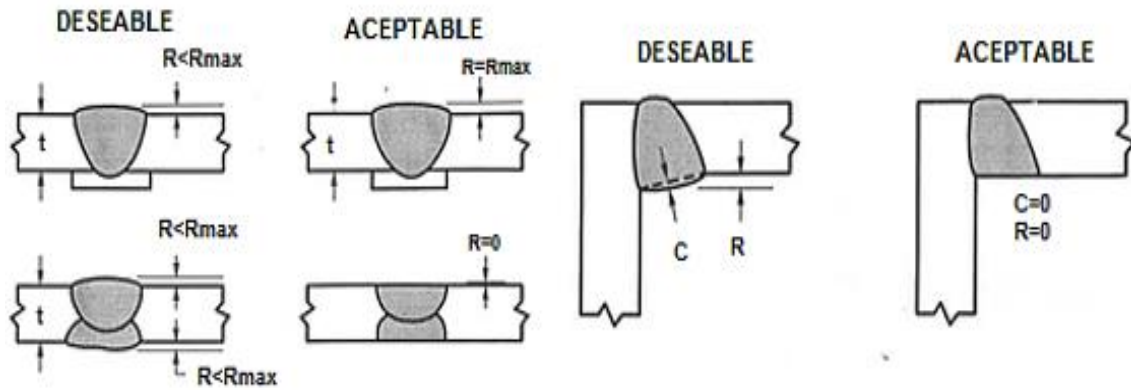


Figura 7. Tamaños y Perfiles de soldaduras

2.1.18.12. 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.

2.1.19. 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 ensamble
- 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.

2.1.20. Defectos - Discontinuidades

En ensayos no destructivos escuchamos hablar de “defectos” y/o “discontinuidades”. ¿Qué diferencia hay entre uno y otro? Recordemos que cualquier

indicación encontrada es llamada “discontinuidad” hasta que se pueda identificar y evaluar el efecto que puede tener sobre la pieza en servicio. Si, de acuerdo a esto, “la discontinuidad” es inaceptable con arreglo a un criterio de especificaciones, será un “defecto” (cuando por magnitud o localización provocan el fallo de la pieza o unión), ahora, si esa discontinuidad no afecta el rendimiento de la pieza en el servicio al que se destina, se deberá llamar simplemente “discontinuidad”. No existe soldadura “perfecta”, toda soldadura tiene “discontinuidades” Discontinuidad es la pérdida de la homogeneidad del material. Un “defecto” es una discontinuidad inaceptable, que debe ser reparada.

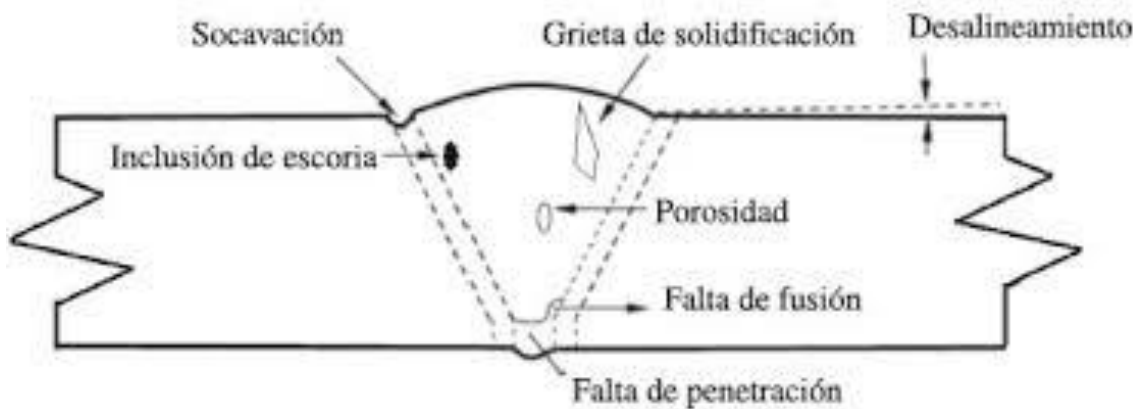


Figura 8. Defectos de soldadura

2.1.21. ASME-V

Hay una sección específica del código que contiene requisitos y métodos para la aplicación de ensayos no destructivos (END), que son requisitos para otras Secciones del mismo código o referencias. Estos métodos de END están destinados a detectar imperfecciones superficiales e internas en los materiales, soldaduras, partes prefabricadas y otros componentes. Incluyen exámenes radiográficos, ultrasonido, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, corriente de Foucault, inspección visual, prueba de fugas y emisiones acústicas.



2.1.22. Procedimiento de inspección visual

Alcance

Este procedimiento se aplica a la inspección visual de todas las juntas soldadas que se realizarán en las etapas de fabricación y montaje de un proyecto metal mecánico de fabricación de estructuras metálicas, de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.

Objetivo

Determinar los lineamientos generales aplicables a la ejecución de la inspección visual de las estructuras metálicas para asegurar la calidad de las juntas soldadas.

Responsables

- Inspector de Control de Calidad.

Responsable por el monitoreo permanente de la inspección, emisión del registro de la inspección y reportar el hallazgo de alguna discontinuidad para la toma de las acciones correctivas necesarias.

- Supervisor de soldadura.

Responsable del control de los parámetros de los procedimientos de soldadura. Establecer la coordinación con el inspector de calidad para la ejecución de la inspección de las juntas soldadas.

Ejecutar las acciones correctivas necesarias que se determinen.

Documentos de referencias

- Código AWS D1.1/D1.1M: 2015.



- Especificaciones técnicas aplicables.
- Registros de calibración de instrumentos.

2.1.22.1. Desarrollo del procedimiento de inspección visual.

Equipos a emplearse

- Escobillas de acero.
- Solvente limpiador.
- Bridge Cam.
- Reglas metálicas, winchas.
- Linterna.
- Lupa.
- Calibrador.

Procedimiento

El procedimiento se divide en 3 partes:

a) Inspección antes del proceso de soldadura

Verificar los siguientes puntos antes de realizar el proceso de soldadura en los puntos siguientes:

- Revisión de planos y especificaciones.
- Revisión de los procedimientos y del personal involucrado.
- Establecimiento de los puntos de inspección.



- Verificación de discontinuidades en el material base.
- Verificar las tolerancias dimensionales según planos.
- Verificar la preparación de biseles y alineamientos de las juntas soldadas.
- Verificación de los instrumentos de medición.
- Revisión de los WPS.
- Aseguramiento de la secuencia de soldeo.
- Verificación de los equipos de soldadura.
- Verificación de los suministros y materiales de aportes.

b) Inspección durante el proceso de soldadura

- Comprobar la conformidad de las especificaciones del proceso de soldadura.
- Verificar que el proceso de soldadura cumpla con los WPS aplicado para cada trabajo.

Entre las variables que se deben de considerar están:

- Posición del soldador.
- Amperaje / Voltaje.
- Características eléctricas.
- Velocidad de deposición de los electrodos.
- Tipo de corriente y polaridad.



- Calidad de pase.
- Secuencia de soldadura.
- Temperatura de precalentamiento.
- Temperatura entre pases.
- Regulación de parámetros de soldadura.
- Selección de material de aporte.

c) Inspección después del proceso de soldadura

Verificar los siguientes ítems:

- Calidad superficial de la soldadura.
- Posibles discontinuidades.
- Tolerancias dimensionales.
- Longitud de los depósitos de soldadura.
- Dimensiones y montaje final.
- Aplicación de los Ensayos No Destructivos según las especificaciones del código usado.
- Generación de documentos de inspección.

2.1.23. Condiciones de la superficie de soldadura

No todas las discontinuidades pueden ser calificadas como defectos, las discontinuidades pueden ocurrir en cualquier parte de la soldadura, la inspección visual



es un ensayo limitado y generalmente se completa con otro tipo de ensayos no destructivos.

2.1.23.1. Criterios de aceptación

Todas las juntas soldadas deben ser inspeccionadas visualmente y serán aceptables si cumplen con los criterios de la Tabla 6.1 del Código AWS D1.1:2015 o la Tabla 9.16 si son tubulares del código AWS D1.1:2015.

2.1.23.2. Reporte de inspección

Luego de realizar la inspección de las estructuras soldadas se realiza el registro de lo evaluado en el formato de inspección, si se encontrara una no conformidad en el transcurso de la evaluación del proceso se informa al supervisor de producción el cual deberá tomar las acciones correctivas inmediatas, además se debe emitir el reporte de incidencia respectiva.

2.1.24. Procedimiento de inspección por líquidos penetrantes

2.1.24.1. Alcance

Este procedimiento se aplica durante la inspección de juntas soldadas nuevas o de servicio de las estructuras de acero al carbono y aceros de baja aleación.

Este procedimiento proporciona y define los niveles de calidad y criterios de aceptación y rechazo para las indicaciones obtenidas durante el examen por líquidos penetrantes.

2.1.24.2. Objetivo

El presente procedimiento tiene por objeto establecer la metodología a seguir en la aplicación de líquidos penetrantes para la detección de discontinuidades superficiales



como porosidades, fisuras y laminaciones; durante y en la etapa final del proceso de soldadura evaluando las juntas de uniones soldadas a tope y/o a filete para las diferentes etapas de construcción de la estructura soldada del proyecto Ampliación del Mercado Municipal de Chancay.

2.1.24.3. Responsables

- Inspector de Control de Calidad.

Responsable por el monitoreo permanente de la inspección, emisión del registro de la inspección y reportar el hallazgo de alguna discontinuidad para la toma de las acciones correctivas necesarias.

- Supervisor de soldadura.

Responsable del control de los parámetros de los procedimientos de soldadura. Establecer la coordinación con el inspector de calidad para la ejecución de la inspección de las juntas soldadas. Ejecutar las acciones correctivas necesarias que se determinen.

2.1.24.4. Documentos de referencias

- Código AWS D1.1: 2015.
- Especificaciones técnicas aplicables.
- Registros de calibración de instrumentos.
- ASTM E165.
- ASTM E1220.



2.1.24.5. Equipos a emplearse

- Escobillas de acero.
- Removedor o solvente en spray.
- Líquido penetrante.
- Revelador no acuoso.

2.1.25. Técnica aplicada

a) Temperatura de aplicación

La temperatura de la zona a inspeccionar debería estar comprendida entre 10 °C y 52 °C para trabajos con penetrantes visibles. Fuera de este rango de temperaturas se requerirá la homologación del sistema, definiendo los tiempos de penetración aplicables, según ASTM E 165. Complementariamente se tomará en cuenta las temperaturas recomendadas por el fabricante de cada producto (Líquidos penetrantes).

b) Limpieza previa

El Inspector observará la soldadura que va a examinar, así como también a 25 mm de ancho a cada lado de la misma, la cual deberá encontrarse limpia: libre de óxido, partículas metálicas, grasa, aceite, pintura, etc. En caso de ser necesario se emplearán métodos mecánicos, eléctricos o neumáticos como escobillas circulares, escobillas manuales, espátulas o cinces según convenga.

c) Secado

Antes de la aplicación del penetrante, la superficie a examinar estará totalmente seca.



d) Aplicación del penetrante

Mediante brocha o pulverización se aplicará el penetrante, asegurándose de cubrir toda la zona a examinar, teniendo en cuenta cubrir la soldadura y una franja de 25 mm a cada lado de esta. El tiempo de penetración será de 5 minutos cuando se trabaja con penetrantes visible a una temperatura entre 10° a 52°C, o lo recomendado por el fabricante del producto empleado.

e) Eliminación del penetrante sobrante

Se realizará con trapos limpios secos como primera pasada hasta retirar el máximo de penetrante, luego con trapo limpio sin hilachas impregnadas. Se dejará un tiempo mínimo de 2 minutos y un máximo de 3 minutos antes de aplicar el revelador. En ningún caso se removerá el penetrante sobrante mediante aplicación directa del removedor en spray sobre la zona de interés previo al revelado.

f) Aplicación del revelador

Se aplicará el revelador mediante pulverización, agitándolo previamente y colocando el spray a una distancia de 15 a 30 cm. de la superficie a inspeccionar, asegurándonos de conseguir una capa fina y homogénea. El tiempo de ejecución no deberá ser menor a diez (10) minutos y el máximo tiempo permitido será de treinta (30) minutos.

g) Inspección

Pasado el tiempo de revelado se procederá a la inspección, debiendo realizarse antes de 30 minutos desde la aplicación del revelador.



h) Limpieza final

Una vez terminado el examen, se limpiarán las partes examinadas con trapos limpios, secos o humedecidos con el solvente antes usado eliminando el revelador y penetrante de las zonas inspeccionadas.

2.1.26. Criterios de aceptación

Todas las juntas soldadas sometidas a inspección por líquidos penetrantes luego de la inspección visual deben ser evaluadas sobre la base de los criterios de aceptación para inspección visual especificado en las Tabla 6.1 del Código AWS D1.1:2015 o la Tabla 9.16 si son tubulares.

