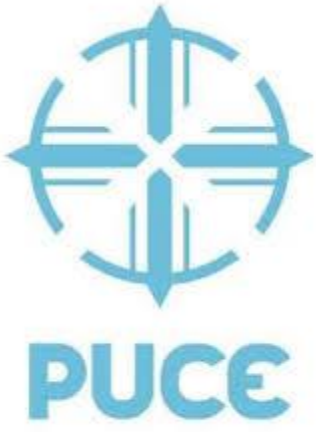
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL



DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL

"PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DE PUENTES DE ESTRUCTURA METÁLICA"

NOMBRES:

VÍCTOR DARÍO ANDRADE QUINCHA

LUIS ALEJANDRO FERNÁNDEZ GARRIDO

DIRECTOR:

ING. MAURICIO CELY

QUITO, 2019

DEDICATORIA

A mí madre, por su sacrificio y esfuerzo por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, ya que a pesar de los momentos difíciles siempre me ha brindado su comprensión, apoyo y amor

A mi hermana, Verónica y su familia, por su presencia permanente, apoyo en cada etapa de mi vida y por sus consejos

A Alfonso y Janeth por considerarme un hijo más, a María José, Daniel y Gabriel a quienes considero mis hermanos desde siempre, que han compartido conmigo alegrías y tristezas durante toda mi vida y en estos años de universidad estuvieron a mi lado alentándome.

A Estela por su ayuda, cariño, apoyo y enseñanzas durante toda mi vida.

A Daniela, el amor de mi vida, por su amor, por ser un apoyo incondicional, por siempre ser una motivación.

Víctor Darío Andrade

AGRADECIMIENTOS

A Dios por toda su guía y bendiciones en mi vida.

Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional en mi carrera universitaria y mi vida, por ser un pilar en la realización de este logro.

A mi director y profesor, Ing. Mauricio Cely por su guía y apoyo en el desarrollo de la presente disertación. De igual forma a mis lectores Ing. Oscar Jaramillo y Ing. Patricio Castro por su aporte y revisión al presente trabajo.

A mis profesores, por brindarme los conocimientos necesarios y sus consejos para la realización del presente trabajo de disertación.

A Adelita por sus velitas y por siempre recibirme en su casa con cariño.

A Ruth, Emilio y Emilia por ayuda y apoyo.

Finalmente, a mis amigos por su amistad sincera durante todos estos años.

Víctor Darío Andrade

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen María por siempre guiarme por el mejor camino y darme la sabiduría, a mis padres por siempre apoyarme y estuvieron presentes a cada momento, a mi hermana por sus consejos y apoyo, a mis maestros que compartieron sus conocimientos y ahora rinde frutos, a mis compañeros con los que compartí esta etapa de estudios.

Luis Fernández

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la Virgen María por no dejarme nunca, a mis padres que siempre me supieron guiar a tomar las mejores decisiones, a mi hermana por nunca dejar de creen en mí, a todos mis maestros por enseñarme sus conocimientos y a mis compañeros por compartir momentos de estudio y alegrías.

Luis Fernández

CONTENIDO

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES 1
1.1. Introducción 1
1.2. Justificación 2
1.3. Alcance 3
1.4. Planteamiento del problema 3
1.5. Objetivos 4
1.5.1. Objetivo general 4
1.5.2. Objetivos específicos 4
1.6. Antecedentes 4
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 5
2.1. Definición de un puente 5
2.2. Elementos de un puente 5
2.1. Clasificación de un puente 7
3. CAPÍTULO III: CÓDIGOS Y NORMAS DE REFERENCIA 10
3.1. AISC-360 10
3.1.1. Evaluación de estructuras existentes según Anexo 5 10
3.1.2. Propiedades de los materiales 11
3.1.3. Capítulo N del cogido AISC 360 13
3.2. AWS D1.1 14
3.2.1. Examen Visual. 14
3.3. NEC-SE-AC 15
3.4. ASME V 16
3.5. AWS D1.5. 18
4. CAPÍTULO IV: DEFECTOLOGÍAS DE LAS SOLDADURAS 21
4.1. Fisuras 21

4.2. Falta de penetración 23
4.3. Falta de fusión 24
4.4. Socavación o mordeduras 25
4.5. Solapado 25
4.7. Inclusiones 26
4.8. Porosidades 26
4.9. Desalineamiento 28
4.10. Quemón 28
4.11. Salpicaduras 28
4.12. Corte de arco o arranque de arco 28
5. CAPÍTULO V: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS 29
5.1.1. Procedimiento 30
5.2. Pruebas de líquidos penetrantes 34
5.2.1. Tipos de líquidos penetrantes 34
5.2.2. Clasificación según el tipo de revelador 35
5.2.3. Procedimiento 36
5.3. Prueba de Ultrasonido 38
5.3.1. Procedimiento 38
5.4. Pruebas radiográficas 45
5.4.1. Técnicas de exposición 46
5.4.2. Procedimiento 50
5.5. Prueba de partículas magnéticas 52
5.5.1. Procedimiento 53
6. CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN 54
6.1. Geometría de las probetas 58
7. CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS 62

7.1. Inspecciones superficiales 62
7.1.1. Inspección Visual 62
7.1.2. Inspección por Líquidos Penetrantes 69
7.2. Inspecciones volumétricas 74
7.2.1. Inspección por ultrasonido 74
8. CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 78
8.1. Conclusiones 78
8.2. Recomendaciones 79
9. BIBLIOGRAFÍA 81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Elementos de un puente 6
Tabla 2: Clasificación de un puente 7
Tabla 3: Criterios de aceptación de junta a tensión 42
Tabla 4: Criterios de aceptación de junta a compresión 42
Tabla 5: Inspección visual para soldaduras en puentes 55
Tabla 6: Informe de líquidos penetrantes para soldaduras en puentes 56
Tabla 7: Informe de inspección por ultrasonido para soldaduras en puentes 57
Tabla 8: Dimensiones de probetas 58
Tabla 9: Criterios de aceptación para inspecciones superficiales 62
Tabla 10: Informe de inspección visual 67
Tabla 11: Informe Líquidos penetrantes 73
Tabla 12: Informe inspección por ultrasonido 77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Elementos de un puente 5
Ilustración 2:Tipos de fisura 22
Ilustración 3: Fisuras de cráter 23
Ilustración 4: Falta de penetración 23
Ilustración 5: Falta de fusión 24
Ilustración 6: Socavación o Mordeduras 25
Ilustración 7: Solapado 25
Ilustración 8: Inclusiones de escoria 26
Ilustración 9: Poros alineados en la superficie 27
Ilustración 10: Poros distribuidos 27
Ilustración 11: Poros agrupados 27

Ilustración 12: Poros vermiculares 27
Ilustración 13:Flujograma inspección visual 33
Ilustración 14: Flujograma inspección mediante líquidos penetrantes 37
Ilustración 15: Tipos de juntas 38
Ilustración 16: Tipos de ranura 39
Ilustración 17: Propagación de onda del palpador de ensayo de ultrasonido 39
Ilustración 18: Calibración del ángulo de incidencia 40
Ilustración 19: Zona de barrido o movimiento del palpador 40
Ilustración 20: Identificación de fallas 41
Ilustración 23:Flujograma inspección mediante líquidos penetrantes 44
Ilustración 24: Técnica de pared simple 47
Ilustración 25: Técnica vista única 48
Ilustración 26: Técnica de doble visión. 49
Ilustración 27: Probeta 1 para END 59
Ilustración 28: Probeta 2 para END 59
Ilustración 29: Probeta 3 para END 60
Ilustración 30: Ranura en V con ángulo de 60 grados 61
Ilustración 31:Relleno de soldadura 61
Ilustración 33: Probeta 1 para Inspección Visual 65
Ilustración 34: Probeta 2 para END 65
Ilustración 35: Probeta 3 para END 66
Ilustración 36:Fallas de soldadura probeta 1 68
Ilustración 37:Fallas de soldadura probeta 2 68
Ilustración 38:Fallas de soldadura probeta 3 68
Ilustración 39: Aplicación del limpiador 69
Ilustración 40: Aplicación de tinta penetrante 70

Ilustración 41: Retiro de exceso de tinta penetrante 70
Ilustración 42: Aplicación del revelador 71
Ilustración 43: Fallas de soldadura con liquidas penetrantes probetas 1 71
Ilustración 44: Fallas de soldadura con líquidos penetrantes probeta 2 72
Ilustración 45:Fallas de soldadura con líquidos penetrantes probeta 3 72
Ilustración 46: Inclusiones de escoria 74
Ilustración 47:Falta de fusión 75
Ilustración 48:Porosidades 75
Ilustración 49: Grietas longitudinales 76
Ilustración 50: Discontinuidades en la soldadura identificadas por la máquina de ultrasonido 76

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

El término puente se utiliza para describir no solo una estructura vial de una carretera o línea de ferrocarril, también permite describir cualquier tipo de estructura que permita dar continuidad, venciendo obstáculos como: ríos, quebradas, hondonadas, canales, otras vías, estrechos de mar, entre otros (Jurado Cabañes, 2013).

La red vial del Ecuador es fundamental para la productividad que se basa en principios de equidad, equivalencia, excelencia, sostenibilidad ambiental y competitividad, que permite cumplir con el plan de desarrollo y principios del Buen Vivir (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

La infraestructura vial en el Ecuador ha tenido un desarrollo impensado, a elevados costos; con el tiempo esta infraestructura ha presentado fallas debido a la poca inspección y mantenimiento lo que puede llevar a un colapso repentino de la estructura. Es por eso que propone una metodología de inspección que servirá como una medida preventiva de fallas o colapso en puentes de estructura metálica.

En el Ecuador se pueden encontrar en sus diferentes localidades puentes de estructura metálica con afectaciones de diferentes dimensiones que fueron desarrollados por varios factores como: calidad de los materiales de construcción, eventos sísmicos, procesos de construcción, condiciones desfavorables de operación, condiciones ambientales adversas, etc.

Con la ayuda de esta propuesta de metodología de inspección se podrá dar paso a una prevención de los elementos que componen la estructura del puente, de forma que cuando la estructura presente alguna anomalía, esta sea corregida y reparada a tiempo antes de que genere fallas de mayor magnitud que afecten a toda la estructura del puente (Barreno & Martínez, 2016).

Un puente de estructura metálica se construye en un tiempo menor que un puente de hormigón o estructura mixta debido a que el hormigón debe estar fraguado; posee diferentes ventajas al momento de construcción, inspección y mantenimiento por la razón de que es más ligero y su proceso de mantenimiento y reparación se realizará en un menor tiempo (Barreno & Martínez, 2016).

En los últimos años el rápido avance de construcción de obras de infraestructura vial, falta de recursos, han generado descuidos en puentes afectando el nivel de servicio y vida útil de la estructura.

La Norma vial ecuatoriana (NEVI-2012), (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013), es la encargada de la regulación de procesos constructivos, y varias especificaciones para construcción y mantenimiento. En esta norma no existe una guía o metodología de inspección y/o evaluación a puentes de estructura metálica que abarque diferentes parámetros para el cuidado y prevención de colapsos de la estructura por falta de evaluación (Barreno & Martínez, 2016).

Por esta razón se desarrollará una "Propuesta de una Metodología de Inspección Funcional y Estructural para Puentes de Estructura Metálica" con el fin de que un profesional o personal capacitado pueda realizar una inspección en puentes de estructura metálica y pueda determinar de forma cualitativa ya cuantitativa que tan afectada esta la estructura, y posteriormente recomiende el tipo de mantenimiento a realizar al puente para prevenir el colapso.

1.2. Justificación

La inspección tanto de la superestructura como de la infraestructura de un puente ayuda a detectar las deficiencias existentes; se la realiza para brindar seguridad y para posteriormente dar un correcto mantenimiento.

Las ventajas de la construcción con acero, convierten a este tipo de estructuras en la solución adecuada para puentes de caminos y carreteras. Factores como la velocidad de construcción, facilidad de transporte, adaptabilidad a cambios de diseño, entre otros.

Sin embargo, existen características inherentes a este tipo de estructuras que se deben considerar al momento de diseñarlas. Los retos que enfrentan los ingenieros estructurales al diseñar un puente de acero empiezan desde la correcta selección del tipo de material a ser usado en el puente y pasan por aspectos como el control de las deflexiones en las vigas durante la construcción, o el control de una posible falla prematura por fatiga cuando el puente está en servicio. En el presente trabajo se abordará las inspecciones necesarias a ser efectuadas para preservar la calidad y seguridad de la estructura, durante su vida útil.

Esta propuesta de una metodología de inspección se basará en la norma NEC-SE-AC, 2015 y en el código de diseño de estructuras de acero AISC-360 (American Institute of Steel Construction) donde indica que el fiscalizador debe garantizar un plan de calidad, este plan de garantía se rige a los códigos AWS D1.1 y AWS D1.3 (Structural Welding Code Steel) según la aplicación requerida.

La presente tesis aportará con una propuesta de una metodología de inspección en puentes de estructura metálica mediante ensayos superficiales, subsuperficiales y volumétricos, presentadas como tablas donde los fiscalizadores puedan guiarse para la determinación de discontinuidades de un puente de estructura metálica.

1.3. Alcance

El presente trabajo consiste en proponer una metodología de inspección de puentes de estructura metálica contemplando los diferentes tipos de inspecciones las que dependen de las afectaciones que tenga el puente de estructura metálica, con las cuales se desarrollara una guía; con la que el personal encargado del mantenimiento y supervisión, pueda seguir un proceso ordenado de sus actividades y determinaran diferentes parámetros para reparación o mantenimiento preventivo para evitar el colapso.

1.4. Planteamiento del problema

Para la conservación de un puente perteneciente a una red de infraestructura, debe existir una planificación de tareas; generalmente es necesario contar con sistemas de inspección que posibiliten organizar un inventario de elementos y sus reconocimientos periódicos que permitan por tanto conocer el estado de la estructura (ACHE, 2016).

Las inspecciones son necesarias por las deficiencias o defectos que puede presentar la estructura frente a varios factores como las sobrecargas, colisiones, ambiente, fenómenos naturales, incremento de tráfico, condiciones adversas de operación y por falta de mantenimiento. Se debe tener un plan o estrategia de mantenimiento del puente de estructura metálica que sea continua, por la razón que el acero de la estructura está expuesta a condiciones ambientales que pueden deteriorar el funcionamiento del mismo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Proponer una metodología de inspección funcional y estructural para puentes de estructura metálica.

1.5.2. Objetivos específicos

- Estudiar tipos de inspecciones y mantenimientos que se realizan en puentes de estructura metálica.
- Ensayar probetas metálicas que cumplan los criterios de las normas nacionales e internacionales.
- Elaboración de un formato para realizar informes después de cada inspección de puentes de estructura metálica.

1.6. Antecedentes

A medida que avanzan los años y la tecnología, se han desarrollado diferentes técnicas de investigación para poder realizar una correcta inspección de soldaduras donde se determinara daños o afectaciones en la estructura, su análisis y como realizar un correcto mantenimiento de estas, esto se puede ver evidenciado en códigos y normativas como NEC-SE-AC, 2015 y AISC-360 (American Institute of Steel Construction).

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se definirá que es un puente, los elementos estructurales y no estructurales pertenecientes a un puente y los diferentes tipos de puentes que existen en la actualidad.

2.1. Definición de un puente

Un puente es aquella estructura que se utiliza con el fin de conectar dos diferentes zonas de tal manera que sin esta estructura el tránsito entre estos dos puntos sea compleja o inaccesible.

Al pasar el tiempo el diseño e ingeniería de los puentes han cambiado de gran manera como en materiales y métodos de construcción existiendo puentes tan complejos por todas las complicaciones que estos podían traer dependiendo del proyecto o simplemente decorativos.