2.1.27. Reparaciones

Los defectos detectados por líquidos penetrantes visibles, deberán ser eliminados mediante desbaste mecánico, dependiendo de la extensión de la zona afectada, luego de una primera remoción del defecto se deberá aplicar nuevamente el líquido penetrante (verificando que la temperatura de aplicación del método se encuentre dentro de los rangos indicados en el ítem 6.1) para establecer si este ha sido eliminado totalmente. Si el defecto aún persiste se deberá continuar con el desbaste hasta establecer mediante la prueba de líquidos penetrantes su eliminación total procediéndose a la reparación de la zona afectada mediante el proceso de soldadura calificado para este fin.

2.1.28. Reporte de inspección

Luego de realizar la inspección de las estructuras soldadas se realiza el registro de lo evaluado en el formato de inspección, si se encontrara una no conformidad en el transcurso de la evaluación del proceso se Informa al Supervisor de Producción el cual



deberá tomar las Acciones Correctivas inmediatas, además se debe emitir el reporte de incidencia respectiva.

2.1.29. Definiciones conceptuales

Las definiciones conceptuales se han tomado de la siguiente referencia bibliográfica (American Welding Society, 2015).

- **Ángulo de bisel.** El ángulo entre el bisel de un miembro de la junta y un plano perpendicular a la superficie del miembro.
- **Bisel.** Una forma de borde en ángulo.
- **Defecto.** Una discontinuidad o discontinuidades que por su naturaleza o por efecto acumulado convierte a una parte o producto en incapaz de cumplir los estándares mínimos de aceptación aplicables o especificaciones. El término designa rechazo.
- **Discontinuidad.** Una interrupción de la estructura típica de un material, como una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.
- **Geometría de unión.** La forma, dimensiones y configuración de una unión antes de la soldadura.
- **Golpe de arco.** Una discontinuidad resultante de un arco, consistente en cualquier lugar de metal refundido, metal afectado térmicamente, o cambio en el perfil de la superficie de cualquier objeto metálico.
- **Imperfección.** Una discontinuidad no deseable.



- Material base. El material que es soldado por soldadura, soldadura fuerte, soldadura blanda o que es cortado.
- Metal base. El metal o aleación que es soldado por soldadura, soldadura fuerte, soldadura blanda o que es cortado.
- Metal de aporte. El metal o aleación que se agregará en la fabricación de la unión mediante soldadura fuerte, soldadura blanda o soldadura.
- Preparación de borde. La preparación de los bordes de los miembros de la unión, realizada por corte, limpiado, pintado u otro mecanismo.
- Procedimiento de soldadura. Los métodos y prácticas detalladas involucrados en la producción de una unión por soldadura.
- Unión a tope. Una unión entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.
- Zona afectada por el calor (ZAC). La porción del metal base cuyas propiedades mecánicas o microestructura se han alterado por efecto del calor de la soldadura, soldadura fuerte, soldadura blanda ó del corte térmico.
- Zona de fusión. El área de metal base fundido, determinada sobre la sección transversal de una soldadura.
- Zona de metal base. La porción del metal base adyacente a la unión de soldadura, soldadura fuerte o soldadura blanda o corte térmico que no ha sido afectada por la soldadura, soldadura fuerte, soldadura blanda o corte térmico.

2.2. ANTECEDENTES

Abanto y Horna (2017) en su trabajo de investigación, ha determinado la calidad superficial de la unión soldada mediante proceso de soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido, con las siguientes características: cuatro juntas en T, soldadura de filete de 6"x 4"x 2"x 0.25" y una junta a tope, soldadura de ranura de 6"x 4"x 0.25"

Determinó el tipo y tamaño de discontinuidades, los tamaños de soldadura de filete, ranura, el tamaño de las discontinuidades, mediante el uso de varios tipos de calibradores de soldadura. Recomendados por la sociedad americana de soldadura y la evaluación se realizó con el código AWS D1.1. determinándose discontinuidades del tipo: porosidad, socavado, falta de llenado, solape, gritas, golpe de arco, convexidad excesiva. Los resultados producto de esta investigación descriptiva muestran una gran variación en cuanto a lo que aparentemente es un defecto, después de la evaluación solo constituye una discontinuidad, concluyendo que el tipo y tamaño de la discontinuidad en las probetas de las uniones soldadas varían y se evalúan su posible rechazo al constituir defecto con el código aplicable.

Ramón (2016) manifiesta de que actualmente en Cuenca-Ecuador existe un alto porcentaje de construcción informal de estructuras metálicas, debido a la ineficiente ejecución de la soldadura como material de conexión. Además, la construcción también se ve afectada por la poca importancia que dan los constructores, como: Ingenieros Civiles o Arquitectos, a los códigos y normativas establecidas referentes a soldadura y acero estructural, esto sumado a la escasa participación de profesionales certificados por: la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos (ASNT), para llevar a cabo las tareas de inspección de soldadura y ensayos no destructivos respectivamente. Una de las herramientas indispensables y



efectivas para la inspección y control de calidad de soldadura son los Ensayos no Destructivos (END); estos son métodos que permiten determinar discontinuidades externas o internas presentes en un cordón de soldadura.

Zambrano (2015) indica que el sector metalmecánico en el Ecuador constituye un pilar fundamental en la cadena productiva del país, se fabrican diferentes productos en los cuales la soldadura es un proceso de gran importancia, es por esto que la inspección de soldadura es una actividad que se la debe realizar para garantizar la calidad en el proceso de fabricación de estructuras, elementos y productos metálicos.

Debido a esto se ha realizado este proyecto de titulación con el propósito de elaborar un manual de inspección de soldadura así como el de calificación de soldadores de acuerdo a dos normas que se usan ampliamente en el sector industrial y petrolero, como son la API 1104 para la soldadura de tuberías y facilidades relacionadas, y la ASME Boiler & Pressure Vessel Code que consta de varias secciones y se utiliza en la soldadura de recipientes a presión así como también ciertas secciones de este código se las utiliza como complemento en diversas normas, por ejemplo la sección IX de calificación de procedimientos de soldadura y soldadores se aplica en las normas API 650 "Tanques soldados de acero para almacenamiento de crudo" y API 653 "Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques".

Mamani (2014) en su trabajo de investigación demostró que la inspección visual y método de líquidos penetrantes es eficaz para el mantenimiento predictivo en zarandas secas LUDOWICI 2010-10 específicamente en anclajes de soporte; llegando a la conclusión de decir que la inspección de las uniones soldadas, de las barras de acero de refuerzo estructural del tipo A.S.T.M. A-615 G 42 por medio de los ensayos no



destructivos de inspección visual y de líquidos penetrantes, es óptima debido a los puntos que a continuación se exponen:

1. El método de inspección visual es un método relativamente económico, práctico y de gran confiabilidad, el cual permitió obtener resultados de gran calidad acerca de la integridad de las uniones soldadas.
2. A través del ensayo de líquidos penetrantes se lograron evaluar las uniones de las barras de refuerzo, ya que debido a su facilidad de aplicación nos permitió desarrollar las pruebas sin que la geometría de las barras (corrugado) impidiera la aplicación del método.

Chambi (2013) en su tesis Aplicación de los ensayos no destructivos para el control de calidad de tolvas para volquetas, justifica su trabajo al desarrollar y calificar un procedimiento de inspección por medio de las técnicas no destructivas de inspección visual y por medio de líquidos penetrantes, los cuales le permitieron detectar los defectos como porosidades, agrietamientos, rechupes, falta de fusión y entre otros defectos; para luego establecer los criterios de aceptación o rechazo de la calidad de las uniones por soldadura de las tolvas para volqueta, por lo que es importante que este procedimiento de inspección sea de acorde a lo estipulado por un código del tipo ISO- 9001 y por los documentos gobernantes del proyecto de ingeniería. También, es importante resaltar que las uniones realizadas en campo, sean evaluadas continuamente por las técnicas no destructivas mencionadas anteriormente, por lo que pudiera resultar un trabajo redundante, lo cual es un error debido a que nunca dejará de ser de vital importancia el seguimiento o aseguramiento de la calidad de los trabajos realizados en obra, con ello se garantiza la integridad de los componentes estructurales que tienen o tendrán aplicación las tolvas para volqueta.



Arcos (2011) su proyecto de investigación trazado consiste en la implementación de un nuevo método de ensayo no destructivo, como es el método de Tintas Penetrantes Fluorescentes con Luz Negra, para determinar la aceptación de uniones soldadas de aceros al carbono, ya que a nivel local se tiene un conocimiento limitado del tema debido a la escasez de los equipos necesarios para su ejecución, siendo esta la razón para el planteamiento de la investigación. Cotidianamente en la industria se presenta la necesidad de controlar la calidad de juntas soldadas de varios componentes, siendo muchos de estas piezas críticas, motivo por el cual se requieren métodos de mayor sensibilidad en la detección de defectos que pueden ocasionar el mal funcionamiento o colapso de máquinas y/o estructuras; adicionalmente la investigación planteada necesita de instrumentos especiales para su ejecución, lo cual hace que la misma se torne sumamente interesante.

Por su parte los resultados obtenidos con las tintas penetrantes fluorescentes bajo la acción de la luz negra son satisfactorios en lo que corresponde a la evaluación de los defectos en las juntas soldadas con criterios de aceptación o rechazo según AWS D1.1. Con esto se demuestra que el método planteado presenta confiabilidad para cualquier aplicación en que sea necesario.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

- Para la preparación de las probetas y evaluación de las mismas se desarrolló en la empresa LECONS GOLD SAC especializada en FABRICACION DE PRODUCTOS METALICOS PARA USO ESTRUCTURAL. Fue creada y fundada el 13/12/2017, registrada dentro de las sociedades mercantiles y comerciales como una sociedad anónima cerrada con RUC 20602707157 y ubicado en el Jr. Manto 4ta cuadra N°: S/N, Barrio: Manto 26 de julio (a una cuadra del grifo las torres.) Departamento: Puno / Provincia: Puno / Distrito: Puno.
- Para la evaluación de la estructura metálica denominado: Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en el distrito de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno; ejecutado por la empresa LECONS GOLD SAC.

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

- Para la preparación de las probetas y su respectiva evaluación estos se ejecutaron en los meses de enero y febrero del año 2019.
- Para la evaluación de la estructura metálica esto se ejecutó en los meses de abril, mayo y junio del año 2019.



3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

El material que se estudio fue el utilizado en la fabricación de la estructura metálica que vino a ser el acero ASTM A-36, electrodos de aporte E6011 y E 7018.

Así mismo los materiales que se necesitan para cumplir los objetivos propuestos viene a ser los siguientes:

- Galgas para inspección de soldadura
- Máquinas de soldar SMAW
- Probetas de acero ASTM A-36 de 15 x 15 cm.
- Electrodo E6010 y E6011.
- Vernier
- Micrómetro
- Lupa de aumento
- Kit de líquidos penetrantes
- Cepillo circular de alambre suave
- Amoladora
- Telas de algodón
- cámara fotográfica
- flexómetro
- equipo de protección personal



- Código AWS D1.1:2015
- Código ASTM E-615
- Registros de calibración de instrumentos.
- Especificaciones técnicas, normas y estándares aplicables

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida por las estructuras Metálicas del Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno.

3.4.2. Muestra

La muestra de nuestra investigación son las juntas soldadas de las estructuras metálicas del Proyecto “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para el análisis e interpretación de los datos obtenidos se utilizará la referencia bibliográfica, Código AWS D1.1 y la estadística basada en MS Excel y ANOVA

3.6. PROCEDIMIENTO

En este párrafo se realizará un estudio de la norma ANSI/AWS D1.1:2015, en sus secciones 2, 5 y 6 que corresponden al control de calidad en soldaduras de producción en

una estructura metálica, cuyos controles de calidad se realizan mediante inspección visual y líquidos penetrantes que se encuentran claramente definidos en esta norma.