La construcción de un puente tiene como objetivo la unión entre dos puntos con difícil acceso geográfico, en ciertos casos, para reducir el tiempo de traslado de personas, productos, bienes y servicios. Por lo cual es una estructura de gran importancia para el desarrollo de la sociedad mejorando la calidad de vida de las personas, contribuyendo al crecimiento económico.

2.2. Elementos de un puente

Es aquel elemento que pertenece a un puente contribuyendo a la conformación del mismo.

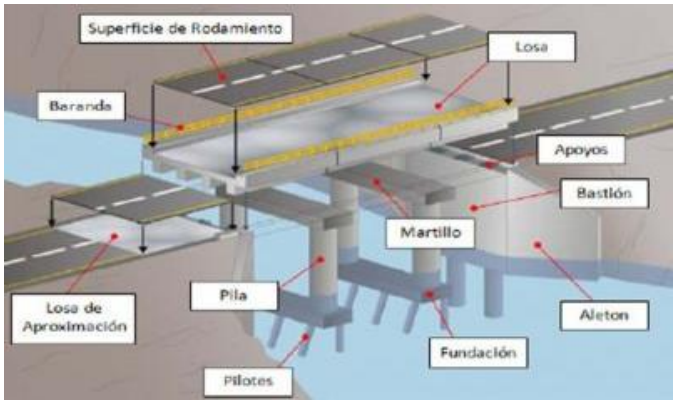


Ilustración 1: Elementos de un puente

Fuente: (Partesdel.com, 2017)

Tabla 1: Elementos de un puente

Tramo	Porción del puente en la que se sostienen las pilastras o los bastiones.
Ménsula	Es un recurso arquitectónico de aspecto tradicional en el cual se descarga el sobrepeso de las pilas y de los bastiones.
Bastión	Sirve de apoyo para el tramo en la subestructura.
Asiento	Forma parte del bastión en el cual el tramo descansa, también está ubicado en los extremos de los tramos diferentes de las pilas.
Ripio o relleno	Es sostenido por los estribos y es un sustituto de materiales removidos como la arena, la tierra y las rocas; también sirve de reforzamiento para la resistencia de las pilastras y los bastiones.
Luz de los bastiones	Es la distancia media que existe entre los bastiones consecutivos y las paredes internas de pilas.
Losa de acceso	Superficie de rodamiento en la cual la ménsula se apoya.
Tablero	Esta es la base superior del rodaje que se utiliza para repartir la carga a largueros y a vigas en momentos específicos. La estructura del tablero puede estar elaborada para servir de base a una vía férrea, a un canal de riego o a un canal de navegación, en estos dos últimos casos se le llamaría puente canal y también a una tubería, en el cual su nombre sería puente tubo.
Contraventeo	Este es un sistema que proporciona rigidez a la estructura del puente.
Apoyos	Los apoyos son ensamblajes y placas que son diseñados específicamente para repartir, transmitir y recibir las reacciones de la estructura del puente. Algunos tipos de apoyos son los balancines y los rondines.
Viga transversal	Es una armadura de conexión que se localiza entre las vigas principales. Una de ellas son las vigas de celosía.
Arriostrados laterales	Sirven para conectar a las armaduras y proporcionarles rigidez.
Otras secciones diversas	Las juntas de expansión, los goznes, las placas de unión, los marcos rígidos, la superficie de rodamiento y las vigas de distintas categorías.

Cabeza de un puente	Es una fortificación armada que sirve de protección al extremo de un puente que se encuentra cercano a una posición enemiga.
Pretil	El pretil es un murete de seguridad que se elabora en los puentes para impedir caídas o para establecer límites en una zona de tránsito.
Barandilla	También llamada baranda, es una clase de parapeto que está conformado por balaustres y se utiliza como un elemento de protección.

Fuente: (Partesdel.com, 2017)

2.1. Clasificación de un puente

Los puentes se pueden clasificar según su material, geometría, tipo de construcción y funcionalidad.

Tabla 2: Clasificación de un puente

Puentes colgantes	Tipo de puente con estructuras colgantes, ligeras, flexibles, con cables de hierro o cables de acero galvanizado, de formas cilíndricas.
Puentes de cuerdas	Son puentes colgantes denominados pasarelas que anteceden a los actuales, aunque aún se utilizan en zonas impenetrables o de difícil acceso. Hechos con estructuras de fibras naturales, bambú, lianas, o cuero entorchadas en forma de espirales para soportar peso.
Puentes de arco	También llamado puente romano. Son puentes fuertes con fuerzas en sentido vertical de acero, vigas, y hormigón en forma de arco que perduran a través del tiempo.

Puentes voladizos	Generalmente se llama cantiléver o ménsula. Son puentes con formas romboidales y arcos con fuerzas en diagonal, largos, de acero, hormigón o metal.
Puentes de vigas	Conocido como de pilón contrapeso. Donde la fuerza radica en el pilón estructural siendo el soporte del puente, a través de grupos de cables en tensión.
Puentes atirantados	Se les denomina puentes arpas. Son puentes con pilones centrales que soportan cables múltiples, son artísticos y muy costosos.
Puentes pontones	Denominados puentes flotantes con materiales como hierro y el acero son de difícil estabilidad, sostenidos por cables.
Puentes de madera	El puente de madera es la fácil construcción, sencillos, de poca duración, suele ser más costosa o económica su elaboración por la madera dependiendo de la zona, está prohibido en algunos países por la destrucción de los árboles.
Puentes de mampostería	Bien conocidos como los puentes de piedra, hormigón o ladrillo, se trabajan por compresión, con forma de arco, cúpula o bóveda. Necesitan mano de obra forzada para el trabajo y movilización de piedras pesadas, son de construcción costosas y han desaparecido siendo sustituidos por hormigón que simula piedras.
Puentes metálicos	Son puentes con vigas metálicas, resistentes, muy evolucionados, seguros, que requieren de mantenimiento, de altos costos.
Puentes de hormigón armado	Es la unión del hormigón con el acero. Son puentes de altos costos, su construcción se basa en encofrados arqueados.
Puentes de hormigón presforzado	Son los que cuentan con más tecnología que el hormigón armado, lo sustituyo en peso y trabajo, es más liviano, de mejor estructura y soportes de vigas.

Puentes mixtos	Construidos con uniones de hormigón, losa de hormigón, acero y conectores metálicos, a través de compresión, son resistentes, ligeros y seguros.

Fuente: (ClasificaciónDe, 2019)

3. CAPÍTULO III: CÓDIGOS Y NORMAS DE REFERENCIA

En el presente capítulo se tratará de los códigos y normas de referencia para realizar inspecciones y ensayos no destructivos (END), en elementos de estructura metálica, en este caso aplicado a puentes de estructura metálica.

3.1. AISC-360

El control de calidad especificado en el código AISC-360 deberá ser adquirido directamente con el fabricante, también serán certificados por otros cuando la autoridad competente lo disponga. Para realizar ensayos no destructivos (END), el personal debe ser certificado por agencias responsables con asegurar la calidad del personal y la calidad de los ensayos.

La norma AISC-360 hace referencia al personal de inspección del control de calidad de la soldadura

El capítulo N del código AISC-360 contempla que pueden existir casos en donde es recomendable realizar inspecciones adicionales.

El personal de inspección de soldaduras mencionado en el AISC-360 deberá cumplir con los requisitos siguientes:

- Inspectores de soldaduras deben cumplir lo establecido en AWS B5.1.
- Calificación del personal siguiendo las disposiciones de la normativa AWS D1.1/D1.1M clausula 6.1.4. (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

3.1.1. Evaluación de estructuras existentes según Anexo 5

Este anexo evalúa la resistencia y la rigidez de estructuras existentes que se encuentran bajo el efecto de cargas estáticas mediante un análisis estructural, realizando ensayos de carga o por medio de una combinación de análisis estructural cuando sea especificado. Para la evaluación, los grados de acero van más allá de los especificados en la sección A3.1. “Este Anexo no trata ensayos de carga para los efectos de cargas sísmicas o cargas en movimiento (vibraciones)” (American Institute of Steel Construction,, 2010).

El presente anexo contiene lo siguiente:

3.1.2. Propiedades de los materiales

- **Determinación de los Ensayos Requeridos**

La persona a cargo de la obra es la encargada de determinar los ensayos requeridos y de especificar los lugares en los que se los va a realizar, basándose en la Sección 5.2.2 a la 5.2.6. Se puede disminuir o incluso eliminar la necesidad de ensayos, siempre y cuando se encuentren disponibles los registros de proyecto aplicables (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

- **Propiedades de Tracción**

Deben ser consideradas las propiedades a tracción en la evaluación mediante análisis estructural y en la evaluación mediante ensayos de carga. “Tales propiedades deben incluir la tensión de fluencia, resistencia a la tracción y la elongación porcentual.” (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010). Para este propósito pueden ser usadas especificaciones de American Institute of Steel Construction 16.1-290, si están disponibles, informes del fabricante o ensayos de laboratorio certificados que cumplan con las normas ASTM A6/A6M o A568/A568M, según sea el caso. Caso contrario se deben realizar ensayos a tracción de acuerdo a la normativa ASTM A370 con las muestras obtenidas de los componentes de la estructura (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

- **Composición Química**

“Cuando es necesario usar soldadura para reparar o modificar estructuras existentes, debe determinarse la composición química del acero para usarse en la preparación de una especificación de procedimiento de soldadura.” (American Institute of Steel Construction,, 2010).

Pueden usarse ensayos sugeridos por el fabricante, así mismos informes certificados de laboratorios que cumplan con lo especificado en los procedimientos ASTM, de no ser de esta forma los ensayos deberán realizarse siguiendo las especificaciones propuestas por la norma ASTM 751, usando las mismas muestras que fueron usadas para determinar las propiedades de tracción (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

- **Tenacidad del Metal Base**

Si se cuenta con empalmes de tracción que sean soldados en secciones pesadas y placas, estos son considerados como críticos para el desempeño de la estructura, por lo que la tenacidad deberá ser determinada mediante "un ensaye de muesca en V de Charpy de acuerdo con las disposiciones de la Sección A3.1d." (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010). Sí al determinar la tenacidad, no cumple con lo especificado en la sección A3.1d, la persona a cargo de la obra deberá decidir si se deben aplicar acciones de corrección.

- **Metal de Soldadura**

Si se cuenta con empalmes de tracción que sean soldados en secciones pesadas y placas, estos son considerados como críticos para el desempeño de la estructura, por lo que la tenacidad deberá ser determinada mediante "un ensaye de muesca en V de Charpy (Pruebas de impacto) de acuerdo con las disposiciones de la Sección A3.1d" (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010). Sí al determinar la tenacidad, no cumple con lo especificado en la sección A3.1d, la persona a cargo de la obra deberá decidir si se deben aplicar acciones de corrección.

- **Pernos y Remaches**

"Deben inspeccionarse muestras representativas de pernos para determinar marcas y clasificaciones" (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010)

Si los pernos no son identificados de manera visual, se debe determinar la resistencia a tracción mediante muestras que cumplan con los requisitos de ASTM F606/F606M y de esta manera poder realizar la clasificación del perno. Otra manera, es mediante la suposición de que los pernos ASTM A307. Para los remaches se presuma que son ASTM A502, Grado 1 (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

3.1.3. Capítulo N del cogido AISC 360

Para este estudio solo son analizados los subcapítulos N4 y N6, que tratan personal de inspección y ensayos no destructivos y requisitos mínimos para la inspección en construcciones compuestas, respectivamente.

- **Personal de inspección y ensayos no destructivos**

"Este subcapítulo primero trata sobre la calificación de los inspectores de control de calidad (QC) los cuales deben satisfacer el programa de control de calidad del fabricante o del instalador y de acuerdo con alguno de estos puntos:

- Debe ser un inspector de soldaduras asociado (AWI) o mayor según se define en AWS B5.1, Standard for the Qualification of Welding Inspectors
- Calificación bajo las disposiciones de AWS D1.1/D1.1M sub-clausula 6.1.4. (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

También se habla acerca de la certificación que debe poseer el inspector de aseguramiento de calidad (QA), el cual deberá satisfacer al menos uno de los siguientes requerimientos:

- Ser inspectores de soldado (WI) o inspectores de soldado experimentados (SWI), según se define en Standard for Qualification of Welding Inspectors (AWS B5.1), excepto cuando están permitidos inspectores de soldado asociados (AWI) que deberán estar bajo la directa supervisión de WI, quien deben estar disponibles cuando la inspección de la soldadura está siendo realizada
- Calificación bajo las disposiciones de AWS D1.1/D1.1M cláusula 6.1.4" (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010).

  Por último, se habla acerca del personal que se encargara de los ensayos no destructivos, los cuales son distintos de los visuales "que deberán ser calificados de acuerdo con las practicas escritas de sus empleadores:

- Deben igualar o exceder el criterio de AWS D1.1/D1.1M Structural Welding Code – Steel cláusula 6.14.6.
- Personnel Qualification and Certification Nondestructive Testing (ASNT SNT-TC1A).

- Standard for the qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel (ANSI/ASNT CP - 189).” (American Institute of Steel Construction (AISC), 2010)

3.2. AWS D1.1

Es el código de soldadura estructural. El capítulo 6 trata sobre la inspección de las soldaduras donde se indica que cuando se requieran END, además de la inspección visual, el procedimiento a emplearse y los ensayos en cada caso.

La presente norma no muestra cómo se deben realizar las inspecciones y los ensayos. Por otra parte, indica todos los requerimientos que debe tener el personal de inspección y el personal encargado de los END.

3.2.1. Examen Visual.

Los Inspectores y los Asistentes deberán haber aprobado un examen visual con o sin lentes de corrección para probar:

- La agudeza de la visión cercana del Snellen English, o equivalente, a no menos que 12 pulgadas (300 mm).
- La agudeza de la visión lejana de 20/40, o mejor.

El examen visual del personal de inspección se requerirá cada 3 años o menos, si fuera necesario demostrar idoneidad.

Cuando se especifique un END, que no sea la inspección visual especificada en la información proporcionada a los clientes, deberá ser la responsabilidad del Contratista la que asegure que todas las soldaduras especificadas deberán cumplir con los requerimientos de calidad de la Sección 6, Parte C, cualquiera que sea aplicable.

- **Ensayos no destructivos No Especificados**

Si un END es solicitado posteriormente por parte del propietario. El contratista deberá realizar todas las pruebas solicitadas. Todos los costos de estos ensayos no especificados serán responsabilidad del propietario de la obra. Sin embargo, si las pruebas rebelan

problemas existentes en la estructura o una no conformidad con lo estipulado por el código, el trabajo de reparación correrá por cuenta del contratista.

3.3. NEC-SE-AC

La normativa ecuatoriana NEC-SE-AC en el capítulo 10 describe que cuando se requiera un plan de control de calidad que incluyen trabajos de inspección que deben ser realizados por el contratista para verificar que el material, proceso, y mano de obra cumplan con los requisitos establecidos de calidad (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

El personal para los END e inspecciones de soldadura, deberán ser calificados para poder realizar este tipo de tareas, garantizando los roles de control de calidad, es decir deben cumplir con los niveles necesarios de capacitación y entrenamiento, la experiencia adecuada y la destreza para realizar el trabajo y garantizar la calidad de la obra ejecutada.

El personal debe cumplir con los requisitos de ser inspectores de soldadura y técnicos de ensayos no destructivos, ya que en soldadura y END si existen guías estándar para calificaciones y certificaciones de dicho personal. La empresa responsable de la obra a ejecutarse debe tener un protocolo para poder determinar la idoneidad de la calificación del personal de inspección.

Los estándares que debe cumplir del personal de inspección y encargado de realizar ensayos están presentes en el Plan de Garantía de Calidad (PGC) y pueden ser utilizados también como parte del control de calidad del contratista (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

Para la inspección visual de soldaduras el personal utilizará el método básico para confirmar que los procedimientos, materiales, y mano de obra hayan sido aprobados y certificados antes de que comience el proyecto (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

La NEC-SE-AC define tres tipos de END para verificar la calidad de la soldadura que como requisitos debe ser solicitadas a cargas de tracción como parte del Sistema de cargas sísmicas, o para controlar que los elementos no presenten discontinuidades que puedan derivar en fallas (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

- **Ensayo de ultrasonido (UT):** este ensayo se realiza para localizar discontinuidades de gran magnitud que se encuentran en la soldadura es decir en la ranura de soldadura de todas las uniones soldadas. La NEC-SE-AC habla que el ensayo de ultrasonido no es factible realizarlo en soldaduras de tipo filete ya que no es confiable realizarlo para detectar discontinuidades que sean de tipo críticas que se encuentren cerca de la superficie de la soldadura.

- **Ensayo de partículas magnéticas:** este ensayo se realiza para localizar discontinuidades cerca de la superficie de soldadura en todo tipo de soldadura, y debe ser usada en cualquier tipo de inspección de uniones soldadas críticas de tipo filete y tipo ranura.

- **Ensayo de tintas penetrantes:** La NEC-SE-AC no recomienda realizar este ensayo para inspecciones generales de soldaduras. Este ensayo puede ser aplicado

  para la localización de ciertas fisuras en puntos específicos como pueden ser soldaduras en agujeros de acceso, y en la zona "k" de perfiles soldados (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

3.4. ASME V

La normativa ASME V es un código que contiene métodos y requisitos para END, estos métodos y requisitos que se hablan en esta norma tienen como fin localizar imperfecciones internas, imperfecciones en superficies de materiales, soldaduras y elementos prefabricados.

Los END que contempla la norma ASME son aplicables a la mayor parte de configuraciones geométricas y materiales existentes, sin embargo, diferentes condiciones especiales requieren cierto tipo de técnicas y métodos más especiales superiores a los requisitos especificados por la normativa ASME.

Para la inspección el inspector deberá verificar que todos los exámenes requeridos se hayan realizado de acuerdo con los requisitos dispuestos en la normativa ASME V. esta normativa habla que la persona encargada de la inspección debe ser certificada es decir debe ser un inspector autorizado. El papel del inspector es realizar el control de calidad de las funciones realizadas por el personal.

En la norma ASME se describen los ensayos que se deben realizar los cuales son:

- **Examen Radiográfico:** El presente ensayo se utiliza para evaluar piezas de fundición, materiales y juntas. El ensayo de radiografía se realizará utilizando la película radiográfica industrial. La normativa ASME describe las técnicas para realizar estos ensayos las cuales son: Técnica de una pared que consiste en emitir la radiación a través de una sola pared de la soldadura o material ensayado y Técnica de doble pared que la radiación es emitida por dos paredes y solo la soldadura en la pared del lado de la película par la aceptación de la radiografía (Giraldo Giraldo Jaime Antonio, 2007).

- **Pruebas de ultrasonido:** La norma ASME V habla que el ensayo de ultrasonido sirve para soldaduras, partes, componentes, materiales y para determinar espesores de elementos utilizados. Este ensayo se lo realiza con un instrumento de tipo ultrasónico de pulso-eco que genera una frecuencia de 1 MHz a 5 MHz, también se pueden utilizar equipos de igual o menor sensibilidad especificando cuando se realice el ensayo. Se especifica en la norma ASME V los ensayos ultrasónicos utilizados son: Haz angular y Haz recto, el Haz recto se utiliza para explorar el metal base adyacente y debe ser realizado para detectar reflectores que afecten los resultados del ensayo Haz angular. El ensayo Haz angular se lo realiza dirigido con ángulos rectos respecto al eje de la soldadura. El equipo debe ser utilizado de manera que la energía ultrasónica pase a través del volumen de soldadura requerido y metal base adyacente.

- **Prueba por líquidos penetrantes:** Este ensayo es un método efectivo para localizar discontinuidades que están abiertas a la superficie de metales no porosos y otros materiales. Las discontinuidades más comunes que puede detectar este método son: grietas, costuras, solapes, pliegues fríos, laminaciones y porosidades. El procedimiento para realizar este ensayo es aplicar los líquidos en la superficie a ser evaluada, el líquido ingresa en las discontinuidades, luego el líquido en exceso es retirado y se aplica un revelador que funciona como un secante para poder extraer el líquido penetrado en las discontinuidades.

- **Prueba por partículas magnéticas:** La ASME V indica que la examinación por partículas magnéticas es utilizada para localizar grietas en las superficies de los materiales de características ferromagnéticas. Cuando tiene una mayor sensibilidad cuando existen discontinuidades superficiales y disminuye la sensibilidad cuando la profundidad de la discontinuidad es mayor. Las discontinuidades más comunes que se detectan en este ensayo son: grietas, solapes, costuras, cold shuts y laminaciones. Este método consiste en magnetizar el área a examinar y luego aplicar partículas ferromagnéticas a la superficie. "El patrón de partículas se forma sobre la superficie donde el campo magnético esforzado a salir de la pieza y sobre las discontinuidades para causar un campo de fuga que atrae las partículas. Los patrones de partículas son por lo general característicos del tipo de discontinuidad que es detectada" (ASME V, 2010).

- **Inspección visual:** para realizar este END se necesita que el personal esté capacitado y encargado de asignar el personal para realizar el examen visual. El personal debe realizarse una prueba de visión anual para poder asegurar la agudeza visual de distancia corta normal o corregida de tal forma que el personal sea capaz de leer letras estándar J-1 en las tablas de tipo prueba visual Jaeger. El examen visual se utiliza para determinar la condición de la superficie de los elementos, alineaciones de superficies, evidencias de fuga. En la norma ASME V existen los siguientes tipos de exámenes visuales: Examen visual directo, Examen visual remoto y Examen visual translucido (ASME V, 2010).

3.5. AWS D1.5.

La norma AWS D1.5 es una normativa que habla específicamente de puentes, es un código de soldadura de puentes. En el capítulo 6 de la norma AWS D1.5 habla de las inspecciones a realizarse en puentes. Esta normativa habla de que el contratista debe ser el responsable de realizar las inspecciones durante el montaje de la estructura y después del montaje, también de la inspección de la soldadura durante su ejecución y luego de su ejecución. Para esto la AWS D1.5 define los siguientes tipos de inspecciones: Inspección de materiales, Inspección de la calificación WPS y equipamiento, Inspección de soldador y operadores de suelda e Inspecciones de trabajo.

Para realizar las inspecciones, los END definidos por la AWS D1.5 son los siguientes, además de la inspección visual se nombran pruebas de radiografías, pruebas de ultrasonido de las que interesan para realizar inspecciones en puentes de estructura metálica.

Para evaluar las soldaduras en los elementos principales se deberá someter a la soldadura a pruebas de control de calidad con END, a menos que se diga lo contrario. Cuando la soldadura sea EGW (soldadura de electro gas) y ESW (soldadura por electro escoria), necesariamente de deben realizar los ensayos de radiografía y ensayo de ultrasonido.

Se realizarán los END de radiografía y de ultrasonido en soldaduras cuando se cumplan con los siguientes requisitos:

- El cien por ciento de la articulación sometida a tensión o inversión de tensión, excepto en juntas soldadas a tope de forma vertical en vigas como se indica a continuación:

  - 1/6 de la profundidad de la banda que comienza en el punto máxima de tensión
  - Se debe probar el veinte y cinco por ciento del resto de la profundidad de la banda.
  - Si se encuentran fallas o discontinuidades que no sean permitidas en las dos opciones anteriores.

- Veinte y cinco por ciento de las juntas sometidas a compresión o corte, o se deja a criterio del contratista.

- Los requisitos de END de radiografía y ensayos de ultrasonido se aplicarán en soldaduras de taller y soldaduras realizadas en campo.

Los ensayos definidos en esta norma son los siguientes:

- **Ensayos de radiografía:** los ensayos de radiografía se realizarán usando una solo fuente de radiación X o Gamma y la sensibilidad del ensayo se medirá en función de la imagen IQI (Indicador de Calidad de Imagen). Las técnicas y el equipo utilizado en este ensayo

deberán proporcionar la sensibilidad requerida para poder identificar los indicadores de calidad de imagen como son los orificios esenciales o los tamaños de alambre.

- **Ensayos de ultrasonido:** se aplican los ensayos de ultrasonido a soldaduras de ranura y haz entre espesores de 8 milímetros y 200 milímetros. este ensayo no se lo podrá realizar en metales básicos, sin embargo, las fallas o discontinuidades que se relacionan con la soldadura en el metal no serían aceptables; las fallas en el metal base pueden ser de tipo: agrietamiento, desgarro laminar y delaminaciones.

4. CAPÍTULO IV: DEFECTOLOGÍAS DE LAS SOLDADURAS

La defectología habla de discontinuidades. Una discontinuidad es una interrupción cualquiera en una estructura uniforme, en este caso la soldadura, por lo tanto, cualquier irregularidad en la soldadura será considerada una discontinuidad.

Las concentraciones de esfuerzos en las soldaduras están ubicadas en las discontinuidades por lo cual existen límites hasta las cuales estas son permitidas.

La norma AWS D1.5 especifica mediante criterios de aceptación y rechazo cuando las discontinuidades serán consideradas como defectos (Espinoza, 2019).

4.1. Fisuras

La fisura al aplicar un esfuerzo tiende a propagarse ya que sus extremos son muy agudos, por lo tanto, la fisura es considerada la discontinuidad más crítica.

Cuando se aplica una carga a un componente y esta excede la resistencia a tracción, comienza la aparición de fisuras. La tensión puede surgir durante el proceso de soldadura, inmediatamente después del proceso, o mediante la aplicación de cargas, la presencia de un concentrador de tensiones puede causar que las tensiones localizadas en la zona de unión de elementos (soldadura) excedan la resistencia a la rotura del material, en este caso la fisura ocurre en la zona de concentración de tensiones.

Las fisuras según su temperatura pueden ser en frio o en caliente las cuales ayudan a determinar porque apareció de fisura (Santos Villacres, 2012).

- **Fisura en caliente:** estas aparecen cuando el material de hace solido a temperaturas elevadas, estas fisuras se propagan de manera intergular (aparecen entre granos). Se puede identificar las fisuras en caliente al observar varios colores en las caras de la fractura (Santos Villacres, 2012).

- **Fisuras en frio:** estas aparecen mucho después de que el material se solidifico, este tipo de fisuras aparecen cuando existe hidrogeno atrapado dentro de la soldadura o por las condiciones de servicio. Cuando existe la presencia de hidrogeno dentro de la soldadura,

no son detectables por inspecciones visuales o métodos superficiales (Santos Villacres, 2012).

- **Fisuras longitudinales:** se producen en el centro del cordón por movimientos durante la soldadura, por tensiones transversales de contracción o por condiciones asociadas a las cargas de servicio, también pueden ocurrir en la interacción del material de aporte y material base por causa de enfriamiento rápido o falta de precalentamiento en grandes espesores (Santos Villacres, 2012).

- **Fisuras transversales:** las tensiones longitudinales de contracción de soldadura provocan fisuras transversales, las cuales actúan en las soldaduras o en metal base de poca ductilidad, esta fisura se propaga a través del metal base en la zona afectada por el calor y la soldadura. Estas fisuras aparecen en sentido perpendicular al eje del cordón de soldadura (SOLDARGEN, 2019).

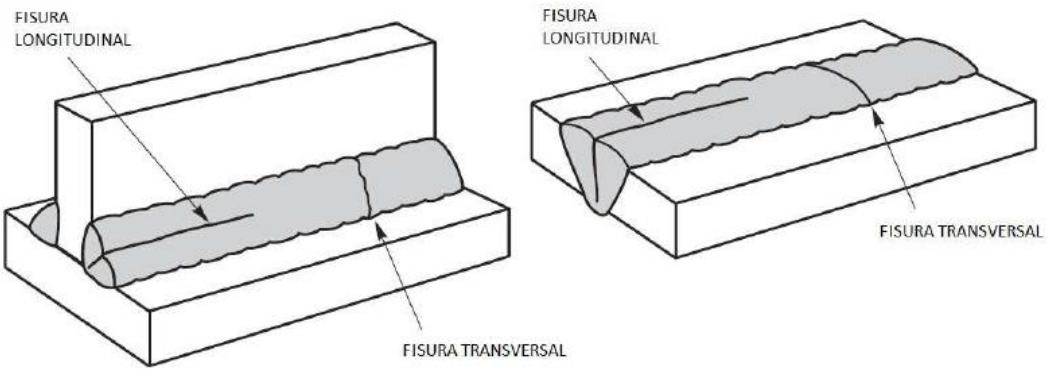


Ilustración 2:Tipos de fisura

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

- **Fisura de cráter:** estas aparecen donde termina el cordón de la soldadura. Si la técnica usada por el soldador para terminar el arco no se llena completamente de pileta liquida,

se crea un área más fina la cual combinada con las tensiones de la contracción de la soldadura causan fisuras de cráter (SOLDARGEN, 2019).

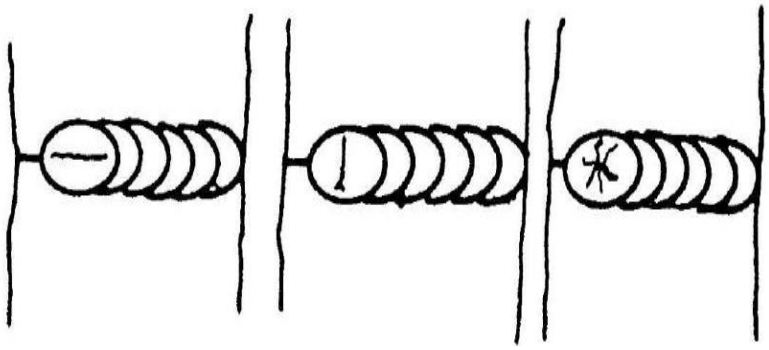


Ilustración 3: Fisuras de cráter

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

4.2. Falta de penetración

En la unión de la cara posterior del bisel y la raíz. La mayoría de las veces la raíz de la soldadura no se rellena totalmente con el metal, por lo cual se pueden observar espacios vacíos. Es decir, esta falla aparece cuando existe un canto de raíz al descubierto. (Murillo Sigero, 2010)

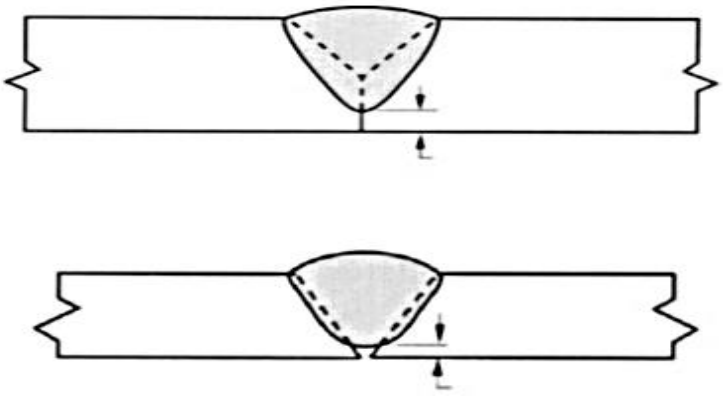


Ilustración 4: Falta de penetración

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

4.3. Falta de fusión

Es aquella imperfección superficial entre el metal de soldadura y el material base que está abierto a la superficie. (Murillo Sigero, 2010).

Una de sus principales causas es la manipulación inapropiada del electrodo, dependiendo el proceso existe una mayor probabilidad de presentar esta discontinuidad (Santos Villacres, 2012).