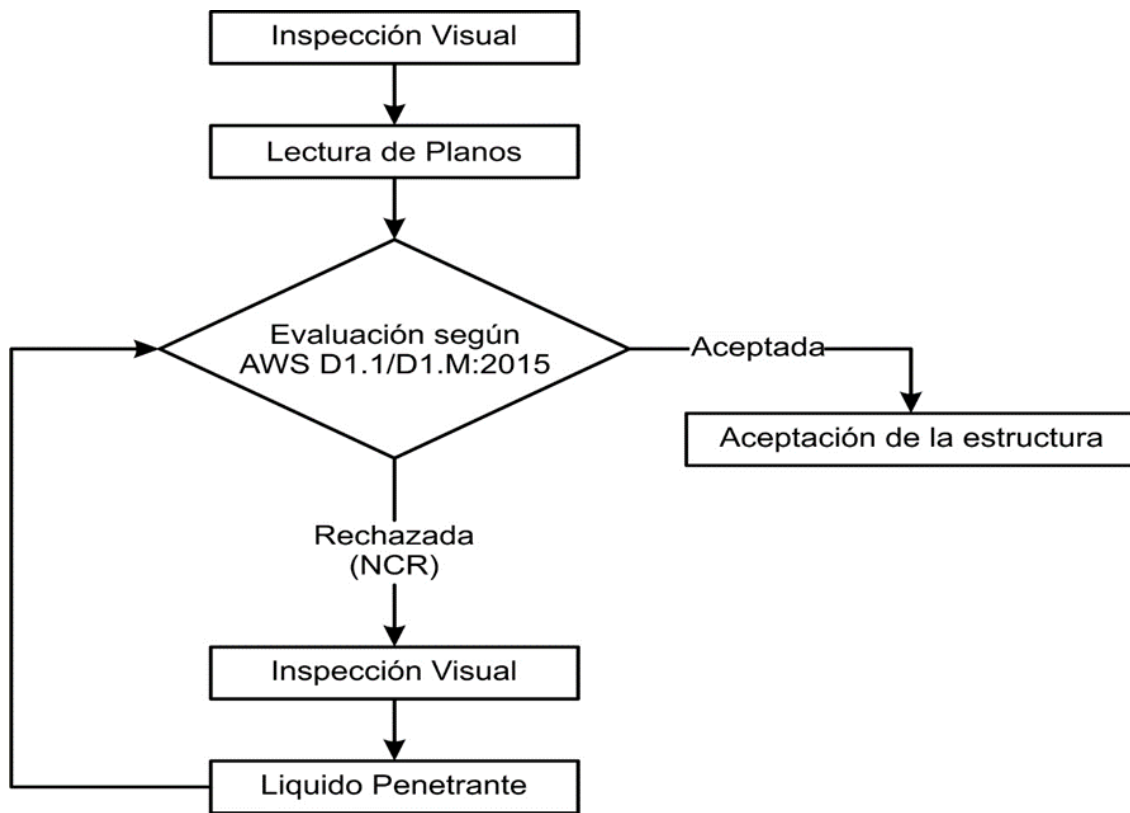


Figura 9. Flujoograma del procedimiento de control de calidad

3.6.1. Metodología

El diseño a aplicarse es de investigación no experimental, el nivel de diseño análisis Cuantitativa - Descriptiva, este método consiste en la evaluación de los resultados obtenidos de los Ensayos No Destructivos durante el proceso de inspección de las probetas y juntas de las estructuras soldadas para determinar las condiciones de mejoramiento del proceso en base a la corrección y modificación de parámetros aplicados durante la construcción de las estructuras soldadas.

El tipo de investigación se clasifica como una investigación Cuantitativa – Descriptiva, por ser un trabajo donde se busca determinar las condiciones de calidad de las estructuras metálicas, donde se deben describir los procesos, medir resultados

mediante criterios de aceptación y rechazo para poder determinar el nivel de calidad de las estructuras soldadas.

Los requerimientos que son necesarios para la inspección de las juntas soldadas se establecen en el Código AWS D1.1:2015, en sus secciones 2, 5 y fundamentalmente la sección 6 donde se establece los procedimientos que se deben de seguir; la aplicación de este Código para la inspección de las estructuras se debe a su alcance con los requerimientos de la obra.

3.6.2. Desarrollo del procedimiento de investigación

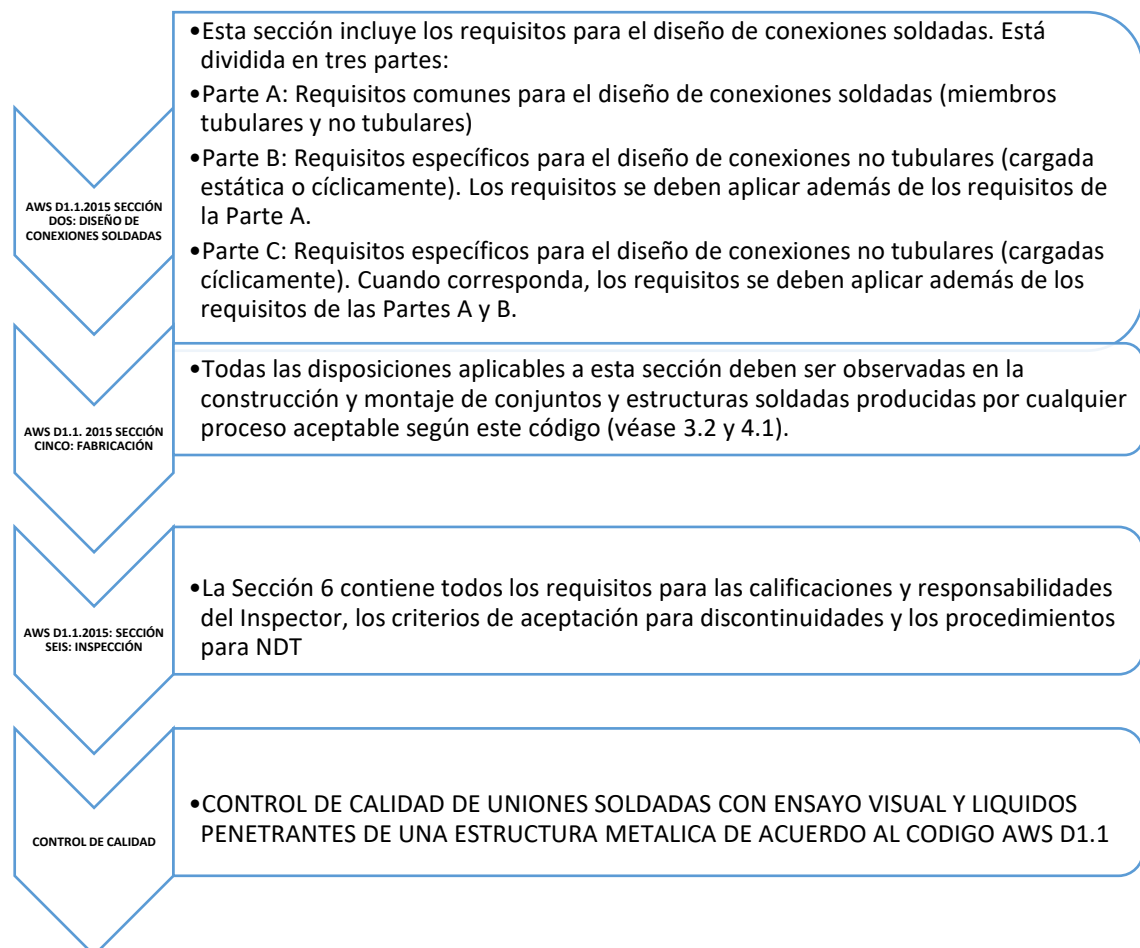


Figura 10. Flujograma del procedimiento de investigación

3.6.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Las Estructuras Metálicas del Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno, cuenta con coberturas para la cubierta de los techos y estas constan de vigas, cerchas y correas que están unidas mediante procesos de soldadura, siendo los puntos críticos de las estructuras las juntas soldadas las cuales se examinaron para determinar su resistencia a las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidas.

Para la aplicación de la inspección de los cordones de soldadura se realiza siguiendo un orden apropiado a fin de efectuarlo correctamente; el procedimiento se realiza de la manera siguiente:

Tabla 11. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

ANTES DE SOLDAR	DURANTE SOLDADURA	LA	DESPUES DE LA SOLDADURA
- Revisar los documentos relacionados	- Chequear las variables		- Chequear su apariencia final
- Verificar: WPS, PQR y WPQ	- Inspeccionar visualmente cada pase de soldadura		- Chequear su tamaño
- Desarrollar un plan de inspección y registros	- Chequear la limpieza entre pases		- Chequear sus longitudes y distancias
- Desarrollar un sistema para identificar rechazos	- Chequear la temperatura entre pases		- Chequear la precisión dimensional del ensamble soldado
- Chequear equipos de soldadura	- Chequear la secuencia de pases		- Realizar ensayos no destructivos (END: Visual de acuerdo a la norma AWS D1.1 2015 y líquidos penetrantes de acuerdo a la norma ASTM E165 (Método de ensayo normalizado para inspección por líquidos penetrantes). Criterios de aceptación tabla 6.1 AWS D1.1 ASTM E1417
- Chequear la calidad del material base y material de aporte.	- Se chequear las superficies de respaldo		
- Chequear la calidad y precisión de las Juntas	- Realizar ensayos con líquidos penetrantes, cuando se requiera,		
- Chequeó el montaje y alineamiento			- Preparar sus reportes de inspección respectivos.
- Chequeó la limpieza de la junta			

Así mismo para la inspección de las juntas soldadas se realizaron los métodos de inspección visual y líquidos penetrantes, de acuerdo a lo especificado dentro del Código AWS D1.1: 2015.

Para el proceso de calificación se utilizó el proceso de ponderación por puntos, este método nos permitió conocer cuál si la construcción inspeccionada cumple con lo establecido en la norma bajo la siguiente calificación:

Tabla 12. Ponderación por puntos

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:

Tabla 13. Rangos de calificación

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

3.7. VARIABLES

Variable dependiente

Control de calidad de uniones soldadas con ensayo visual y líquidos penetrantes.



Variable independiente

Estructura metálica de acuerdo al código AWS D1.1

3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El presente proyecto está establecido para comprobar el cumplimiento de la norma AWS D1.1:2015 en juntas de probetas soldadas y de la estructura metálica en estudio, 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.

Las técnicas de ensayos no destructivos para el control de materiales representan un instrumento imprescindible a la hora de proporcionar la seguridad en una estructura, tanto en la etapa inicial de construcción como durante la vida útil de la misma.

- 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 por líquidos penetrantes de las probetas elaboradas y de la obra Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el

“mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de
Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno.

Tabla 14. Criterios de aceptación según norma AWS

Grado de discontinuidad y criterio de la inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente								
Cualquier grieta deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación	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								
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								
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								
El tamaño de la soldadura de filete en cualquier soldadura continua, puede tener menos del tamaño nominal (L) hasta la disminución permitida (U):										
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Tamaño nominal de soldadura (L) en mm</th> <th>Disminución permitida de L (U) en mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">2.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td 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									
Para el material menor de 25 mm de espesor, el socavado no deberá exceder 1 mm.	X									
El socavado no deberá exceder 2 mm para cualquier longitud acumulada de hasta 50 mm en cualquier longitud de 200 mm.										
Para materiales iguales o mayores a 25 mm el socavado no deberá exceder 2 mm, para cualquier longitud de soldadura										
En miembros principales, el socavado deberá ser no más de 0.254 mm de profundidad		X								
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								
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								

Fuente: AWS D1.1. Edición 2015. Sección 6. Inspección. Pág. 210.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS JUNTAS SOLDADAS DE PROBETAS SOLDADAS CON EL CÓDIGO AWS D1.1:2015

Para la ejecución de los diferentes ensayos no destructivos con ensayo visual y líquidos penetrantes se realizaron probetas de acuerdo a lo establecido en la normativa AWS D1.1 las mismas que se utilizan para la calificación de soldadores, cuyas dimensiones son 30 x 30 cm. Para la soldadura se escogió el proceso SMAW ya que es el más utilizado en el país y es el que menos discontinuidades presenta al momento de su realización.

Establecido el tipo de soldadura, se procedió a la selección del material base y material de aporte, para lo cual nos regimos a la tabla 3.1 de la normativa AWS D1.12015 p. 49, que nos indica que para un proceso de soldadura tipo SMAW y para una placa de acero de espesor menor a 20 mm, el material base debe ser de especificación A36, y para el material de relleno lo establecemos de acuerdo a la tabla 3.2 de la normativa AWS D1.1.2015 p. 53, que indica que los electrodos recomendados para metales del grupo I son los E60XX y E70XX. La tabla 15 contiene un resumen de los datos del material base a utilizar para un proceso de soldadura SMAW de acuerdo a la tabla 3.1 de la normativa AWS D1.1.

Tabla 15. Metales base aprobados para una soldadura SMAW

Requisitos de la especificación del acero						
Grupo	Especificación del acero		Limite elástico máximo		Rango de la tracción	
			ksi	MPa	Ksi	MPa
I	ASTM A36	Menor a 20 mm	36	250	50-80	400-550

Fuente: Norma ASTM.

En la tabla 16 se observan las especificaciones de los electrodos a utilizar para las probetas con metal base tipo 1 de acuerdo a la tabla 3.1 de la normativa AWS D1.1.

Tabla 16. Especificaciones de electrodos

Metales según grupo para soldadura SMAW y SAW						
Grupo de metal base	Especificación AWS del electrodo	SMAW			SAW	
		A5.1. Acero al carbono	A5.5. Acero de baja aleación	A5.17. Acero al carbono	A5.23. Acero de aleación	Acero baja
I	AWS	E 60XX E 70XX	E 70XX-X	-----	-----	

Fuente: Norma AWS D1.1

4.2. SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS

El tipo de unión que se utiliza en las columnas armadas es la soldadura de canal cuadrada según AWS D1.1 como se muestra en la figura 11.