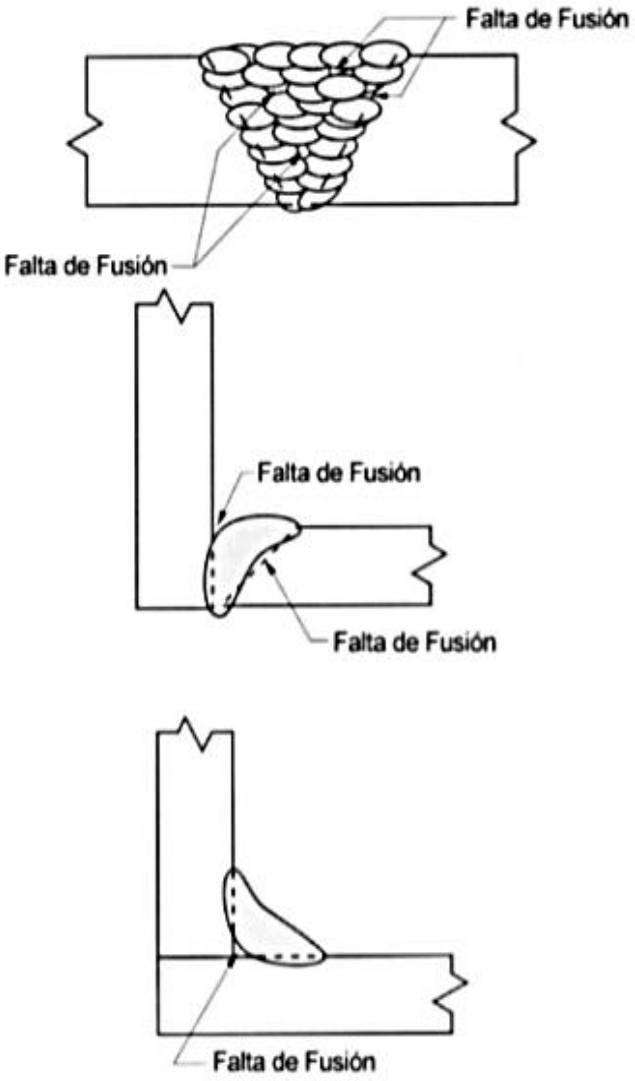


Ilustración 5: Falta de fusión

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

4.4. Socavación o mordeduras

Es aquella discontinuidad superficial que sucede entre el metal base junto a la soldadura, se produce por la fusión del metal base en el proceso de soldadura y por el poco aporte de material para llenar las depresiones existentes. Es decir que existe la presencia de un canal donde no existe material de relleno. (Murillo Sigero, 2010).

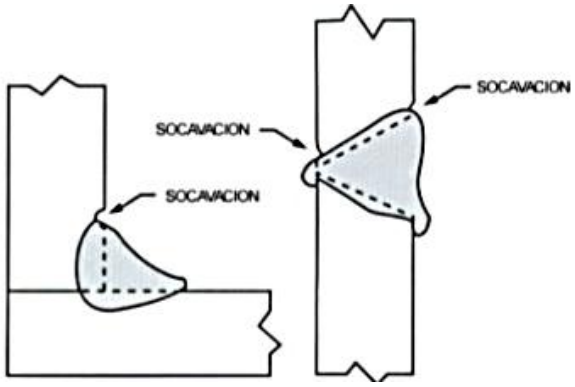


Ilustración 6: Socavación o Mordeduras

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

4.5. Solapado

Es una discontinuidad superficial que se presenta debido a que existe excesivo metal de soldadura el cual cubre la superficie del metal base adyacente, por lo general causado por una lenta velocidad de pasada por parte del soldador.

Algunos materiales de soldadura son demasiado fluidos por lo que son propensos a esta falla (Santos Villacres, 2012).

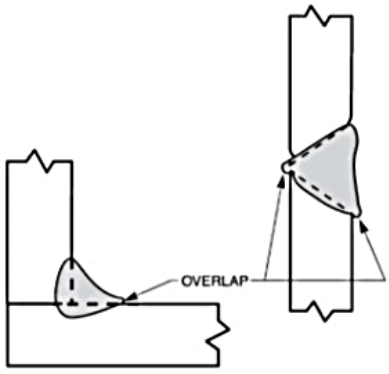


Ilustración 7: Solapado

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

4.7. Inclusiones

La inclusión existe cuando un material solido extraño se encuentra atrapado en la soldadura (Santos Villacres, 2012).

Por ejemplo:

- Escoria
- Fundente
- Tungsteno
- Oxido

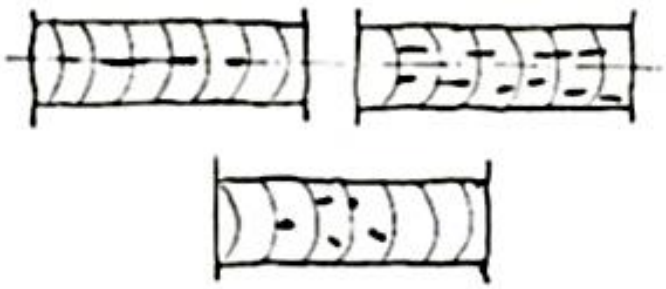


Ilustración 8: Inclusiones de escoria

Fuente: (Santos Villacres, 2012)

4.8. Porosidades

Es aquella discontinuidad que forma espacios vacíos atrapados en el proceso de soldadura, es provocado por gases, contaminantes o humedad que se descomponen debido a la presencia de calor. La porosidad genera una zona de debilidad en la soldadura (Santos Villacres, 2012).

Existen distintos tipos de porosidad los cuales son los siguientes:

- Poros aislados
- Poros distribuidos
- Poros agrupados
- Poros alineados
- Poros vermiculares

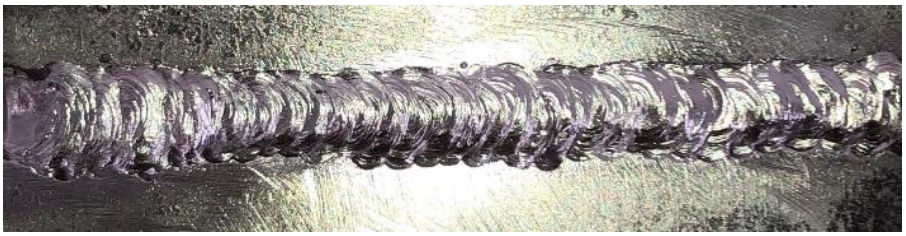


Ilustración 9: Poros alineados en la superficie

Fuente: Elaboración Propia

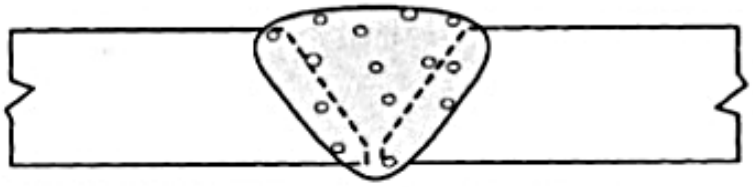


Ilustración 10: Poros distribuidos

Fuente: (Santos Villacres, 2012).

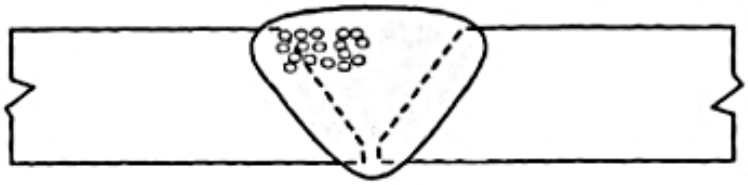


Ilustración 11: Poros agrupados

Fuente: (Santos Villacres, 2012).

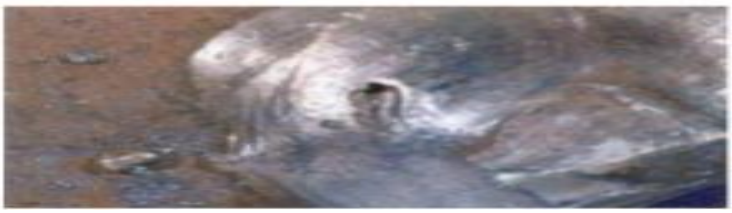


Ilustración 12: Poros vermiculares

Fuente: (Santos Villacres, 2012).

4.9. Desalineamiento

Esta falla ocurre cuando las placas de soldadura no se encuentran alineadas correctamente a pesar de que la soldadura este bien realizada, la transferencia de esfuerzos no serán los calculados causando una zona propensa a tener esfuerzos de corte (Santos Villacres, 2012).

4.10. Quemón

Es aquella penetración excesiva, la cual causa que el material de aporte penetre dentro de la soldadura. Cuando existe un quemón en el momento de soldar espesores delgados suele existir una perforación.

Es provocada por un calor excesivo en un área determinada debido a una velocidad lenta de pasada, manejo incorrecto del electrodo y una excesiva corriente (Santos Villacres, 2012).

4.11. Salpicaduras

Cuando una partícula del metal de aporte se adhiere al material base en el proceso de soldadura, se considera una salpicadura.

Esta discontinuidad provoca irregularidad en la superficie, las cuales pueden generar corrosión por tensión y pueden ocultar discontinuidades en inspecciones mediante métodos no destructivos. (ASNT NDT, 2018)

4.12. Corte de arco o arranque de arco

Ocurre generalmente cuando el arco es iniciado sobre la superficie del material base fuera de la junta de soldadura esto genera un área fundida y enfriada rápidamente por perdida de calor. Provocando así una zona de fisuras, las cuales pueden producir una rotura. (ASNT NDT, 2018)

5. CAPÍTULO V: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los END según la AWS D1.5 (Bridge Welding Code – Steel) se realizarán de acuerdo con lo descrito en la norma: American Society for Nondestructive testing (ASNT), los END especificados para estructuras de acero según la NEC-SE-AC y los END especificados en la normativa de soldaduras AWS D1.1. Los ensayos a realizarse en este presente trabajo están descritos de la siguiente manera.

5.1. Ensayos visuales

El presente ensayo se realiza en toda la secuencia de operaciones a lo largo de todo el proceso productivo, desde la recepción de los materiales que tiene como fin asegurar la calidad de las uniones soldadas. La inspección visual es uno de los END más empleados al momento de realizar las inspecciones correspondientes y es capaz de detectar hasta el 80 % de las fallas en elementos estructurales. Para este END se puede dividir en inspecciones directas e indirectas.

La inspección directa es aquella que para detectar fallas o discontinuidades superficiales hace uso de herramientas ópticas como telescopios, microscopios, endoscopios, periscopios, proyectores ópticos, comparadores, o dispositivos de procesamiento de imágenes en tiempo real (Carrion Viramontes, Lomeli Gonzales, Quintana Rodriguez, & Martinez Madrid, 2003).

Las inspecciones indirectas se realiza un análisis posterior mediante fotografías, videograbaciones, para poder detectar fallas en los elementos.

En las inspecciones visuales es muy común ciertas herramientas para la detección de fallas, estas de dividen en:

- **Fuentes de luz:** El uso, manejo de la luz y configuración del contraste con el fondo del elemento puede hacer visibles fallas que a simple vista son difíciles de detectar (Carrion Viramontes, Lomeli Gonzales, Quintana Rodriguez, & Martinez Madrid, 2003).

- **Magnificadores de imagen:** Son herramientas ópticas que se utilizan para poder ampliar la zona de inspección. Para el uso de esta herramienta se utilizan microscopios que incrementan la imagen entre 10X y 200X o lupas que incrementan la imagen en 5X y 10X (Carrion Viramontes, Lomeli Gonzales, Quintana Rodriguez, & Martinez Madrid, 2003).

- **Endoscopio:** esta herramienta se utiliza cuando no se puede realizar una inspección directa en el elemento. Esta herramienta hace uso de telescopios, drones, robots que se pueden controlar a distancia según la zona a la que se desee acceder (Carrion Viramontes, Lomeli Gonzales, Quintana Rodriguez, & Martinez Madrid, 2003).

- **Sensores de imagen**: son herramientas que se utilizan para documentar las inspecciones como puede ser el uso de cámaras fotográficas o cámaras de video. La finalidad del uso de estas herramientas es procesar las imágenes para identificar fallas existentes (Carrion Viramontes, Lomeli Gonzales, Quintana Rodriguez, & Martinez Madrid, 2003).

  El ensayo de inspección visual se utiliza solo para evaluar el elemento de manera superficial, siempre y cuando primero se limpie la superficie a inspeccionar. Dependiendo de la zona se deberá utilizar métodos donde se puedan alcanzar las zonas inaccesibles, este ensayo depende de la agudeza visual de la persona encargada de inspeccionar el elemento, es decir depende de factores humanos o de la percepción del ojo humano. En este ensayo, la detección de fallas es muy pequeña en comparación con otros métodos de inspección.

5.1.1. Procedimiento

En el caso de la inspección visual se tomará en cuenta la tabla 6.1 del código AWS D1.1 en donde se indican los parámetros y criterios de aceptación de una inspección visual. En el caso de que la inspección visual no cumpla con los parámetros y criterios de aceptación no se podrá continuar con la inspección y realizar los demás ensayos hasta que se corrija las fallas detectadas y cumpla con los criterios de aceptación de la inspección visual.

Los criterios de aceptación del ensayo de inspección visual para soldaduras están expuestos de la siguiente manera:

- Las soldaduras no deben presentar roturas o grietas.

- Entre el material de soldadura y los elementos a soldarse debe existir una fusión completa.

- Todos los cráteres deben llenarse hasta la sección transversal completa de la soldadura, excepto los extremos de las soldaduras de filete intermitentes fuera de su longitud efectiva cuando tales soldaduras estén permitidas en el diseño.

- En los miembros primarios, el corte no debe tener una profundidad superior a 0,25 mm cuando la soldadura es transversal a la tensión de tracción en cualquier condición de carga de diseño. El corte no debe tener una profundidad de más de 1 mm en todos los demás casos.

- La frecuencia de la porosidad de la tubería en la superficie de las soldaduras de filete no debe exceder de 1 en 100 mm o seis en 1200 mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo no debe exceder de 2,4 mm.

  - Se debe realizar una inspección subsuperficial de la porosidad cuando la porosidad de la tubería de 2.4 mm o más de diámetro se extienda a la superficie a intervalos de 300 mm o menos sobre una distancia de 1200 mm, o cuando la condición de los electrodos, el flujo, el metal base o la presencia de grietas en la soldadura indica que puede haber un problema con la tubería o la porosidad bruta.
  - Esta inspección subsuperficial debe ser una inspección visual de longitudes expuestas de 300 mm [12 pulg.] De la garganta de soldadura de filete después de haber sido triturada o eliminada por medio de ranuras de arco de carbono a una profundidad de 1/2 de la garganta de diseño.

- Cuando se ve en la parte media de la soldadura, la suma de los diámetros de toda la porosidad no debe exceder de 10 mm. En cualquier longitud de soldadura de 25 mm o 20 mm en cualquier longitud de soldadura de 300 mm.

- Una soldadura de filete en cualquier soldadura continua única puede superar el tamaño nominal de soldadura de filete especificado por 2 mm sin corrección, siempre que la porción de tamaño inferior de la soldadura no exceda el 10 por ciento de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de banda a brida en vigas, se debe prohibir el empotramiento en los extremos por una longitud igual a dos veces el ancho de la brida.

- La soldadura de ranura de junta de penetración completa CJP en juntas a tope transversales a la dirección de la tensión de tracción calculada no tendrán porosidad de la tubería. Para todas las demás soldaduras de ranura, la frecuencia de la porosidad de la tubería no debe exceder de una en 100 mm de longitud, y el diámetro máximo no debe exceder de 2.4 mm.