Los parámetros usados en la preparación de junta a tope en soldadura SMAW según las normas ASME B31.3, ASMEIX y AWS D1.1 son las siguientes:

- Angulo de inclinación de biselado 60°
- Talón 3 mm
- Sin respaldo separación 3 mm
- Con respaldo 6 mm

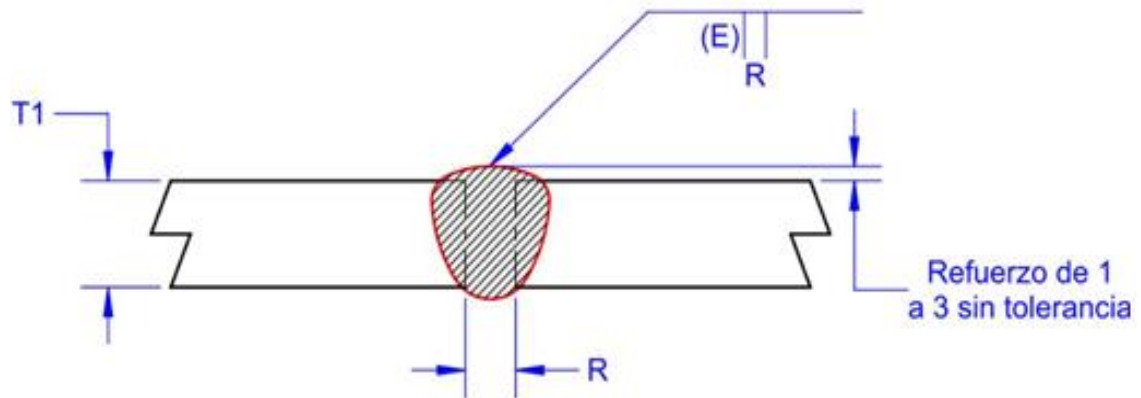


Figura 11. Soldadura a tope de canal cuadrada

Fuente: AWS D1.1: 2015.

$$T1 = 6 \text{ mm}$$

$$R = T1 / 2 = 6 \text{ mm} / 2$$

$$= 3 \text{ mm}$$

Posición a soldar = 1G

4.3. DISEÑO DE LA JUNTA

El diseño de la junta es un bisel en forma de V, ya que es más utilizado cuando se realizan cordones de soldadura.

La normativa AWS D1.1 figura 3.3 establece que, para una junta en forma de V, el ángulo de la ranura debe ser de 60 grados.

Tabla 17. Detalle de la junta soldada en ranura con junta de penetración completa

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/32 mín. $\alpha = 60^\circ$	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ +10°, -5°	Todas	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. $\alpha = 60^\circ$	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ +10°, -5°	Todas	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	7/16 mín.	U	R = 0 f = 1/4 mín. $\alpha = 60^\circ$	± 0 +U, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 $\pm 1/16$ +10°, -5°	F	S	b, f, j

Fuente: AWS D1.1:2015.

4.4. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

En esta sección se detalla el proceso de mecanizado del bisel en las probetas de acuerdo a la normativa AWS D1.1 para llevar a cabo el control de calidad del cordón de soldadura aplicando ensayo visual y líquidos penetrantes, así como también el proceso de soldadura de las mismas.

4.4.1. Preparación del material base

Para cada probeta son necesarias 2 placas de 30 x 30 cm. Con la ayuda de la amoladora y un disco de corte apropiado se realizó el corte de un total de 2 placas de dimensiones 30 x 30 cm. a partir de una plancha de acero ASTM A36 de 6 mm de espesor.

Con las placas ya cortadas se procede a realizar el bisel. Como se requiere una ranura con un ángulo total de 60 grados, se realiza el bisel de cada placa que conforma la probeta con un ángulo de 30 grados

4.4.2. Realización de la soldadura

Para la realización de las soldaduras, se contó una guía para el proceso de relleno, el cual indica la cantidad de cordones necesarios y la ubicación de los mismos.

1. Se procedió a colocar las placas en la posición correcta, dejando una separación entre placas de 2 mm, como se especifica en la figura 3.3 de la normativa AWS D1.1 (entre 0 y 3 mm).



Figura 12. Ranura tipo V con un ángulo de 60° y separación de 2mm

2. Se realizó el primer cordón de soldadura o base con E 6011 y luego se limpió para el siguiente cordón de soldadura con E7018, luego se realizó el mismo procedimiento hasta completar los pases.

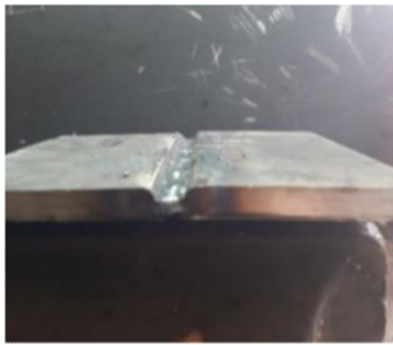


Figura 13. Realización del primer cordón de soldadura

4.5. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL

4.5.1. Objetivo

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección visual directa en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

4.5.2. Alcance

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades de tipo superficial en juntas soldadas de ranura o de filete en aceros estructurales mayores que 1/8 pulg. (3 mm de espesor), en base a lo detallado en el Código AWS D1.1.

4.5.3. Documentos de referencia

- AWS D1.1. "Structural Welding Code Steel"
- SNT-TC-1A. "Recommended Practice No. SNT-TC-1A, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel"

4.5.4. Criterios de aceptación de la inspección visual de probetas

Para llevar a cabo la inspección visual se evaluó de acuerdo con la normativa AWS D1.1 sección 6.9, (pág. 194 de la normativa AWS) la cual establece que las soldaduras serán aceptables si cumplen los criterios de la tabla 6.1 (pág. 201 de la norma AWS).



A continuación, en la tabla 19 se detallan los criterios de aceptación para realizar una inspección visual según la normativa AWS D1.1.2015.

Tabla 18. Criterios de aceptación para Inspección Visual AWS D1.1: 2015

CATEGORÍAS DE DISCONTINUIDAD	CRITERIO DE ACEPTACION								
1. Prohibición de grietas.	No se deberá aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño o la ubicación.								
2. Fusión del metal de soldadura / metal base	Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal base y entre el metal de soldadura y el metal base.								
3. Sección transversal del cráter.	Todos los cráteres deberán rellenarse para proporcionar el tamaño de la soldadura especificada, a excepción de los extremos de las soldaduras de filete intermitente, fuera de su longitud efectiva								
4. Perfiles de soldadura.	Los perfiles de la soldadura deberán estar conforme a la sección 5.23 de AWS D1.1:2015 .								
5. Tiempo de Inspección.	La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede empezar inmediatamente después de que las soldaduras completadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para ASTM A-514 y A-709 de aceros grados 100W y 690W deberán basarse en la inspección visual efectuada en no menos de 48 horas después de la finalización de la soldadura.								
6.Soldadura sub dimensionada	<p>El tamaño de la soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede ser inferior al tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades (U)</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>L (in/mm)</th> <th>U (in/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 3/16"$ (5)</td> <td>$\leq 1/16"$ (2)</td> </tr> <tr> <td>1/4" (6)</td> <td>3/32" (2.5)</td> </tr> <tr> <td>$\geq 5/16"$ (8)</td> <td>$\geq 1/8"$ (3)</td> </tr> </tbody> </table> <p>En todos los casos, la parte de la soldadura con tamaño inferior al nominal no deberá exceder del 10% de la longitud de la soldadura.</p> <p>En las soldaduras de alma ala en vigas, se deberá prohibir la reducción en los extremos de una longitud igual al doble del ancho del ala.</p>	L (in/mm)	U (in/mm)	$\leq 3/16"$ (5)	$\leq 1/16"$ (2)	1/4" (6)	3/32" (2.5)	$\geq 5/16"$ (8)	$\geq 1/8"$ (3)
L (in/mm)	U (in/mm)								
$\leq 3/16"$ (5)	$\leq 1/16"$ (2)								
1/4" (6)	3/32" (2.5)								
$\geq 5/16"$ (8)	$\geq 1/8"$ (3)								
7. Socavamiento	<p>Para materiales menores a 1" (25mm) de espesor, el socavamiento no deberá exceder 1/32" (1mm) con la siguiente excepción:</p> <p>El socavamiento no deberá exceder 1/16" (2mm) para cualquier longitud acumulada hasta 2" (50mm) en cualquier tramo de 12" (300mm).</p> <p>Para el material igual o mayor que 1" de espesor, el socavamiento no deberá exceder 1/16" (2mm) cualquiera sea la longitud de soldadura.</p>								
8. Porosidad	Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular visible. En todas las demás soldaduras en ranura y soldadas en filete, la suma de la porosidad vermicular visible de 1/32" (1mm) o de diámetro mayor, no deberá exceder 3/8" (10mm) en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder 3/4" (20mm) en cualquier tramo de soldadura de 12" (300mm) de longitud.								

Fuente: AWS D1.1: 2015.



4.5.5. Reporte de Inspección visual directa de probetas

Para el caso de la presente tesis se utilizó la técnica de inspección directa, se realizó la inspección a una distancia no mayor a 24 pulgadas [600 mm] con respecto al ojo y con un ángulo no menor a 30°. ya que se analizaron probetas cuyas dimensiones permiten una total manipulación de las mismas y únicamente será necesario el uso de herramientas básicas como son fuentes de luz y herramientas ópticas.

Tabla 19. Reporte de inspección visual de probeta soldada

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALURGICA	
REPORTE DE INSPECCION VISUAL	
ITEM 1: DATOS INFORMATIVOS	
PROYECTO: Trabajo de Titulación	Realizado por : Bach. Richar David Alanoca Vargas Tesista de la EPIM-UNA Puno
DESCRIPCION: Probeta con junta de penetración completa	Supervisado por: Asesor de Tesis. Ing. Walter Sarmiento Sarmiento
NORMA: AWS D1.1.2015	Fecha : junio del 2019
Lugar de ejecución: Empresa LECONS GOLD SAC	
ITEM 2: ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA	
Procedimiento: AWS D1.1.	Posición: Plana horizontal 1G
Tipo: Soldadura CJP de un solo lado	Técnica: Cordón rectilíneo Raíz acabado
Abertura de raíz : 3 mm	Proceso : SMAW
Tipo de unión : a tope	Tipo: Manual
ITEM 3: ESPECIFICACIONES METAL BASE Y DE APORTE	
Especificaciones del material base:	Acero estructural
Tipo o grado:	ASTM A-36
Resistencia a la tracción:	40.8- 56.10 Kg/mm ²
Límite de fluencia:	25.3 Kg/mm ²
Espesor :	6.00 mm
Metal de aporte:	AWS E-6011 y E-7018
Amperaje voltaje:	90 A/35 V



ITEM 4: INSPECCION VISUAL DIRECTA

Ensayo N° : 01	Pieza: Probeta soldada
Lugar de ejecución: Empresa LECONS GOLD SAC	Realizado por : Bach. Richar David Alanoca Vargas
Estado superficial: libre de corrosión	Flujo del aire del medio: estático
Tipo de iluminación: natural	Temperatura: 15-20 °C

PROCEDIMIENTO

Limpieza inicial	Lijar y cleaner marca Spot Check.
Instrumentos de evaluación	Galgas, vernier, lupa, cámara fotográfica
Instrumento de verificación	AWS D1.1 sección 6.9.
Tiempo de evaluación	30 minutos aproximadamente



Medición de espesor de plancha



Medición de altura del filete



Medición de ancho de cordón de soldadura



Evaluación de discontinuidades

RESULTADOS

Descripción	Cumple	No cumple
Grietas: No hay presencia de grietas en la superficie de la soldadura.	X	
Fusión del metal base/soldadura: Existe fusión completa entre las capas adyacentes del metal base y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	
Sección transversal del cráter: Se presentaron inicialmente varios cráteres de fusión de soldadura los mismos que fueron rellenados para proporcionar un tamaño de soldadura adecuado.	X	
Perfil de soldadura: El perfil de soldadura se realizó de acuerdo a los criterios AWS D1.1: 2015	X	
Socavamiento: Existe socavado menor a 1 mm = aprueba	X	
Porosidad: El cordón presenta porosidad normal que no representa discontinuidades	X	

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

La soldadura no presenta grietas que es el principal factor presentado por los criterios de aceptación en la Tabla 6.1 de la AWS D1.1, además se puede observar que la fusión de material base es adecuada, se presentan varios cráteres de fusión de soldadura los mismos que serán rellenados para proporcionar un tamaño de soldadura adecuado, no se presenta socavado en la soldadura.

CALIFICACION

Con la finalidad de llegar a esta calificación se ha trabajado con dos probetas adicionales, eligiendo el que presento el mejor resultado. Las probetas ensayadas cumplen con varios de los criterios de aceptación de la normativa AWS D1.1:2015, según la metodología de inspección.

El análisis visual en el espécimen evaluado indica que la soldadura es adecuada y no presenta discontinuidades relevantes.= Aprueba.



4.6. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES TIPO II, MÉTODO C

Para el ensayo de líquidos penetrantes se prepararon las mismas probetas soldadas para realizar el ensayo visual de acero estructural ASTM A-36 de 30 x 30 cm. en las cuales se utilizaron como material de aporte electrodos E6011 y E7018 y así poder verificar si existen discontinuidades en la soldadura, todo esto según los criterios de aceptación presentados por la AWS D1.1. Capítulo 6 Apartado C y según la tabla 6.1 además de la Norma ASTM E 165.