- Una inspección superficial puede realizarse inmediatamente después de haberse enfriado la soldadura. Los criterios de aceptación para los aceros M270M (M270) grados 690 / 690W (100 / 100W) (A 709M [A 709] grados 690 / 690W [100 / 100W]) se deben basar en una inspección visual realizada no menos de 48 horas después de completar el soldar (AWS D1.5, 2002).

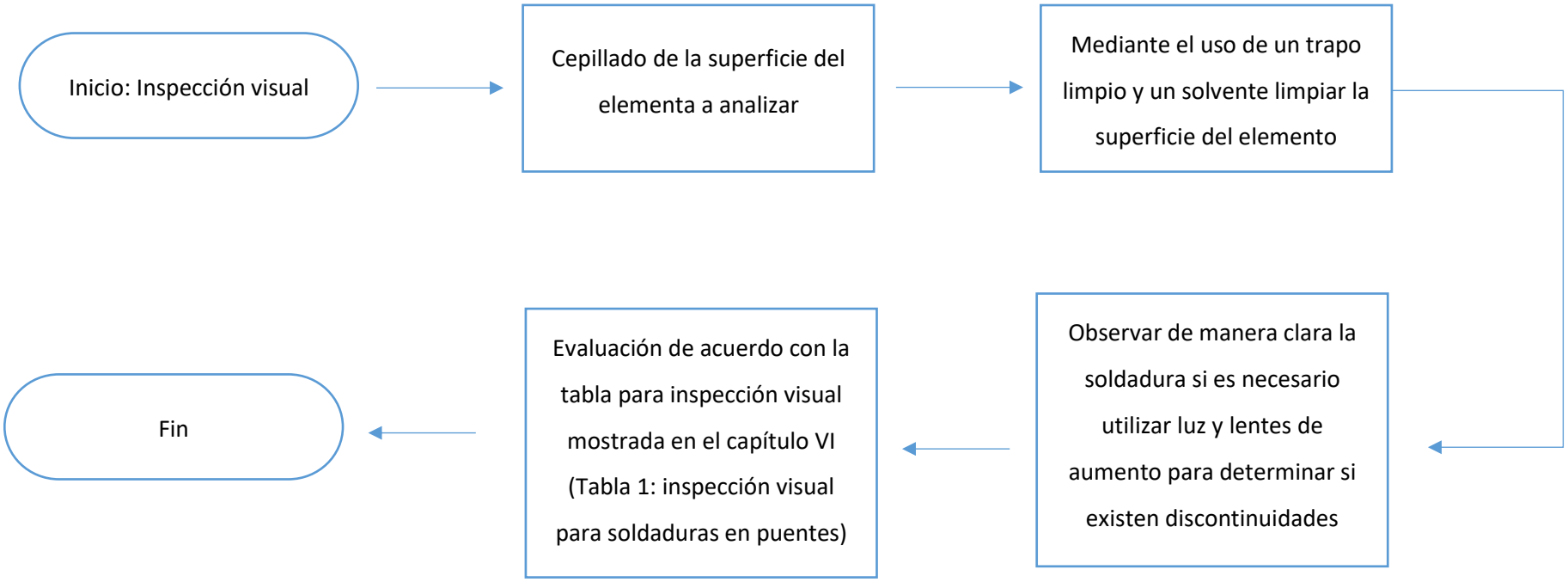


Ilustración 13:Flujograma inspección visual

Fuente: Elaboración propia

5.2. Pruebas de líquidos penetrantes

Es un END que permite la localización de discontinuidades en las superficies de materiales no porosos de carácter sólido. Este proceso se utiliza cuando existen discontinuidades que se encuentren en la superficie de los materiales, caso contrario si la falla o discontinuidad es de carácter subsuperficial se debe emplear otro tipo de ensayos como es el caso de ultrasonido o radiografía.

Una vez que realizada la inspección visual con todos los criterios necesarios para aprobarla se procede a realizar en ensayo de tintas penetrantes en el cual se puede detectar fallas un poco más profundas difíciles de poder detectar con la capacidad del ojo humano.

Este ensayo se basa en la colocación de un líquido sobre una superficie limpia del elemento que se desee ensayar, el líquido penetra las discontinuidades que existen en la superficie debido al efecto capilar del líquido. Al momento de limpiar la superficie en donde se aplicó el ensayo, solamente queda el líquido atrapado en las discontinuidades. Al momento de realizar la limpieza y retirar el líquido atrapado en las discontinuidades con la ayuda de un agente externo llamado revelador, se señalará las zonas donde existen las discontinuidades.

Las soldaduras expuestas a realizarse ensayos de tintas penetrantes, además de la inspección visual se evaluará en función de los requisitos de la inspección visual expuestos en la tabla 6.1 del código AWS D1.1 (Met-L-Chek, 2019).

5.2.1. Tipos de líquidos penetrantes

Existen diferentes aspectos al momento de seleccionar el tipo de líquido penetrante para realizar el ensayo como son: geometría y peso del elemento, pero siempre se debe tener en cuenta el costo y sensibilidad el ensayo.

Existen diferentes líquidos penetrantes con características como: capacidad de humectación, viscosidad, tensión superficial, secado, corrosividad, inflamación, fácil remoción y limpieza, color, brillo, estabilidad, etc (Espinoza, 2019).

Existen también líquidos penetrantes con diferentes características como se presenta a continuación:

- **Tipo I Fluorescente**: este tipo de líquido penetrante se utiliza para dar una mayor percepción de las fallas, su característica principal es la fluorescencia bajo la luz ultravioleta para una mejor detección de discontinuidades, esta se clasifica en 5 niveles (Espinoza, 2019).

  - Nivel ½, ultra baja sensibilidad
  - Nivel 1, baja sensibilidad
  - Nivel 2, media sensibilidad
  - Nivel 3, alta sensibilidad
  - Nivel 4, muy alta sensibilidad

- **Tipo II no fluorescentes**: son de color rojo y se caracterizan por ser visibles en condiciones normales, en comparación con los niveles de los líquidos tipo I, los no fluorescentes pertenecen al nivel 1 (Espinoza, 2019).

5.2.2. Clasificación según el tipo de revelador

El líquido revelador es el encargado se hacer visualizar las fallas existentes en las superficies ensayadas y existen diferentes tipos clasificadas de la siguiente manera:

- **Forma A:** polvo seco usados en inspecciones tipo I
- **Forma B**: líquidos solubles en agua utilizados en inspecciones tipo I y tipo II
- **Forma C:** Suspensión en agua para en inspecciones tipo I y tipo II
- **Forma D:** soluciones no acuosas de alta sensibilidad para inspecciones tipo I o II (Espinoza, 2019).

5.2.3. Procedimiento

Para realizar este ensayo es necesario el uso de tres líquidos conocidos como limpiador, penetrante y revelador.

En primer lugar, se aplica el limpiador y se frota con un trapo hasta que la superficie quede completamente limpia y se pueda aplicar el penetrante.

En segundo lugar, se aplica el penetrante de color rojo en este caso por toda la superficie a ensayar entre temperaturas de 4°C a 52°C y dejar que el líquido penetre en las fallas durante un tiempo de 15 minutos (Espinoza, 2019).

En tercera instancia se utiliza un trapo limpio humedecido con el primer spray limpiador y retirar el exceso de penetrante que se encuentra en la superficie a ensayar, no colocar el limpiador directamente sobre la superficie a ensayar, esta aplicación directa puede provocar disminución del líquido que ha penetrado en las fallas (Espinoza, 2019).

El ultimo procedimiento es colocar el revelador de color blanco, antes de aplicarlo se debe agitarlo bien. Aplicar el revelador, evitar que el líquido escurra y dejarlo actuar por lo menos de 5 a 10 minutos para que el penetrante por efecto de capilaridad salga a la luz y pueda revelar las fallas existentes.

Una vez realizado todo este procedimiento anterior inspeccione las fallas encontradas en la superficie ensayada bajo una luz clara y brillante. Cuando se utiliza penetrantes fluorescentes es necesario inspeccionar bajo una luz ultravioleta UV-A en un lugar oscuro (Espinoza, 2019).

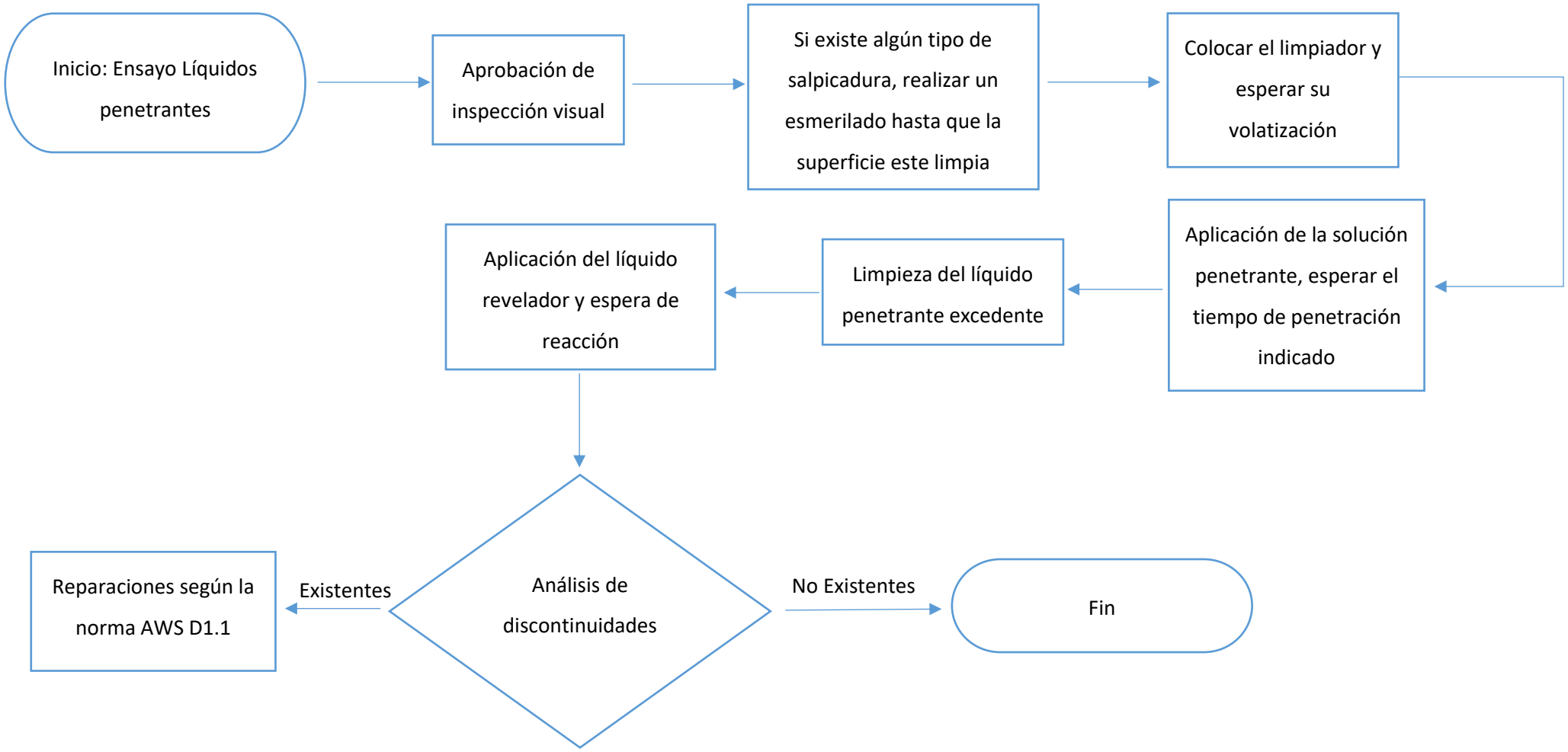


Ilustración 14: Flujograma inspección mediante líquidos penetrantes

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Prueba de Ultrasonido

La inspección ultrasónica es un método de END utilizado para detectar daños superficiales e internos del elemento ensayado. El procedimiento del ensayo consiste en el cual un grupo de ondas de frecuencias altas son introducidas en el material inspeccionando daños mencionados anteriormente.

El ensayo de ultrasonido se basa en el hallazgo de un cambio de densidad debido a la presencia de una discontinuidad en el material. El equipo utilizado en este ensayo tiene un cabezal que contiene un cristal o cuarzo que vibra a alta frecuencia, esta vibración es transmitida al elemento hasta encontrar un discontinuidad o daño el en elemento, la energía liberada por el cabezal es transmitida y recibida es decir reflectada de vuelta en la cual se transforma en pulsos eléctricos que serán observados en el osciloscopio (Pereira, 2011).

El ensayo de ultrasonido se utiliza para verificar que la conexión soldada no presente discontinuidades o fallas en el interior de la soldadura como por ejemplo la existencia de escoria o falta de fusión y penetración en el metal.

Se realiza el ensayo de ultrasonido una vez que se haya realizado los ensayos de inspección visual, tintas penetrantes y/o partículas magnéticas, que son ensayos superficiales y deben cumplir los criterios de aceptación para proceder a realizar ensayos subsuperficiales.

El ensayo de ultrasonido en puentes se lo debe realizar con los criterios de junta a tensión y junta a compresión mencionados en el capítulo 6 de la normativa AWS D1.5.

5.3.1. Procedimiento

Antes de definir el procedimiento cabe recalcar que las placas ensayadas tienen una junta a tope con una ranura en V sencilla como se muestra en las figuras siguientes.

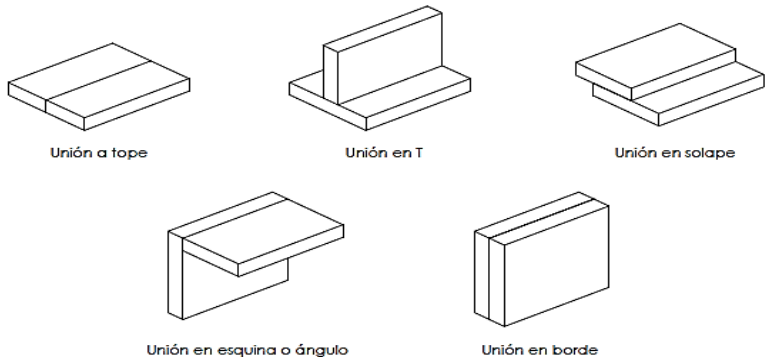


Ilustración 15: Tipos de juntas

Fuente: Propia

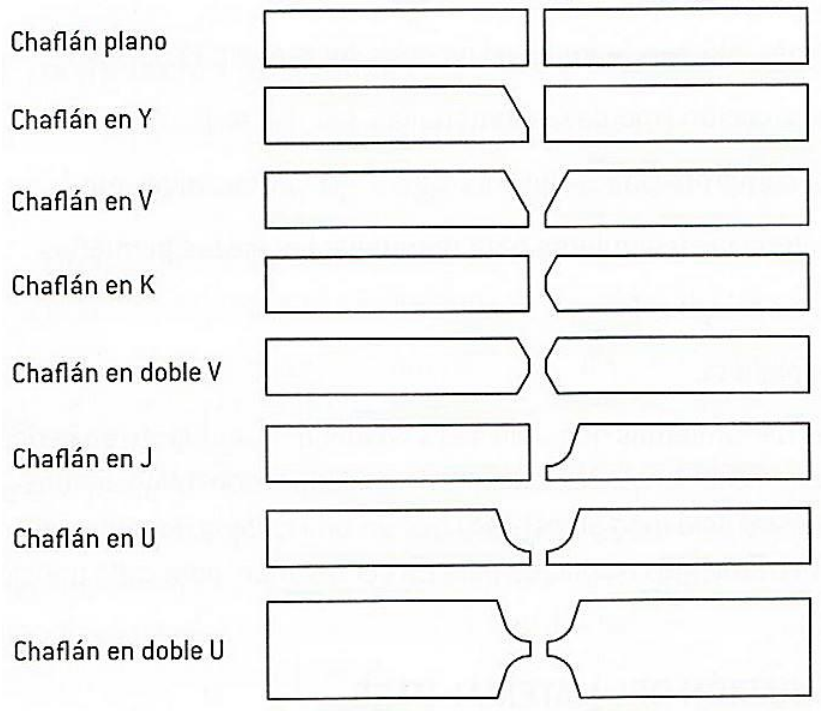


Ilustración 16: Tipos de ranura

Fuente: (DeSoldadores.net, 2019).