Los líquidos penetrantes que se utilizaron fueron de color rojo removible con solvente marca Spot Check.

Tabla 20. Clasificación de líquidos penetrantes según norma ASTM E165

Tipo I	
Fluorescente	
Método A	Lavable con agua (ASTM E-1200)
Método B	Postemulsificable lipofílico (ASTM E-1208)
Método C	Removible con solvente (ASTM E-1219)
Método D	Postemulsificable Hidrofílico (ASTM E-1210)
TIPO II	
Coloreados	
Método A	Lavables con agua (ASTM E-1418)
Método C	Removibles con solvente (ASTM E-1220)

Fuente: ASTM E-165.



4.6.1. Objetivo

Estandarizar el desarrollo, interpretación, evaluación y reporte de resultados en la inspección por líquidos penetrantes visibles tipo II, método C en cordones de soldadura de estructuras metálicas.

4.6.2. Alcance

Este procedimiento es aplicable para la detección de discontinuidades de tipo superficial en juntas soldadas de ranura o de filete en aceros estructurales mayores a 1/8 pulg. (3 mm de espesor), en base a lo detallado en el Código AWS D1.1

4.6.3. Documentos de referencia

- ASTM E 1417. “Standard Practice for Liquid Penetrant Testing”
- ASTM E 165. “Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry”
- AWS D1.1. “Structural Welding Code Steel” -

4.6.4. Reporte de inspección con líquidos penetrantes de probetas soldadas

Se utilizaron los métodos estándar establecidos en ASTM E 165 para la inspección con líquidos penetrantes y las normas de aceptación deberán cumplir con la Sección 6, Parte C del código AWS D.1.1:2015.

Para la inspección visual con líquidos penetrantes se utilizó un kit de tintas penetrantes de la marca “Spot Check” el cual consta de un líquido limpiador, un líquido penetrante y un líquido revelador, los cuales se aplicaron como indica la siguiente figura

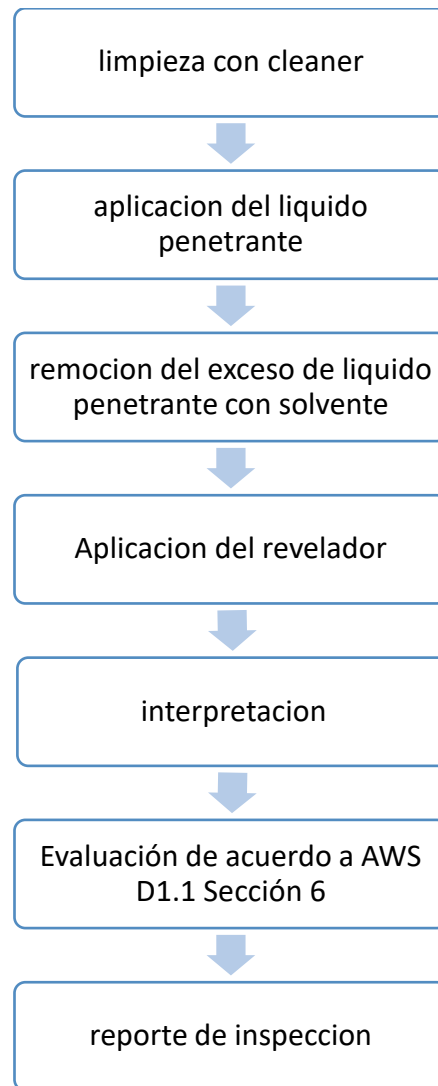



Figura 14. Procedimiento de inspección con LP

Una vez realizado el ensayo no destructivo por el método de líquidos penetrantes coloreados se ha desarrollado un formato para el manejo de la información obtenida, el mismo que incorpora las mejores características de los diversos tipos de formatos encontrados para una mejor comprensión de los resultados, en el que se establecen las especificaciones del proceso en general, como son la posición de soldeo, el tipo de material de aporte, los defectos hallados en las probetas y demás parámetros considerados como relevantes, tal como se demuestra en la siguiente tabla:

Tabla 21. Reporte de inspección por líquidos penetrantes de probetas soldadas

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALURGICA REPORTE DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES	
ITEM 1: DATOS INFORMATIVOS	
PROYECTO: Trabajo de Titulación	Realizado por : Bach. Richar David Alanoca Vargas ; Tesista de la EPIM-UNA Puno
DESCRIPCION: Probeta con junta de penetración completa	Supervisado por: Asesor de Tesis. Ing. Walter Sarmiento Sarmiento
NORMA: AWS D1.1:2015	Fecha : junio del 2019
Lugar de ejecución: Empresa LECONS GOLD SAC	
ITEM 2: ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA	
Procedimiento: AWS D1.1.	Posición: Plana horizontal 1G
Tipo: Soldadura CJP de un solo lado	Técnica: Cordón rectilíneo Raíz acabado
Abertura de raíz : 3 mm	Proceso : SMAW
Tipo de unión : a tope	Tipo: Manual
ITEM 3: ESPECIFICACIONES METAL BASE Y DE APORTE	
Especificaciones del material base:	Acero estructural
Tipo o grado:	ASTM A-36
Resistencia a la tracción:	40.8- 56.10 Kg/mm ²
Límite de fluencia:	25.3 Kg/mm ²
Espesor :	6.00 mm
Metal de aporte:	AWS E-6011 y E-7018
Amperaje voltaje:	90 A/35 V
	
ITEM 4: INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES VISIBLES	
Ensayo N° : 01	Pieza: Probeta soldada
Lugar de ejecución: Empresa LECONS GOLD SAC	Realizado por : Bach. Richar David Alanoca Mamani

Estado superficial: libre de corrosión

Flujo del aire del medio: estático

Tipo de iluminación: natural

Temperatura: 15-20 °C

2.1. LIMPIEZA INICIAL

Tipo: Pulverizador en aerosol

Marca: SPOTCHECK

Modelo de aplicación: AMS 2644/ASME
E165/ASME

Tiempo de limpieza: 5 minutos

Secado: evaporación normal

Modo de aplicación: spray

2.2. APLICACIÓN DEL LIQUIDO PENETRANTE

Tipo: Pulverizador en aerosol

Marca: SPOTCHECK

Modelo de aplicación: AMS 2644/ASME
E165/ASME

Color: Rojo

Secado: evaporación normal

Tiempo de penetración: 15 minutos

2.3. APLICACIÓN DEL REVELADOR

Tipo: Pulverizador en aerosol

Marca: SPOTCHECK

Modelo de aplicación: AMS 2644/ASME
E165/ASME

Tiempo de revelado: 10 minutos

Secado: evaporación normal

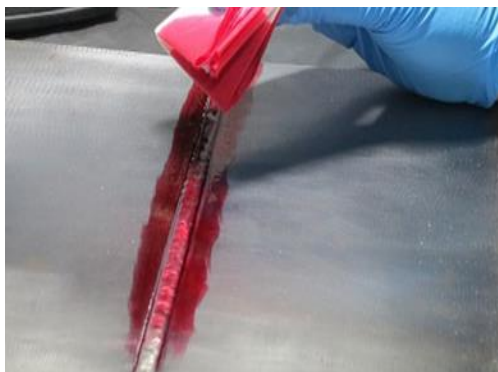
PROCEDIMIENTO



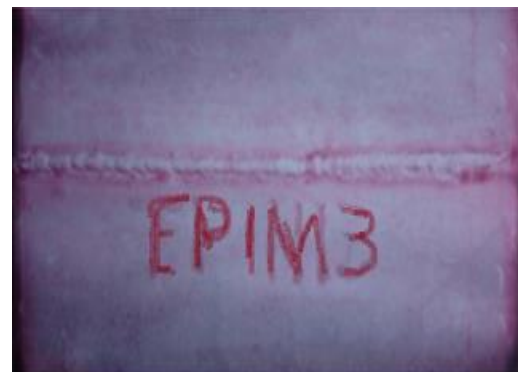
Aplicación del Cleaner



Aplicación del líquido penetrante



Remoción del exceso de penetrante



Probeta con revelador para su evaluación



RESULTADOS

DEFECTOS	OBSERVACION
Grietas	NO
Fusión de la soldadura	adecuada
Cráter de sección transversal	NO
socavado	Menor a 1 mm = aprueba
Porosidad	NO
Tiempo de inspección	inmediato
Iluminación	normal
Posición de soldadura	1G-plana
Tipo de soldadura	SMAW
Longitud inspeccionada	1200.00 mm
Calificación	SI CALIFICA

CRITERIOS DE ACEPTACION

En esta combinación de electrodos se presentan pequeñas porosidades pero que no representan falla, no se presentan grietas, aun así, se pueden observar pequeños socavados en la parte de la zona térmica afectada (ZAT) que no son relevantes según la Tabla 6.1 de la AWS D1.1.

Tomando como criterio de aceptación la norma ASTM E 165 para la inspección con líquidos penetrantes y las normas de aceptación deberán cumplir con la Sección 6, Parte C del código AWS D1.1:2015. La soldadura no presenta grietas que es el principal factor de rechazo presentado por los criterios de aceptación de la tabla 6.1 de la AWS D1.1. Así mismo el cordón presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades.

RESULTADOS

Con la finalidad de llegar a esta calificación se ha trabajado con dos probetas adicionales, eligiendo el que presento el mejor resultado. Las probetas ensayadas cumplen con varios de los criterios de aceptación de la normativa AWS D1.1:2015, según la metodología de inspección.

El análisis visual por líquidos penetrantes en el espécimen evaluado indica que la soldadura es adecuada y no presenta discontinuidades relevantes = Aprueba.

Así mismo el examen visual inicial fue de mucha importancia ya que evitó realizar ensayos innecesarios en la probeta, y por ende el ahorro de los consumibles.

4.7. CONTROL DE CALIDAD DE LAS JUNTAS SOLDADAS DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

Las Estructuras Metálicas Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno, cuenta con coberturas para la cubierta de los techos, estas constan de vigas, cerchas y correas que están unidas



mediante procesos de soldadura, siendo los puntos críticos de la estructura las juntas soldadas las cuales se examinaron para determinar su resistencia a las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidas.

Para la inspección de las juntas soldadas se realizaron los métodos de inspección visual y líquidos penetrantes, de acuerdo a lo especificado dentro del Código AWS D1.1:2015.

Para la aplicación de la inspección de los cordones de soldadura se realizó siguiendo un orden apropiado a fin de efectuarlo correctamente; el procedimiento se realizó de la manera siguiente:

- a) Inspección visual de las estructuras metálicas del proyecto mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno.
- b) Verificación de las especificaciones de las estructuras soldadas en los planos de construcción.
- c) Verificación dimensional de las estructuras metálicas.
- d) Evaluación del cumplimiento del Código AWS D1.1: 2015 de acuerdo a la inspección para la generación de reportes:
 - Reporte de fallas (NRC) y posible corrección de la falla.
 - Informe de aceptación.
- e) Aplicación de ensayo no destructivo a posibles defectos o defectos detectados:
 - Inspección visual.

- Líquidos penetrantes.



Figura 15. Estructura metálica de Huacullani

4.8. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA

Este procedimiento se aplica a la inspección visual de todas las juntas soldadas que se realizarán en las etapas de fabricación y montaje del proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno, de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.1:2015.



Figura 16. Estructura metálica evaluada



Figura 17. Junta soldada evaluada



Figura 18. Midiendo el cordón de soldadura



Figura 19. Inspección de cordón de soldadura

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.

Tabla 22. Procedimiento de inspección visual

Inspección Visual del Proceso de Soldadura			Calificación		Observaciones
Puntos de inspección	Parámetros	N/A	Cumple	No cumple	Detallar tipo de material, proceso, Informacin importante
1. Existe WPS para el proceso de soldadura	WPS es el proceso de especificación de soldadura			X	Solo indicaciones en planos
2. Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados.	Personal debidamente preparado para realizar este tipo de proceso.		X		Todos tienen cursos y acreditaciones
3. 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		
4. 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
5. 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
6. Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra.	Ensayo con partículas magnéticas o líquidos penetrantes son recomendados por la norma		X		Ensayos realizados con líquidos penetrantes.
7. Electrodo proceso SMAW	Propiedades claras y visibles		X		Propiedades claras
8. Consumibles cumplen con proceso de soldadura detallado en WPS	WPS según lo especificado en AWS D1.1			X	No existe WPS
9. 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		
10. Se cumple el espesor nominal para sección HSS	No debe exceder los 16 mm	X			Espesor varía de 25-16 mm
11. Perímetro exterior sección HSS cumple con la	No debe exceder 163 mm		X		Varía dependiendo la



norma			sección de la estructura
12. 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	Se trabajó en temporada que no hay lluvia
13. Metal base con superficies uniformes	Superficie donde se deposita metal de aporte es suave, uniforme, libre de grietas, escoria.	X	
14. Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS	Se hace bajo supervisión de personal calificado	X	No existe WPS
15. Se realiza limpieza antes de empezar la soldadura	Se deberá quitar toda escoria y el metal previamente depositado	X	Mediante cepillado
16. Electrodo almacenados correctamente	Los electrodos deben estar secos y en condiciones que no afecten sus propiedades	X	Expuesto al medio ambiente
17. Electrodo de bajo hidrogeno almacenados en recipiente	Termo de almacenamiento a temperatura de 120°C	X	No existe termos
18. Soldadores tienen conocimiento del WPS	Soldadores siguen proceso descrito en WPS	X	No existe WPS
19. Respaldo de acero deben soldarse en forma continua	metal de soldadura deberá estar totalmente fundido con el respaldo	X	6 mm de espesor
20. Se realiza el corte térmico dentro de las líneas prescritas	Equipo debe ser fácil de manipular y ajustar	X	
21. Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	Deben estar libre de muescas o cortes y cumple requerimientos de aspereza	X	
22. Apuntalados que no han sido removidos son Inspeccionados visualmente	Se cumple lo mismo para soldaduras de ayuda	X	Apuntalados son removidos
23. 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	
24. 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	X	Se utilizan niveles de alta calidad



	dispositivos		
	apropiados		
25. 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	
26. 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	
27. Soldaduras a tope tienen un acabado nivelado	Con esto se evita que se reduzca el ancho detallado en los diseños y planos	X	
28. Soldaduras que utilicen respaldo deberá tener el metal de soldadura totalmente fundido con el mismo	Aplica para soldaduras ranuradas de penetración completa (CJP)	X	
29. La intermitencia de respaldos no deberán estar ubicadas en las esquinas	Aplica para secciones tubulares cuadradas (HSS)	X	
30. 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
31. Las caras de las soldaduras de filete pueden ser levemente convexas	También pueden ser levemente planas o levemente cóncavas.	X	
32. 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
33. 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 2015, Sección dos, cinco y seis.



4.8.1. Límites de aceptabilidad en proceso de inspección visual

Para establecer los límites de aceptabilidad con los cuales vamos a calificar a la construcción inspeccionada se seguirá lo establecido en la norma y sus criterios de aceptación los cuales se describen en la tabla 23.

En base a lo establecido en la norma se ha 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.

4.8.2. Calificación y clasificación de resultados de ensayo visual

Para desarrollar el proceso de calificación se utilizó el proceso de ponderación por puntos, este método nos permitió conocer si la construcción inspeccionadas cumple con lo establecido en la norma. Para desarrollar este proceso primero se tabulo la información recogida en in situ para tener una manera más clara y precisa de cómo se efectuó el proceso de soldadura de la construcción seleccionada.

Para el método de ponderación por punto se dividió al formulario en tres tipos de requerimiento según su importancia, alto, medio y bajo.

Para determinar la jerarquía de los puntos establecidos en el formulario, se hizo un análisis de los parámetros que debían tener mayor relevancia respecto a los procesos que se aplican en las construcciones de estructuras metálicas y lo que establece la AWS D1.1: 2015.

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 depende del diseño de la construcción, 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 23:

Tabla 23. 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 verifico 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 24. Rangos de aceptación

RANGO	CRITERIO
Puntuación igual o mayor a 52 puntos	CUMPLE
Con mínimo 26 puntos de calificaciones altas	
Puntuación entre 52 y 37 puntos	RE INSPECCION
Con calificaciones altas entre 25 y 20 puntos	
Puntuación menor a 37 puntos	NO CUMPLE
Con calificaciones altas menores a 20 puntos	

Tabla 25. Calificación y clasificación de resultados ideal

PARAMETRO	VALOR	SUB TOTAL
15 ITEMS	3	45
9 ITEMS	2	18
9 ITEM	1	09
	TOTAL	72



Tabla 26. Resultados de evaluación visual de estructura metálica soldada

Parámetro	Cumple	No cumple	NA
1. Existe WPS para el proceso de soldadura		3	
2. Soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores son calificados	3		
3. Existe planos estructurales con el detalle de diseño de la soldadura	3		
4. Montaje de vigas acorde a lo detallado en planos y diseños	3		
5. Se realiza proceso de inspección continuamente	3		
6. Se realiza END en el proceso de inspección ejecutado por el contratista de la obra	3		
7. Electrodo son debidamente certificados	3		
8. Consumible cumplen con proceso WPS		3	
9. Respaldo hecho de material acorde a normativa y cumple con el espesor nominal	3		
1. Se cumple el espesor nominal para sección HSS			1
2. Perímetro exterior sección HSS cumple con norma	1		
3. Soldadura en condiciones naturales estables	3		
4. Metal base con superficies uniformes	2		
14. Soldaduras temporales y apuntalados cumplen WPS		3	
15. Se realiza limpieza antes de empezar soldadura	2		
16. Electrodo almacenados correctamente		3	
17. Electrodo de bajo hidrogeno almacenados en termos		3	
18. Soldadores tienen conocimiento WPS		3	
19. Respaldos de acero deben soldarse en forma continua	2		
20. Se realiza corte térmico dentro de las líneas prescritas	1		
21. Orificios de acceso a la soldadura proporcionan una transición suave	2		
22. Apuntalados que no han sido removidos son inspeccionados visualmente	1		
23. Dirección de progresión de la soldadura es desde partes fijas hasta partes con mayor libertad	2		
24. Los componentes que vayan a soldarse están en un	2		



alineamiento correcto			
25. No se realiza martillado en la raíz o en la cara superficial de la soldadura	1		
26. Soldadura se termina en el extremo de la unión	1		
27. Soldadura a tope tienen un acabado nivelado	2		
28. Soldaduras que utilicen respaldo deberá tener el metal de soldadura totalmente fundido con el mismo	1		
29. La intermitencia de respaldos no deberán estar ubicados en las esquinas	1		
30. Para eliminar el metal inaceptable o repararla junta se utilizan procesos aceptados por la norma	2		
31. Las caras de los filetes pueden ser levemente convexas	1		
32. De existir grietas en soldaduras, estas deberán ser evaluadas mediante ensayos no destructivos	3		
33. Se retira la escoria de soldaduras completadas, el metal base adyacente y soldadura deberán limpiarse mediante cepillado	2		
TOTAL	53	18	1
PARAMETRO PONDERADO	26		
CALIFICACION		CUMPLE	

Del análisis de la tabla 27: Resultados de evaluación visual de estructura metálica soldada en estudio se establece que dentro de los criterios de aceptación se obtuvo un calificativo de 53 puntos lo cual implica tomando como referencia la tabla N° 25 de rangos de aceptación; cumple con los criterios señalados es decir califica la estructura metálica soldada aplicando el ensayo visual enmarcado dentro de la normativa AWS D.1.1:2015.

4.9. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA

La ejecución de este método se empleó en ambas fases de construcción, tanto en la fase de armado como en la de montaje, de tal manera que permitió determinar las



discontinuidades en los cordones de soldadura, siendo analizada y evaluadas bajo la normativa AWS D1.1:2015

- La información teórica acerca de la inspección por tintas penetrantes se encuentra especificada en código ASTM E-165
- Las superficies de los cordones a ser evaluadas estarán bajo el requerimiento de las normas AWS D1.1 y D1.5
- Para la realización de este END se empleó la técnica C3.

Todos los datos y resultados obtenidos del END por tintas penetrantes, serán detallados en las tablas-informe de manera que se pueda tener mejor perspectiva de las juntas soldadas para el criterio de aceptación y rechazo, respecto al ensayo.

4.9.1. Preparación del ensayo

Para el ensayo de tintas penetrantes en la soldadura se tomaron cuatro columnas laterales en las cuales se realizaron las diferentes combinaciones de electrodos y así poder verificar si existen discontinuidades en la soldadura, todo esto según los criterios de aceptación presentados por la AWS D1.1:2015 Capítulo 6 Apartado C y según la tabla 6.1.

4.9.2. Información general

- El fundamento del método de líquidos penetrantes se encuentra en la información teórica de inspección por líquidos penetrantes como ASME V art. 6. Manuales de END, y códigos de referencia como ASTM E165.
- Las superficies del cordón de soldadura a inspeccionar estarán de acuerdo a los requerimientos del código de construcción AWS D1.1:2015.



- En este procedimiento se emplea la técnica II-C. Esta técnica utiliza los penetrantes coloreados lavables con solvente.
- Previo a la inspección por tintas penetrantes, las soldaduras sujetas al END deben haber sido encontradas aceptables por la inspección visual.

4.9.3. Informe / Registros

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el informe final. El informe debe contener toda la información en relación al ensayo, tal como los datos generales, cliente que lo solicitó, lugar, fecha, etc. Identificación de junta soldada, esquema de la soldadura, materiales, condiciones de trabajo, personal que realiza el ensayo, y los resultados finales de ensayo. Además, se recomienda añadir cualquier otra información o evidencia que se considere importante, tal como fotografías o esquemas de la junta a inspeccionar. Este informe debe ser firmado por el supervisor de ensayo.

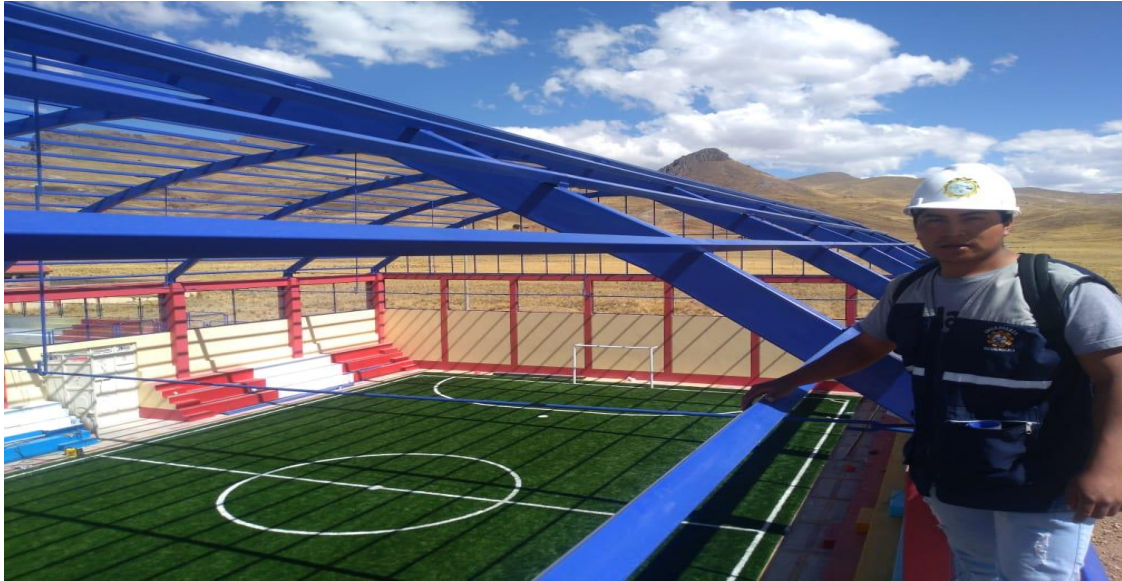
Se adjuntará a este documento los criterios de aceptación-rechazo del código, respecto a este ensayo.

A continuación, se encuentra el informe que se va a utilizar en la inspección por líquidos penetrantes, seguida de una explicación para su correspondiente llenado.



Tabla 27. Reporte de inspección por líquidos penetrantes de una estructura metálica

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALURGICA	
ENSAYO CON LIQUIDOS PENETRANTES	
ITEM 1: DATOS INFORMATIVOS	
OBRA: Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno.	Realizado por: Bach. Richar David Alanoca Vargas. Tesista de la EPIM-UNA Puno Supervisado por: Asesor de Tesis: Ing. Walter Sarmiento Sarmiento.
Empresa Solicitante: LECONS GOLD S.A.C.	Lugar de realización: Distrito de Huacullani
Temperatura ambiente del lugar: 10 °C	Fecha de ejecución: 20-10-2019
	Flujo de aire del medio: Estático
ITEM 2: ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA	
Procedimiento: AWS D1.1.	Posición: Plana horizontal 1G
Tipo: Soldadura CJP de un solo lado	Técnica: Cordón rectilíneo Raíz acabado
Abertura de raíz : 3 mm	Proceso : SMAW
Tipo de unión : a tope	Tipo: Manual
ITEM 3: METAL BASE Y DE APORTE	
Especificaciones del material base:	Acero estructural
Tipo o grado:	ASTM A-36
Resistencia a la tracción:	40.8- 56.10 Kg/mm ²
Límite de fluencia:	25.3 Kg/mm ²
Espesor :	6.00 mm
Metal de aporte:	AWS E-6011 y E-7018
Amperaje voltaje:	90 A/35 V



ITEM 4: INFORME POR LIQUIDOS PENETRANTES VISIBLES

Ensayo N°: 01	Pieza: Cordón de soldadura de tijerales y correas
Temperatura ambiente del lugar: 10 °C	Flujo de aire del medio: Estático
Procedimiento: Líquidos penetrantes	Técnica: Visibles-Rojo
Norma: ASME Sección V- NDT	Técnica: Cordón rectilíneo Raíz acabado
Material base: ASTM A-36	Material de aporte: AWS E-6011 y E-7018

LIMPIEZA INICIAL

Tipo: Pulverizador en aerosol	Marca: SPOTCHECK
Modelo de aplicación: Cumple con AMS 2644/ASME E165/ASME	Color: Rojo
Secado: Evaporación normal	