Para el ensayo de ultrasonido el equipo necesario comprende: equipo de medición, palpador, gel, calibrador y algunos instrumentos más dependiendo el lugar de inspección o el tipo de conexión a inspeccionar. La función del palpador es emitir señales de ondas longitudinales que se reflejan al atravesar la interface para así formar ondas de corte que viajan en forma de zigzag en la placa a inspeccionar.

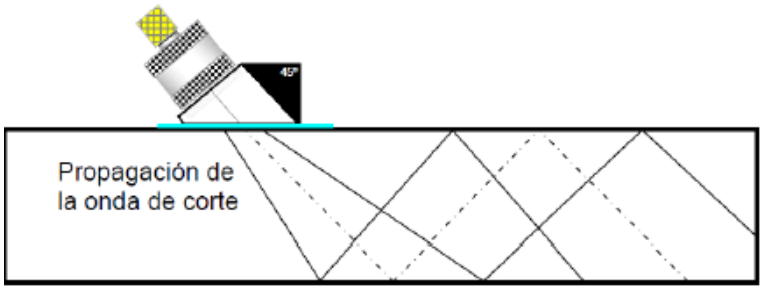


Ilustración 17: Propagación de onda del palpador de ensayo de ultrasonido

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013)

En primer lugar, el palpador debe ser calibrado antes de realizar la prueba para que al momento de realizar en ensayo ubique las distancias correspondientes de la placa y el lugar exacto o distancia exacta a la que se encuentra la discontinuidad. El palpador se mueve por la placa de la siguiente manera.

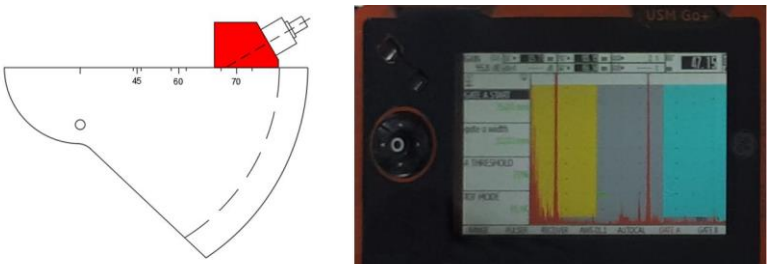


Ilustración 18: Calibración del ángulo de incidencia

Fuente: Elaboración Propia

En este caso el ángulo de incidencia es de 70 grados, ya que la placa de 10 mm indica que debe ser ese ángulo. “Cabe recalcar que el ángulo nominal del dispositivo de barrido es 70 grados, pero el ángulo real es 68.5 grados, es por esta razón que en el equipo se debe colocar un ángulo de 68.5 grados”(Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013).

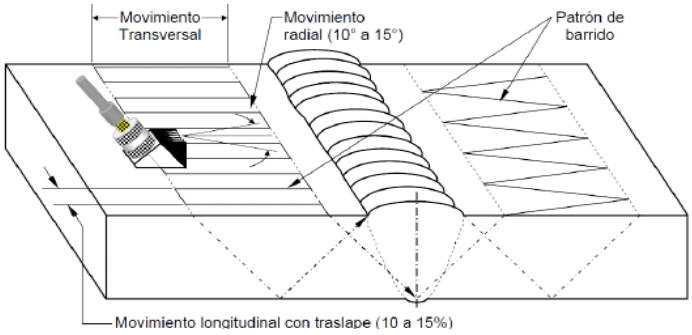


Ilustración 19: Zona de barrido o movimiento del palpador

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013)

Una vez calibrado el equipo se realiza en ensayo de ultrasonido. Para poder detectar las discontinuidades se observa la pantalla del equipo, en donde existe una elevada señal existe una discontinuidad. El equipo identifica el lugar exacto de la discontinuidad es decir indica la distancia que existe desde el palpador hasta la discontinuidad, ubicándola exactamente a su profundidad y distancia horizontal.



Ilustración 20: Identificación de fallas

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar si el elemento ensayado cumple con los criterios de aceptación se comparan con la tabla 6.3 y 6.4 de criterios de aceptación y rechazo UT del código AWS D1.5. Se utilizan las dos tablas de criterios de aceptación por la razón que en puentes se debe analizar y realizar los ensayos a juntas de compresión y juntas de tracción.

Tabla 3: Criterios de aceptación de junta a tensión

Criterios de aceptación-rechazo UT con esfuerzos a tracción											
CLASE DE SEVERIDAD DE DEFECTO	Espesor de soldadura (mm [pulg.]) y ángulo de unidad de búsqueda										
	8 [5/16] hasta 20 [3/4]	> 20 [3/4] hasta 38 [1-1/2]	>38 [1-1/2] hasta 60 [2-1/2]			>60 [2-1/2] hasta 100 [4]			>100 [4] hasta 200 [8]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
CLASE A	+10 y menor	+8 y menor	+4 y menor	+7 y menor	+9 y menor	+1 y menor	+4 y menor	+6 y menor	-2 y menor	+1 y menor	+3 y menor
CLASE B	+11	+9	+5	+8	+10	+2	+5	+7	-1	+2	+4
			+6	+9	+11	+3	+6	+8	0	+3	+5
CLASE C	+12	+10	+7	+10	+12	+4	+7	+9	+1	+4	+6
			+8	+11	+13	+5	+8	+10	+2	+5	+7
CLASE D	+13 y mayor	+11 y mayor	+9 y mayor	+12 y mayor	+14 y mayor	+6 y mayor	+9 y mayor	+11 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor

Fuente: (AWS D1.5, 2002).

Tabla 4: Criterios de aceptación de junta a compresión

Criterios de aceptación-rechazo UT con esfuerzos a compresión											
CLASE DE SEVERIDAD DE DEFECTO	Espesor de soldadura (mm [pulg.]) y ángulo de unidad de búsqueda										
	8 [5/16] hasta 20 [3/4]	> 20 [3/4] hasta 38 [1-1/2]	>38 [1-1/2] hasta 60 [2-1/2]			>60 [2-1/2] hasta 100 [4]			>100 [4] hasta 200 [8]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
CLASE A	+5 y menor	+2 y menor	-2 y menor	+1 y menor	+3 y menor	-5 y menor	-2 y menor	0 y menor	-7 y menor	-4 y menor	-1 y menor
CLASE B	+6	+3	-1	+2	+4	-4	-1	+1	-6	-3	0
			0	+3	+5	-3	0	+2	-5	-2	+1
CLASE C	+7	+4	+1	+4	+6	-2 hasta +2	+1	+3	-4 hasta +2	-1 hasta +2	+2
			+2	+5	+7		+2	+4			+3
CLASE D	+8 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+4 y mayor

Fuente: (AWS D1.5, 2002).

- Clase A (Discontinuidades grandes). Se deberá rechazar cualquier indicación en esta categoría, independientemente de la longitud.
- Clase B (Discontinuidades medianas). Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 3/4" (20mm).
- Clase C (Discontinuidades pequeñas). Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 2" (50mm).
- Clase D (Discontinuidades menores). Se deberá aceptar toda indicación en esta categoría, independientemente de la longitud o ubicación de la soldadura. (AWS D1.5, 2002).

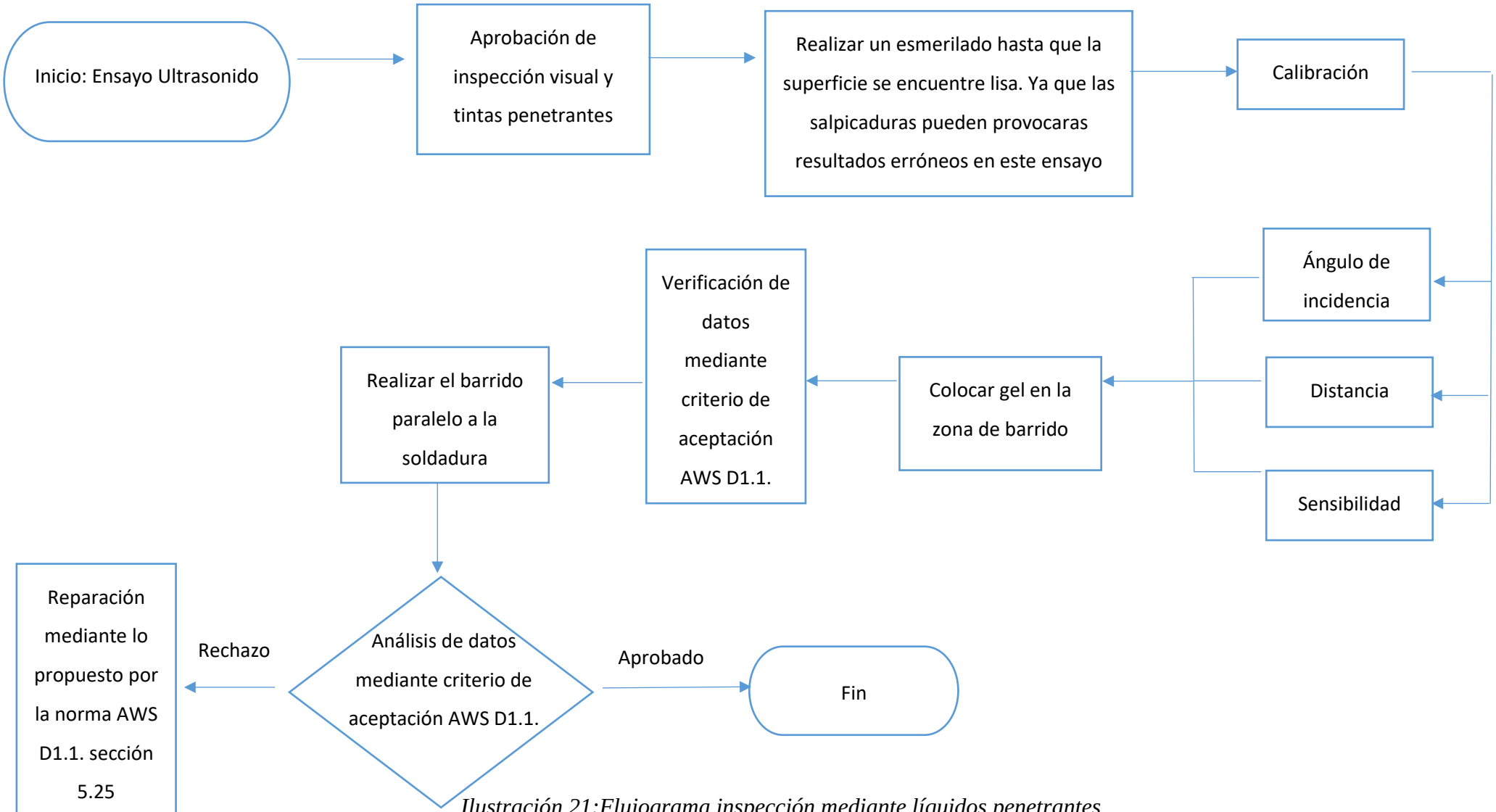


Ilustración 21:Flujograma inspección mediante líquidos penetrantes

Fuente: Elaboración propia

5.4. Pruebas radiográficas

La radiografía industrial se utiliza para la verificación de la sanidad de la soldadura aplicada en ciertos componentes como tuberías o recipientes a presión, estructuras, elementos de un puente, etc (Shackerlford, 1998).

Este tipo de END deja como evidencia una película radiográfica en la cual constara de identificación del elemento ensayado (Calimet, 2018).

Este ensayo requiere máquinas de alta radiación para lograr atravesar el material y generar una película negativa en la que se muestra la solidez interna del material inspeccionado, este proceso similar a una radiografía de huesos normal realizada en seres humanos (Smith, 1998).

Para realizar los ensayos radiográficos es necesario el uso de cuatro componentes fundamentales como son: Tubo de rayos X, Consola de control, Generador de alta tensión y Sistema de enfriamiento.

La película radiográfica es una de lámina compuesta de nitrato celuloso cubierto de una capa de emulsión de haluro de plata la cual es sensible a la radiación (Espinoza, 2019).

La película radiográfica presenta las siguientes características:

- **Densidad: "**Esta depende de la cantidad de radiación que absorbe la película y varía según la cantidad de emulsión que esta contiene, a su vez la cantidad de radiación" (Espinoza, 2019).

- **Definición:** se refiere a la calidad de la película, reflejada en la nitidez de los contornos, se puede corregir dependiendo de la distancia entre la fuente de radiación y el objeto sometido a la prueba (Espinoza, 2019).

- **Contraste:** es aquel brillo que aparece en la imagen para identificar una defectología.

El ensayo de radiografía presenta una serie de variables a considerar debido a ciertos cambios como: Energía, Tiempo de exposición, Tipo de material, Grosor del material, Tipo de película, Pantallas utilizadas, Procesamiento de la película, Densidad de la película,

Distancia de la fuente de radiación, Distancia de la fuente al objeto, Tamaño del objeto. Estas variables pueden cambiar dependiendo el tipo de elemento que desea inspeccionar (Espinoza, 2019).

Las radiografías se realizarán utilizando una sola fuente de radiación X o gamma. La sensibilidad de la radiografía se juzgará en función de la imagen IQI o los indicadores de calidad de imagen de cable (IQI) (AWS D1.5, 2002).

Parámetro IQI

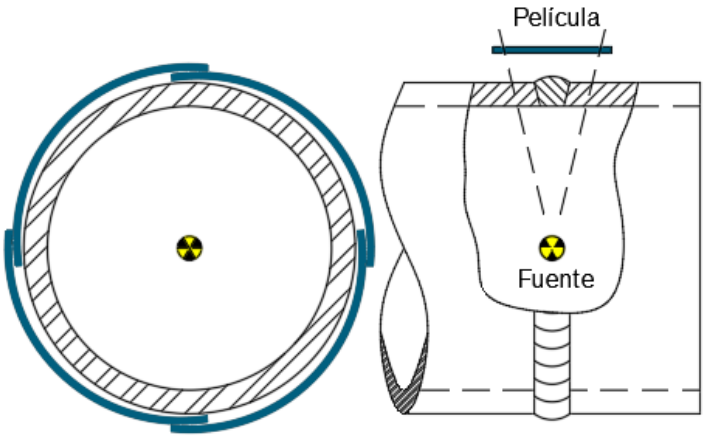
Se utilizan para determinar la calidad de la radiográfica. Existen diferentes tipos de IQI, el tipo taladro y el tipo hilo. (AWS D1.5, 2002)

Las de tipo taladro son placas de espesores definidos con orificio de diámetros diferentes (AWS D1.5, 2002).

Las de tipo hilo son en cambio un grupo de hilos sobre soportes de plástico en un arreglo progresivo de diámetros (AWS D1.5, 2002).

5.4.1. Técnicas de exposición

- **Técnica de pared simple:** Es la más utilizada en la radiografía debido a su efectividad. Funciona de manera que la radiación atraviesa el espesor del elemento y la película está en contacto con la superficie opuesta al lado de la fuente.