LIQUIDO PENETRANTE

Tipo: Pulverizador en aerosol	Marca: SPOTCHECK
Modelo de aplicación: Cumple con AMS 2644/ASME E165/ASME	Color: Rojo
Secado: Evaporación normal	Secado: Evaporación normal

REVELADO

Tipo: Pulverizador en aerosol	Marca: SPOTCHECK
Modelo de aplicación: Cumple con AMS 2644/ASME E165/ASME	Tiempo de revelado: 10 minutos
Secado: evaporación normal	

RESULTADOS

DESCRIPCION	CUMPLE	NO CUMPLE
Grietas : Para aceptar o rechazar un ensayo la soldadura en el ensayo de tintas penetrantes debe estar conforme a los requerimientos presentados en la Tabla 6.1 de la AWS D1.1, en donde cualquier grieta es inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación, se puede observar que la soldadura está libre de esta discontinuidad.	X	
Fusión del metal base / soldadura.	X	
Sección transversal del cráter: El cordón de soldadura varía a lo largo de su desarrollo, hay secciones con demasiado material de aporte y otros con falta de material de aporte que no cumplen con el tamaño necesario para cubrir todo el cráter.	X	
Perfil de soldadura: El perfil de soldadura se realizó de acuerdo a los criterios AWS D1.1: 2015	X	
5. Tiempo de Inspección: Después de 5 minutos de aplicado el revelador.	X	
6. Soldadura sub dimensionada: Existen sobre montas a lo largo del cordón de soldadura, los cuales no constituyen un defecto de rechazo de la junta, siendo inadecuado solamente desde el punto de vista estético. Así mismo el cordón de soldadura presenta salpicaduras que generalmente no tienen importancia respecto a la calidad de la soldadura y su formación se debe a presencia de humedad.	X	
Socavamiento: También se puede observar que presenta pequeños socavados siendo estos <1 mm por lo que no representan falla,	X	
Porosidad: En esta combinación de electrodos se puede observar pequeñas porosidades a simple vista y se hacen más visibles a través de la inspección con líquidos penetrantes, pero que no representan falla.	X	

SECUENCIA DE ENSAYO



LIQUIDOS PENETRANTES UTILIZADOS



LIMPIEZA



APLICACIÓN DEL PENETRANTE



LIQUIDO PENETRANTE APLICADO



APLICACIÓN DEL REVELADOR



INSPECCION DE LA SOLDADURA

CONCLUSIONES

El presente ensayo de los cordones de soldadura de la obra en mención consistente de 07 tijerales y 29 correas, aplicando ensayos no destructivos primeramente se realizó un ensayo visual y luego se evaluó con el método de líquidos penetrantes visibles, se realizó teniendo en consideración los requerimientos de la AWS D1.1 en donde cualquier grieta es inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación.

Del ensayo efectuado se observó que el cordón de la soldadura es constante sin interrupciones, con juntas contiguas, altura uniforme en el cordón, con apariencia limpia y sin grietas ni socavaciones laterales, no presenta escorificaciones ni poros en el cordón, la fusión de la soldadura es adecuada, el socavado es menor a 1 mm = aprueba.

Concluyéndose que a la fecha del ensayo no presentan discontinuidades relevantes según el análisis visual aplicando líquidos penetrantes.

CALIFICACION

Tomando como criterio de aceptación la norma ASTM E 165 para la inspección con líquidos penetrantes y las normas de aceptación deberán cumplir con la Sección 6, Parte C del código AWS D1.1:2015. La soldadura no presenta grietas que es el principal factor de rechazo presentado por los criterios de aceptación de la tabla 6.1 de la AWS D1.1. Así mismo el cordón presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades.

Los resultados muestran que la soldadura de la estructura metálica del proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno, cumple con los estándares de calidad establecidos en la normativa aplicada.

Calificación= Aprueba



DISCUSIÓN

- Considero, a través de este trabajo de titulación que recién se está sacando a la luz pública un tema que considero crítico en nuestra Región de Puno, como es el que no se estén realizando los debidos controles de calidad en las diferentes etapas de construcción con estructuras metálicas, las empresas metal mecánicas no aplican un plan de calidad para mejorar los procesos de producción que se realiza en cada trabajo metal mecánico (procedimientos estandarizados, métodos y controles a través de normas y códigos internacionales).
- Los principales códigos de calificación de soldadura utilizados en el Perú son los elaborados por la AWS (American Welding Society) y la ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- Para la presente investigación se realizó con dos tipos de técnica: la primera y más importante fue la observación directa de las probetas las mismas que se realizaron en la empresa LECONS GELD y la fabricación de la estructura metálica que se realizó a pie de obra para poder verificar el cumplimiento de los objetivos planteados como también el correcto desarrollo del proyecto y sobretodo la validez de los resultados obtenidos el momento de culminado éste; posteriormente se inspecciono con métodos de Ensayos No Destructivos propuestos para la comparación con la norma AWS D1.1 y comprobar los resultados obtenidos; siendo estos obtenidos el calificativo de aprobación.
- Haciendo un análisis de la necesidad de entender la importancia del uso de una normativa fue fundamental para poder producir estructuras con soldaduras de buena calidad, incrementando los conocimientos correspondientes. Por medio de



éste estudio, se obtuvo información valiosa que contribuye a la comprensión y aplicación adecuada del código AWS D1.1:2015.

- Para el correcto análisis de los ensayos se procedió a realizar la soldadura basada en principios dados por la AWS D1.1. Es importante mencionar que la soldadura fue realizada por mi persona, en razón a tener mi certificado de homologación de soldador 3G.
- Se determinó por medio de los ensayos presentados que la mejor combinación de electrodos en la soldadura para columnas de la estructura metálica es la presentada en la E-6011 con E-7018 con una resistencia a la tracción mayor a las demás combinaciones.
- Para la ejecución de un adecuado cordón de soldadura es importante mantener parámetros adecuados como las posiciones de soldadura descritas en la ejecución de los ensayos, además de un correcto amperaje que garantice una raíz de soldadura adecuada como un acabado adecuado de la misma.
- El control de calidad en uniones soldadas, evaluadas mediante inspección visual de acuerdo al código AWS D1.1, muestra una gran variación que llevan a falsas interpretaciones, en cuanto a que muchas de las discontinuidades, encontradas, después de su evaluación no constituyen defecto. Se evaluó el tipo y tamaño de discontinuidades, utilizándose de manera adecuada los instrumentos de medición y el uso correcto de la normativa para la evaluación de discontinuidades en uniones soldadas mediante la técnica de inspección visual.
- Se logró elaborar un procedimiento de inspección visual para la evaluación de discontinuidades en uniones soldadas en base al código AWS D1.1.



- Una vez realizado el ensayo no destructivo por el método de ensayo visual se procedió a realizar el ensayo con líquidos penetrantes de color rojo de la marca Spot Check, se ha desarrollado un formato para el manejo de la información obtenida, el mismo que incorpora las mejores características de los diversos tipos de formatos encontrados para una mejor comprensión de los resultados, en el que se establecen las especificaciones del proceso en general, como son la posición de soldeo, el tipo de material de aporte, los defectos hallados en las probetas y demás parámetros considerados como relevantes.
- Fue importante contar con un control adecuado de soldadura, en este caso se determinaron posibles fallos por medio de tintas penetrantes aplicados a la junta soldada en la estructura, donde se determinó si la junta es aceptable o no, por medio de la tabla 6.1 de la AWS D1.1.
- Es evidente que el manejo de normas y códigos, el estudio teórico y práctico de ensayos no destructivos, será un aporte más detallado y preciso en cuanto a la formación que la universidad otorga, por lo que este proyecto forma parte de un complemento importante en la formación profesional de los ingenieros metalurgista y personas que trabajan en la construcción de estructuras metálicas
- Finalmente, el presente trabajo de titulación permitió verificar el cumplimiento de los requisitos exigidos por las normativas vigentes para el control de calidad en estructura soldadas, este control de calidad se aplicó en la estructura soldada del proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno. Cabe recalcar que este control



de calidad estuvo regido a lo estipulado en la norma AWS D1.1:2015. Esta norma indica cual es el procedimiento que se debe realizar para llevar a cabo un control de calidad en soldadura en estructura metálica, y que tipos de END se deben realizar para verificar la sanidad de la soldadura.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Se demostró que con la aplicación y su estricto cumplimiento de los procedimientos de inspección visual y de líquidos penetrantes desarrollados según la norma AWS D1.1: 2015 secciones 2,5 y 6 representan un instrumento imprescindible que garantiza el control de calidad de una estructura metálica dentro de sus criterios de aceptación establecido en los formatos diseñados. Es así que la estructura metálica del proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno obtuvo el calificativo de aprobado.

SEGUNDA: Las probetas ensayadas cumplen con varios de los criterios de aceptación de la normativa AWS D1.1:2015, según la metodología de inspección, el cordón presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades, no presenta grietas que es el principal factor de rechazo presentado por los criterios de aceptación de la tabla 6.1 de la AWS D1.1:2015; en tal sentido la inspección visual por líquidos penetrantes en el espécimen evaluado aprueba ya que la soldadura es adecuada y no presenta discontinuidades relevantes. Así mismo el examen visual inicial fue de mucha importancia ya que evitó realizar ensayos innecesarios en la probeta, y por ende el ahorro de los consumibles.

TERCERA: La evaluación visual de la estructura metálica soldada en estudio dentro de los criterios de aceptación se obtuvo un calificativo de 53 puntos lo cual implica tomando como referencia la tabla N° 25 de rangos de aceptación; cumple con los criterios señalados es decir califica la estructura metálica soldada aplicando el ensayo visual enmarcado dentro de la normativa AWS D.1.1. 2015. Así mismo tomando como criterio de aceptación la norma ASTM E 165 para la inspección con líquidos penetrantes y las



normas de aceptación en la Sección 6, Parte C del código AWS D1.1:2015. La soldadura no presenta grietas, presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades obteniendo un calificativo de aprobado.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Para una adecuada fusión del cordón es necesario realizar una soldadura de raíz y una soldadura de acabado, para asegurar la unión de la columna que se encuentra conformada en tramos de 2.44 metros y verificar el tipo de unión que recomienda la AWS D1.1 según el espesor del material.

SEGUNDA: Para entregar estructuras seguras y de calidad, es necesario contar con procedimientos de soldadura, soldadores calificados y efectuar el control de calidad, por lo que es necesario conocer los tipos de conexiones soldadas, los principales procesos de soldadura de montaje, los tipos de juntas, posiciones de soldadura, términos geométricos de las juntas de soldadura y se profundiza en el proceso de soldadura con electrodo revestido (SMAW) que es el comúnmente utilizado en nuestro medio.

TERCERA: El control de las estructuras debe de estar presente desde el inicio del diseño, pasando por la elección de los materiales más adecuados y la previsión de los procesos de fabricación de las obras metal mecánicas, hasta las pruebas de carga y las comprobaciones periódicas

CUARTA: El cumplimiento de los requisitos de las normas es obligatorio cuando tales normas están referidas o especificadas en las jurisdicciones gubernamentales, o cuando estas están incluidas en contratos u otros documentos de compra; si los códigos o acuerdos contractuales contienen secciones o apéndices no obligatorios, el empleo de las guías o prácticas recomendadas, quedan a la discreción del usuario y el cumplimiento de las prácticas recomendadas o las guías presentadas en este trabajo es opcional.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C. y Horna, P. (2017). *Calidad superficial de uniones soldadas evaluadas mediante inspección visual de acuerdo al código AWS D1.1*. Tesis Universidad Nacional de Trujillo-Perú. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Metalúrgica.
- American Society for Testing and Materials ASTM E-1316 (2019). *Standard Terminology for Nondestructive Examinations*.
- American Society for Testing and Materials, ASTM E-165 (2012). *Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry*.
- American Society of Mechanical Engineers (2015). *Section V. ASME Boiler and Pressure Vessel Code*. New York-USA.
- American Welding Society, AWS D1.1. (2015). *Structural Welding Code-Steel*, Miami.
- Araque, O. (2015). *Caracterización de discontinuidades típicas en soldadura, utilizando la técnica de ultrasonido pulso Eco-Scan A*. *Scientia Et Technica*. disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84946834004>> ISSN 0122-1701
- Arcos, O. (2011). *Ensayo de tintas penetrantes fluorescentes y su incidencia en el control de calidad de las juntas soldadas en aceros al carbono*. Tesis Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ecuador.
- Áreatecnología (2013). *Área Tecnología*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/estructuras/estructuras-metalicas.html>
- AWS B1.11:2000. (2000). *Guide for the visual examination of welds and American National Standard*. Miami: American Welding Society.



- AWS D1.1. (2015). *Código de soldadura estructural (23 ed.)*. Miami, Florida, Estados Unidos de América: AWS.
- AWS QC1:2007. (2007). *Norma para la certificación de inspectores de soldadura AWS*. Miami: American Welding Society.
- Barrera, L. y Coronel, M. (2011). *Desarrollo y procedimientos para la utilización de técnicas de ensayos no destructivos con ultrasonido para inspección de tuberías*. Universidad Pontificia Bolivariana Facultad De Ingeniería Electrónica, Bucaramanga.
- Becerra, D. (2018) *Implementación de un plan de calidad para obras metal mecánicas en la empresa CYP ICE SAC*, Huancayo.
- Carrión, F., M. G. Lomelí, M., Quintana, J. & Martínez M. (2002). *La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes*. Secretaria De Comunicaciones Y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte, Publicación Técnica N° 231 Sanfandila.
- Cedeño, C., Solórzano, J. & Vergara, E. (2015). *Análisis de los cordones de soldadura de la estructura metálica del centro de investigaciones de ciencias agropecuarias de la Universidad Técnica de Manabí*. Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Manabí, Ecuador.
- Cely, M., Sotomayor, V., Monar, W. & Castro, P. (2018). *Identificación de Defectos en Soldadura de Acero Estructural ASTM A36 mediante Ensayos No Destructivos según el Código AWS D1.1*. Revista PUCE.



- Chambi, E. (2013). *Aplicación de los ensayos no destructivos para el control de calidad de tolvas para volquetas*. Tesis Universidad Nacional del Altiplano-Puno Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.
- Construmática (2014). *Construmática*. Obtenido de http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras_Met%C3%A1licas
- Garcimartín, M. (2002). *La soldadura en estructuras metálicas de edificación*, 1- 2-4-6. Obtenido de: <http://www.cvr.etsia.upm.es/Soldadura%20en%20Estructuras%20Met%20E1licas.pdf>
- Lincoln Electric. (2010). *Guía del soldador*.
- Mamani, J. (2014). *Control de calidad mediante el procedimiento de inspección con ensayos no destructivos visual y líquidos penetrantes en uniones soldadas para soportes zaranda seca Ludowici 2010-10*. Tesis Universidad Nacional de San Agustín-Arequipa. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.
- Merzthal, J. (2013). *La capacitación como instrumento de marketing para la generación de valor en las empresas industriales en el Perú*. Lima: Tesis Doctoral.
- Minilo, C. (2007). *Inspectores de Soldadura AWS QC1:2007 Chile*. Chile: INCHISOL.
- Niebles, E., Unfried, J. & Torres, J. (2014). *Metodología para el Estudio de Soldabilidad en Uniones Soldadas*.
- Ramón, M. (2015) *Inspección y control de calidad en conexiones soldadas de miembros estructurales de acero del edificio Torre Piamonte*. Tesis Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones-Cuenca- Ecuador.



- Rodríguez, O. (2014). *Defectos y controles de uniones soldadas en soldadura manual*. La Habana: Editorial Universitaria.
- Telenchana, J. (2013). *Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas*. UTA Ambato.
- Urbans, P. (2010). *Construcción de Estructuras Metálicas*. San Vicente (Alicante): Club Universitario cuarta edición.
- Villacres, C. (2007). *Soldadura, operadores y soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al Código AWS D1.1 para aceros estructurales*. Guayaquil, Ecuador: UNIVERSO.
- Zacarías, F. (2013) *Cálculo del espesor mínimo requerido en equipos sujetos a presión en una planta de cracking catalítico fluidizado (Fcc-1)*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma De México Facultad De Estudios Superiores Zaragoza, México.
- Zambrano, J. (2015) *Elaboración de una guía de inspección de soldadura y calificación de soldadores aplicado a las Normas ASME BPVC y API 1104*. Tesis Escuela Politécnica Nacional-Facultad de Ingeniería Mecánica-Quito Ecuador.



ANEXOS


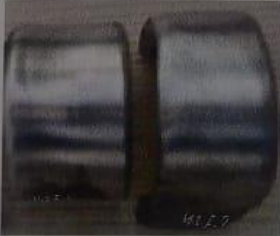
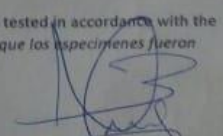



Anexo 1. Código de soldadura estructural




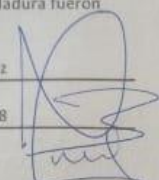



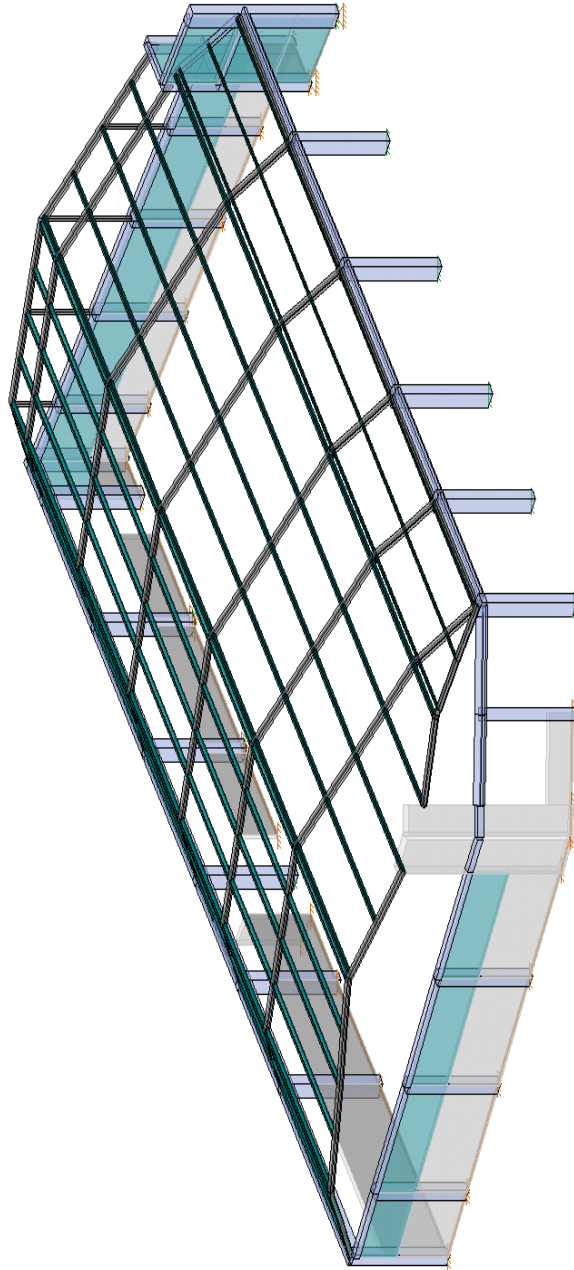
Anexo 2. Hoja de prueba de doblez para calificación de homologación.

	TESTING SHEET/HOJA DE PRUEBA MECHANICAL TEST/PRUEBA MECANICA				FORM 03						
	GUIDE-BEND TESTS/ENSAYO DE DOBLES GUIADO				Issued/Publicado	2016					
					Page/Page	1 of 1					
				Done/Hecho	DR						
TECHNICAL REPORT / INFORME TÉCNICO WELDER PERFORMANCE QUALIFICATION TEST / ENSAYO PARA CALIFICACION DE SOLDADOR											
REPORT - REPORTE No. :	Cisold /WPQ/DG 335										
WELDER - SOLDADOR :	ALANOCA VARGAS, RICAR DAVID										
ID - IDENTIFICACION No. :	73520888										
TEST CONDUCTED BY / PRUEBA CONDUCTIDA POR :	Tec. Julio Comena (Instructor de Proceso SMAW)										
SUPERVISED BY - SUPERVISADO POR :	Ing. Freddy Matos										
DATE OF TEST - FECHA DE ENSAYO :	OCTUBRE 26, 2018										
BASE MATERIAL SPECIFICATION - ESPECIFICACION DE MATERIAL BASE :	ASTM A36										
PLUNGER DIAMETER USED - DIAM. DE PUNSON USADO EN LA PRUEBA :	1 1/2"										
LABORATORY - LUGAR DE PRUEBA :	Taller CISold										
No. DE MUESTRAS (No. of SPECIMENS)	TRANSVERSE FACE BEND - DOBLES DE CARA TRANSVERSAL					1					
	TRANSVERSE ROOT BEND - DOBLES DE RAIZ TRANSVERSAL					1					
	TRANSVERSE SIDE BEND - DOBLES DE LADO TRANSVERSAL					NA					
SPECIMEN SIZES - DIMENSIONES DE ESPECIMENES						RESULTS - RESULTADO					
Nº	NOMB. MUESTRA SPECIMEN NAME	TIPO - TYPE	ANCHO	WIDTH	ESPESOR THICKNESS	LONGITUD LENGTH	RESULTADOS RESULTS	DISCONTINUIDADES DISCONTINUITIES			
1	W2- F 1	CARA/FACE	1 1/2"		3/8"	8"	Pass/Aceptado				
2	W-2 F 2	CARA/FACE	1 1/2"		3/8"	8"	Pass/Aceptado				
3											
4											
PHOTOGRAPHIC REPORT- INFORME FOTOGRÁFICO											
											
REMARKS - OBSERVACIONES											
<table border="1" style="width: 100%; height: 40px;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>											
<p>We certify that the statements in this record are correct and that the test specimens were prepared and tested in accordance with the requirements of AWS D1.1 - <i>Certificamos que las declaraciones escritas en este registro son correctos y que los especímenes fueron preparados y ensayados de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.1</i></p>											
						 Freddy Matos Rodriguez CWI 19042191 QC1 EXP. 4/1/2021					
											



Anexo 3: Registro de homologación de soldador 3G

 REGISTRO DE PRUEBA DE CALIFICACION DE SOLDADOR <i>Según Código Estructural AWS D1.1/2015</i>		WPS No. 001	
		PAGINA	1 de 1
		REVISION	0
		EDITADO	2015
Nombre	ALANOCA VARGAS, RICAR DAVID		
Identificación No	DNI: 73520888		
Stampa	RDAV-88		
Compañía	Para compañía que fabrique según AWS D1.1		
División	-		
FOTOGRAFIA		Fecha de prueba	OCTUBRE 26, 2018
		Registro No.	WPQ:335
		Std. de Prueba No	-
		WPS No.	Cisold/SMAW/001
		Calificado para	AWS D1.1
Materiales Base	Especificación	Tipo o Grado	AWS Group No
Materia Base	ASTM A36		1
Soldado a	ASTM A36		1
		Medida(NPS)	--
		Schedule	--
		Espesor	3/8"
		Diametro	--
VARIABLES		VALORES ACTUALES	
Tipo de Junta		Plancha-Ranura (Fig 3.3) sin respaldo	
Material Base		Grupo 1 a Grupo 1	
		RANGO CALIFICADO	
		Bisel: P.H.V. Con/Sin Respaldo - Filete: P.H.V. - T.Y.K. Ranura PJP	
		Cualquier metal base Calificado según AWS D1.1	
	Ranura	Filete	Ranura
Espeor de Platina	3/8"	-	1/8" hasta 3/4"
Espeor de Tuberia/Tubo	-	-	1/8" hasta 3/4"
Diametro de Tubo	-	-	Minimo 24" de Diametro
			Filete
			1/8" minimo
			ilimitado
			ilimitado
Procedimiento de soldadura		SMAW	
Tipo (Manual, Semiautomatico)		Manual	
Respaldo		Sin	
Metal de Aporte (Especif. AWS)		A5.1	
Clasificación AWS		E6011 / E7018	
Número F		F3 / F4	
Posición		3G	
Ranura		Plano, Horizontal, Vertical	
Ranura - Tubo <24"		-	
Filete		Plano, Horizontal, Vertical	
Filete - Tubo ≥ 24"		-	
Progresión		-	
Modo de transferencia GMAW		-	
Electrodo Simple o Multiple		Multiple	
Tipo de Gas/Flujo		-	
TEST RESULTS			
Tipo de Prueba		Criterio Aceptación	Resultado
Examinación Visual para 4.9.1		4.9.1	Aceptado
			Observaciones
			Indicaciones No Relevantes
CERTIFICACION			
Prueba Conducida por:			
Laboratorio	Cisold SAC		
Número de Prueba	Cisold /WPQ/DG 335 (Ensayo de Dobles Guiado)		
Archivo No.	Cisold SAC 335 /WPQ		
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctos y que la prueba de soldadura fueron preparados, soldados y aprobados de conformidad con la Cláusula 4 del Código AWS D1.1 del 2015.			
Frabricador o Contratista	Para compañía que fabrique según AWS D1.1	Autorizado por	Ing. Freddy Matos Rodriguez
		Fecha	26/10/2018
			
		 Freddy Matos Rodriguez CWI 15042191	



VISTA ISOMETRICA: Proyecto fabricación y montaje de tijerales tubulares metálicos e instalación de correas metálicas con perfiles de tubería rectangular en cerco perimétrico, para el “mejoramiento y ampliación del espacio recreativo familiar en la localidad de Huacullani - Provincia de Chucuito - Región Puno.

UNA- PUNO	EPIM	DIBUJADO POR: Richar Alanoca V.	FECHA: 10-06- 2019	MATERIAL: ASTM A-36	EJECUTOR: LECONS SAG
--------------	------	---	------------------------------	-------------------------------	-----------------------------