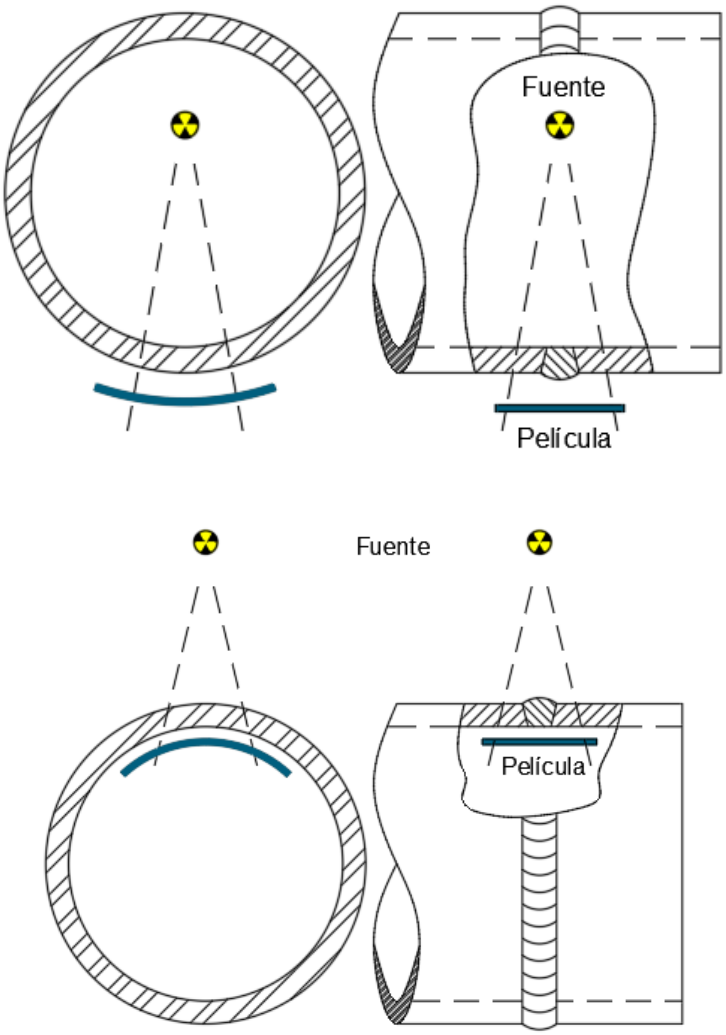


Ilustración 22: Técnica de pared simple

Fuente:(AWS D1.5, 2002).

- **Técnica de doble pared:** En el caso de que no sea factible la realización de la técnica de pared simple se recurre a las técnicas de doble pared.
  - **Técnica de vista única:** en esta técnica la radiación pasa a través de dos paredes, pero solo se evaluará el área más cercana a la película como se indica en la siguiente figura (Espinoza, 2019).

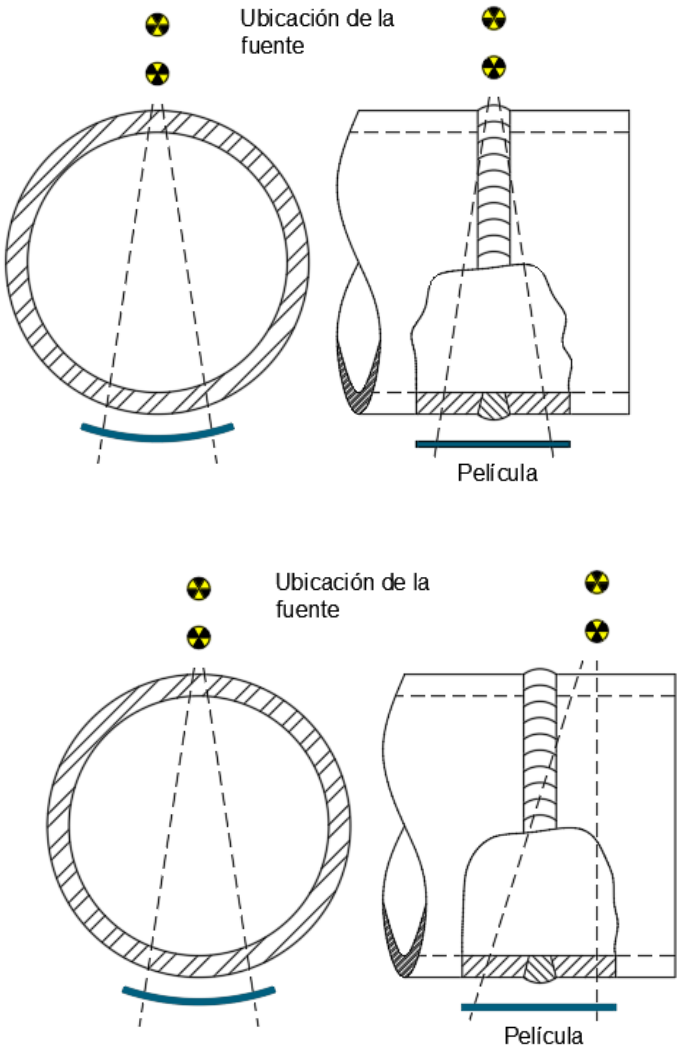


Ilustración 23: Técnica vista única

Fuente: (AWS D1.5, 2002).

- Técnica de doble visión: En esta técnica la radiación pasara por las dos paredes del objeto y se evaluaran ambas paredes, exceptuando elementos de diámetros menores o iguales a 3,5 pulgadas. La fuente de radiación de sebe colocar directamente en el área de interés a evaluarse. Se la realiza como indica en la siguiente figura.

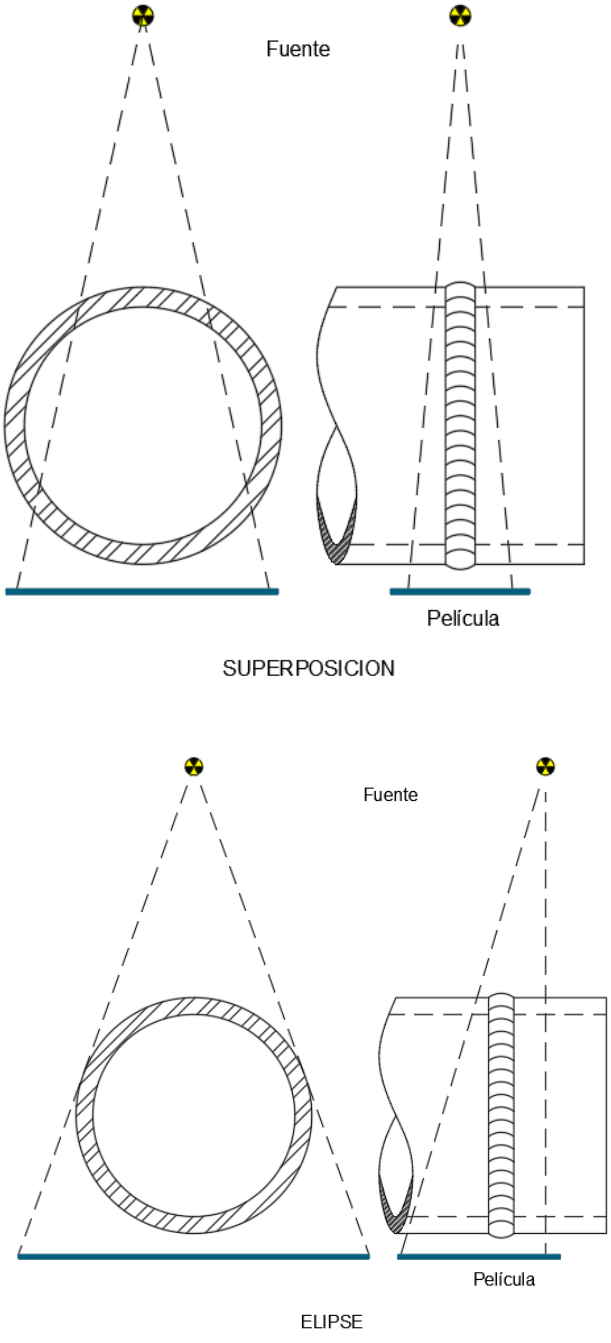


Ilustración 24: Técnica de doble visión.

Fuente: (AWS D1.5, 2002)

La interpretación de las radiografías no es algo que se aprende en un aula, requiere horas de revisión y comprensión de los diferentes tipos de imágenes y las diversas condiciones que prevalecen en la radiografía industrial. Muchos profesionales que han estado evaluando

radiografías durante décadas admitirán que aún siguen aprendiendo a interpretar con cada radiografía adicional (Hellier, 2003).

5.4.2. Procedimiento

Para realizar el ensayo de radiografía es necesario seguir los subprocesos establecidos a realizar, los cuales de manera simplificada se han reducido a 6 los cuales se definirá a continuación (UNLP, 2007).

- **Planificación:** En la planificación de tomar en cuenta los materiales, y técnicas de exposición al elemento.

  - **Interpretación:** Se siguen las instrucciones de los manuales del elemento a radiografiar.
  - **Selección del tipo de película:** Esta selección va a depender del material, espesor del elemento y calidad de la imagen.
  - **Escoger el índice IQI:** Este parámetro se selecciona según el elemento y la zona a inspeccionar.
  - **Seleccionar el lugar para colocación de la película:** Este parámetro se lo selecciona según la geometría del elemento a ensayar.
  - **Selección de la distancia de exposición:** Este parámetro va en función de la distorsión admitida y de la penumbra.
  - **Selección del ángulo de incidencia:** Este parámetro dependerá de la geometría del elemento inspeccionado.
  - **Selección de la fuente de radiación:** Este parámetro dependerá de la calidad de la imagen requerida y según la disponibilidad de la fuente misma.
  - **Cálculo del tiempo de exposición:** Este parámetro dependerá de la densidad de la imagen requerida en la zona de interés de inspección (UNLP, 2007).

- **Preparación**

  - En primer lugar, se realiza el armado y la ubicación de la fuente de radiación.
  - En segundo lugar, se debe realizar un vallado para seguridad.
  - Tercero se realiza un precalentamiento de los rayos x y la medición de la radiación en la parte de afuera del vallado.
  - En cuarto lugar, se realiza la carga de la película radiográfica y la colocación de las pantallas (este proceso debe realizarse en un cuarto oscuro con una luz incandescente de menos 15 W con filtro rojo marrón).
  - "Por último, se coloca el chasis con la película, los rótulos y los IQI en el lugar" (UNLP, 2007).

- **Ejecución de la Exposición**

  - Se debe evacuar del lugar de exposición, tomando las medidas de seguridad, y enviar el aviso de la exposición.
  - Se realiza el disparo del equipo de radiación y la exposición de la película a los rayos.
  - Por último, se realiza el apagado del equipo y el bloqueo de seguridad de la fuente de radiación (UNLP, 2007).

- **Procesamiento de la película**

  - Para este procedimiento se debe realizar en un cuarto oscuro de manera manual o automática los siguientes pasos (UNLP, 2007).

    - Revelado
    - Detenimiento

- Fijación
- Lavado
- Humectado
- Secado

- **Interpretación de resultados**

  - Se realiza una observación de la imagen en negatoscopio.
  - Se mide la densidad en sitios de interés con un densitómetro.
  - Se verifica la sensibilidad a través de los penetrómetros visibles.
  - Eventualmente se repiten los ensayos con ajustes que requieran, sea el necesario caso de una mejor calidad de imagen (UNLP, 2007).

- **Decisión en base a los resultados obtenidos**

  - Según las discontinuidades que se presentan y en base a los límites de los criterios de aceptación o rechazo, se toman las decisiones acerca del elemento. Los criterios de aceptación y rechazo son propuestas por instituciones de inspección o en base a normativa vigente (UNLP, 2007).

5.5. Prueba de partículas magnéticas

En ensayo de partículas magnéticas tiene el objetivo de detectar en un elemento las posibles discontinuidades que existan, no solamente en la superficie, sino también en las proximidades del elemento, es decir evalúa también discontinuidades subsuperficiales (SCI Control & Inspección, 2019).

Este método de inspección se basa en la atracción de polvo metálico que se aplica en la superficie hacia las discontinuidades que existen en el material ensayado por la atracción de

un campo magnético, la acumulación de este polvo en las discontinuidades revelara la localización de las mismas (SCI Control & Inspección, 2019).

5.5.1. Procedimiento

Para poder realizar en ensayo de partículas magnéticas se debe realizar los siguientes pasos:

- **Preparación:** El elemento de be estar limpio completamente en la parte de la soldadura y sus alrededores, libre de aceites y escorias. Si el elemente presenta una o varias capas de pintura, esta debe ser retirada para evitar alteración en el ensayo (Villacís Soria, 2011).

- **Magnetización:** se incita un campo electromagnético al elemento a ensayar, a través de corrientes eléctricas alternas, continuas o rectificadas. Si la frecuencia es menor el campo electromagnético puede ser más profundo. Se escoge la dirección más conveniente para inducirlo al elemento (Villacís Soria, 2011).

- **Aplicación de las partículas:** Las partículas pueden ser aplicadas de manera seca o de manera húmeda (Villacís Soria, 2011).

- **Interpretación y registro de indicaciones:** Se requiere o se sugiere un lugar que presente una adecuada iluminación, esto dependerá del tipo de partículas que se utilizaron para desarrollar el ensayo. Para interpretar se debe identificar las formaciones de grietas, poros o falta de unión (Villacís Soria, 2011).

- **Desmagnetización:** este último paso se debe realizar de una manera cuidadosa y correcta, ya que, si no se la hace bien, el elemento puede atraer virutas metálicas (Villacís Soria, 2011).

6. CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN

Esta propuesta de metodología se basará en la normativa AWS D1.5 la cual también referencia la norma AWS D1.1.

Para simular una inspección en campo se realizaron tres probetas, las cuales fueron inspeccionadas con los END planteados en el presente trabajo los cuales son: Inspección visual, Líquidos penetrantes y Ultrasonido.

Se realizó una inspección visual de las probetas ya que esta es la más utilizada y la principal para determinar discontinuidades apreciables al ojo humano, esta inspección es importante ya que, si no cumple, ya no se procede a realizar las demás inspecciones. En el caso de que no se cumplan los criterios de la inspección visual se debe corregir las fallas determinadas para poder realizar nuevamente la inspección visual. Esto se debe repetir hasta que la inspección visual sea satisfactoria. Cuando esto se cumpla se pasa a realizar END superficiales. El END superficial elegido para ensayar estas probetas fue el ensayo de líquidos penetrantes por su fácil accesibilidad, manipulación y realización de este ensayo.

El ensayo de líquidos penetrantes evalúa patologías superficiales no apreciadas en la inspección visual. De igual manera al no cumplir los criterios de aceptación del ensayo de líquidos penetrantes se deberá realizar una corrección de la soldadura para nuevamente ser evaluados, primero mediante una inspección visual y al aprobarse esta, se realiza el ensayo de líquidos penetrantes. Al cumplirse el END superficial se pasará a realizar END volumétricos.

El END volumétrico seleccionado para ensayar las probetas fue Ultrasonido. Se realizó una investigación de los dos ensayos volumétricos más comunes que son Radiografía y Ultrasonido, donde nuestro factor de decisión fue que la radiografía muestra las fallas en una vista en planta, pero no su ubicación en profundidad, mientras que el ultrasonido muestra la falla y su ubicación exacta en una vista en planta y su profundidad.

En el ensayo de ultrasonido detecta las fallas existentes en el interior de la soldadura, mostrando su localización. Si existe algún tipo de falla mostrada por el ultrasonido se debe corregir abriendo la soldadura hasta la profundidad de la falla, volver a soldar y realizar una nueva evaluación tanto con técnicas superficiales como volumétricas hasta que la soldadura no presente imperfecciones detectables con el ensayo de ultrasonido.

Tabla 5: Inspección visual para soldaduras en puentes

INFORME DE INSPECCION VISUAL PARA SOLDADURAS EN PUENTES							
Fecha:				**Materiales:**			
Lugar de inspección:				**Técnica empleada:**			
Equipos:				**Resultados del ensayo:**			
Datos de la soldadura						**Evaluación**	
N°	**Identificación**	**Proceso de soldadura**	**Tipo de junta**	**Conexión**	**Dirección**	**Tipo de Discontinuidad**	**Resultado**
1	Viga3-panel4	SMAW	PJP_JUNTA EN T	Alma-Patininf	Longitudinal	1,3	Rechazado
2							
3							
4							
5							
CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO							
1. La soldadura tiene fisuras **2.** Existen alguna discontinuidad entre la fusión de los pases de la soldadura y entre la soldadura y el metal base. **3.** En miembros principales, las mordeduras tienen más de 0.25 mm de profundidad en soldaduras transversales a los esfuerzos de compresión. **4.** Para soldaduras no principales, las mordeduras tienen profundidades mayores a 1 mm. **5.** La frecuencia de porosidad tubular en la superficie de soldadura de filete es mayor a 1 en cada 100 mm o 6 en 1200 mm de soldadura. **6.** El diámetro del poro es mayor de 2.4 mm, siendo este el máximo. **7.** La presentación de la soldadura varia conforme a lo presentado en 3.6 del código AWS D 1.5.							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6: Informe de líquidos penetrantes para soldaduras en puentes

INFORME DE LIQUIDOS PENETRANTES PARA SOLDADURAS EN PUENTES								
Fecha:				**Materiales:**				
Lugar de inspección:				**Técnica empleada:**				
Equipos:				**Resultados del ensayo:**				
Datos de la soldadura							**Evaluación**	
N°	**Identificación**	**Proceso de soldadura**	**Tipo de junta**	**Conexión**	**Tipos de esfuerzos**	**Dirección**	**Tipo de Discontinuidad**	**Resultado**
1	Viga3-panel4	SMAW	PJP_JUNTA EN T	Alma- Patininf	Longitudinal	Longitudinal	1,3	Rechazado
2								
3								
4								
5								
6								
OBSERVACIONES								
Al realizar el ensayo de líquidos penetrantes cuando el revelador muestra existencias de fallas estas deben cumplir con los parámetros de aceptación y rechazo de la inspección visual.								
CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO								
1. La soldadura tiene fisuras **2.** Existen alguna discontinuidad entre la fusión de los pases de la soldadura y entre la soldadura y el metal base. **3.** En miembros principales, las mordeduras tienen más de 0.25 mm de profundidad en soldaduras transversales a los esfuerzos de compresión. **4.** Para soldaduras no principales, las mordeduras tienen profundidades mayores a 1 mm. **5.** La frecuencia de porosidad tubular en la superficie de soldadura de filete es mayor a 1 en cada 100 mm o 6 en 1200 mm de soldadura. **6.** El diámetro del poro es mayor de 2.4 mm, siendo este el máximo. **7.** La presentación de la soldadura varia conforme a lo presentado en 3.6 del código AWS D 1.5.								

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Informe de inspección por ultrasonido para soldaduras en puentes

INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDO PARA SOLDADURAS EN PUENTES										
Fecha:					**Materiales:**					
Lugar de inspección:					**Técnica empleada:**					
Equipos:					**Resultados del ensayo:**					
Datos de la soldadura						**Evaluación**		**Distancia**		
N°	**Identificación**	**Proceso de soldadura**	**Tipo de junta**	**Conexión**	**Dirección**	**Tipo de Discontinuidad**	**Tipo de esfuerzo**	**x**	**y**	**Evaluación**
1	Viga3-panel4	SMAW	PJP_JUNTA EN T	Alma-Patininf	Longitudinal	1,3	Compresión	-1	1	Rechazada
2										
3										
4										
5										
6										
CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO										
1. Inclusiones de escoria. **2.** Falta de fusión. **3.** Porosidades. **4.** Grietas longitudinales.										

Fuente: Elaboración Propia

6.1. Geometría de las probetas

Las probetas seleccionadas para la realización de los ensayos fueron elaboradas de acuerdo a la normativa AWD D1.5. Estas probetas de igual manera se utilizan para la calificación de soldadores.

El espesor mínimo utilizado para el material base es de 3.2 milímetros, especificado por las normas AWD D1.5 y la norma ASTM A 709. Por lo tanto, se adoptaron las medidas siguientes.

Tabla 8: Dimensiones de probetas

Ancho	150 milímetros
Largo (incluido cordón de soldadura)	150 milímetros
Espesor	10 milímetros

Fuente: Elaboración Propia

La soldadura tiene un proceso SMAW, el cual es el más utilizado en el país, y también este proceso presenta discontinuidades y se podrá observar al momento de realizar los ensayos. Los requerimientos de este tipo de soldadura están en las secciones 2,3,4 de la norma AWS D1.5, teniendo en cuenta la más importante que su resistencia a la fluencia sea de hasta 90 ksi.

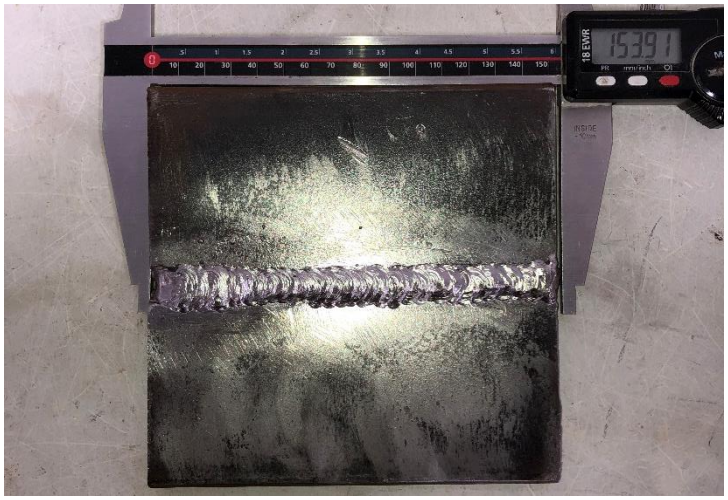


Ilustración 25: Probeta 1 para END

Fuente: Elaboración propia

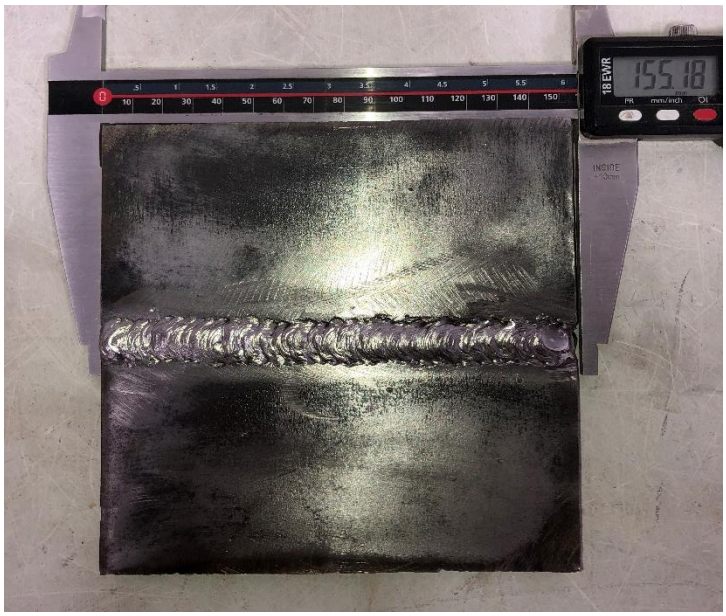


Ilustración 26: Probeta 2 para END

Fuente: Elaboración propia

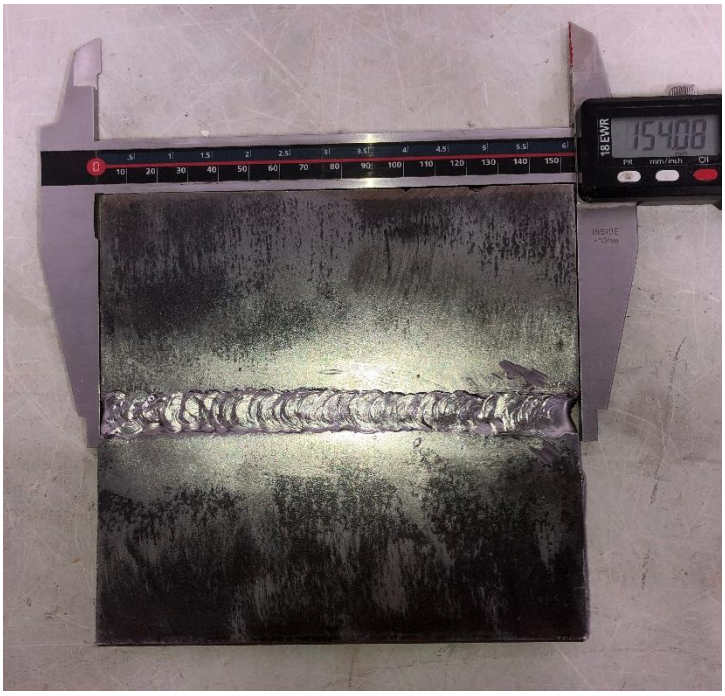


Ilustración 27: Probeta 3 para END

Fuente: Elaboración propia

La junta es un bisel en forma de V, ya que este tipo de junta es la más utilizada para cordones de soldadura.

La junta de ranura en V deberá ser de 60 grados según la normativa AWS D1.5, AWS D1.1 y AWS D1.3.

6.1.1. Preparación del Metal base y soldadura

Para las probetas elaboradas con las dimensiones especificadas se requiere el uso de una amoladora para formar el bisel en V de 60 grados y 10mm de espesor.

Con las placas cortadas de dimensiones 15mmx7,5mm se realiza la unión mediante soldadura SMAW.



Ilustración 28: Ranura en V

Fuente: Elaboración propia

Al soldar la placa se deberá realizar los pases necesarios hasta lograr una fusión completa con respecto del material base y la soldadura.

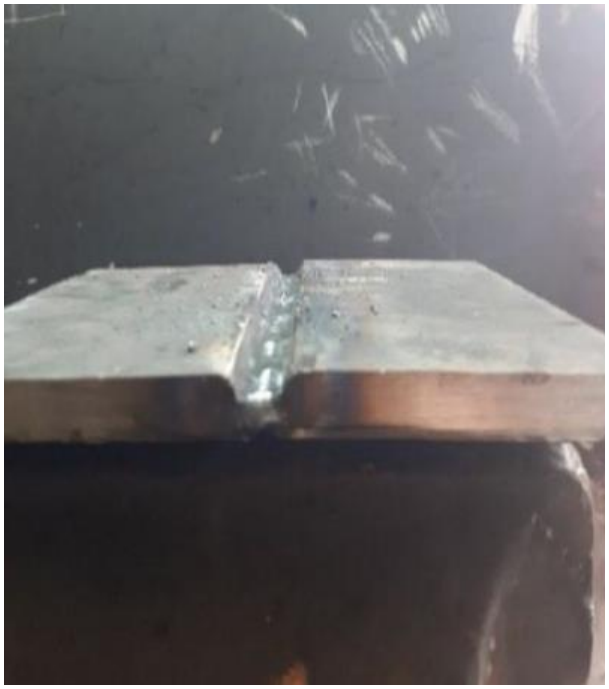


Ilustración 29:Relleno de soldadura

Fuente: Elaboración propia

7. CAPITULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capitulo se realizará la evaluación de las probetas ensayadas y se aplicará la metodología desarrollada para las inspecciones.

7.1. Inspecciones superficiales

Las inspecciones superficiales son aquellas que permiten observar las irregularidades existentes solamente en la capa exterior del elemento a ser ensayado.

7.1.1. Inspección Visual

La inspección visual se realizó a tres probetas elaboradas, en las cuales se aplicó la metodología desarrollada en el presente trabajo.

Se realizó la inspección visual por el método de inspección directa, esta técnica utiliza ciertas herramientas básicas como fuente de luz y si es necesario el uso de herramientas ópticas.
La inspección visual se evaluará de acuerdo con los criterios mencionados en la normativa AWS D1.5 en la sección 6 de inspección que aparecen a continuación:

Tabla 9:Criterios de aceptación para inspecciones superficiales

1. Prohibición de grietas: cualquier grieta será inaceptable independientemente de su tamaño y ubicación.
2. Fusión de soldadura y metal base: la fusión completa debe existir entre las capas adyacentes de metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.
3. Corte transversal del cráter: todos los cráteres deben rellenarse para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto los extremos de las soldaduras de filete intermitentes fuera de su longitud efectiva.

4. Perfiles de soldadura: los perfiles deben estar de acuerdo con lo especificado en perfiles de soldadura ubicado en la sección 5.24 del código AWS D1.1

5. Tiempo de inspección: la inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para los aceros ASTM A 514, A 517 y A 709 grado 100 y 100W deben basarse en una inspección visual realizada no menos de 48 h después de completar la soldadura.

6. Soldaduras de tamaño insuficiente: el tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede ser menor que el tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades(U):

L: Tamaño nominal especificado de la soldadura en mm

≤ 3/16

¼

≥ 5/16

U: Disminución admisible de L en mm

≤ 1/16

≤ 3/32

≤ 1/8

En todos los casos, la parte inferior de la soldadura no debe exceder el 10% de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de red a brida en vigas, se debe prohibir el empotramiento en los extremos por una longitud igual a 2 veces el ancho de la brida.

7. Corte:(A) Para material de menos de 1 pulg. (25mm) de grosor el recorte no debe exceder de 1/32 pulg. (1mm), con la siguiente excepción: el recorte no debe exceder de 1/16 pulg. (2mm) para cualquier longitud acumulada hasta a 2 pulg. (50mm) cualquier 12 pulg. (300mm). Para material igual o superior a 1 pulg (25mm) de espesor, el recorte no debe exceder de 1/16 pulg. (2mm) para cualquier longitud de soldadura.

Corte:(B) en los miembros primarios la socavadura no debe tener una profundidad de más de 0.01 pulg. (0.25mm) cuando la soldadura es transversal a la tensión de tracción en cualquier condición de carga de diseño. El recorte no deberá tener una profundidad de más de 1/32 pulg. (1mm) en todos los demás casos.
8. Porosidad:(A) la soldadura de ranura CIP en juntas a tope transversales a la dirección de la tensión de tracción calculada no tendrá una porosidad visible de la tubería. Para todas las demás soldaduras de ranura y para soldaduras de filete, la suma de la porosidad visible de la tubería de 1/32 pulg. (1mm) o más de diámetro no debe exceder de 3/8 pulg. (10mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura y no debe exceder ¾ pulg. (20mm) en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. (300mm)
Porosidad:(B) la frecuencia de porosidad de la tubería en las soldaduras de filete no debe exceder de 1 en cada 4 pulg. (100mm) de longitud de soldadura y el diámetro máximo no debe exceder de 3/32 pulg. (25mm). Excepción: para soldaduras de filete que conectan refuerzos a la banda la suma de los diámetros de la porosidad de la tubería no debe exceder de 3/8 pulg. (10mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura y no debe exceder de ¾ pulg. (20mm) en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. (300mm).
Porosidad:(C) las soldaduras de ranura CIP en juntas a tope transversales a la dirección de la tensión de tracción calculada no tendrán una porosidad de la tubería. Para todas las demás soldaduras de ranura, la frecuencia de la porosidad de la tubería no debe exceder de 1 en 4 pulg. (100mm) de longitud y el diámetro máximo no debe exceder de 3/32 pulg. (25mm)

Fuente: (AWS D1.5, 2002).

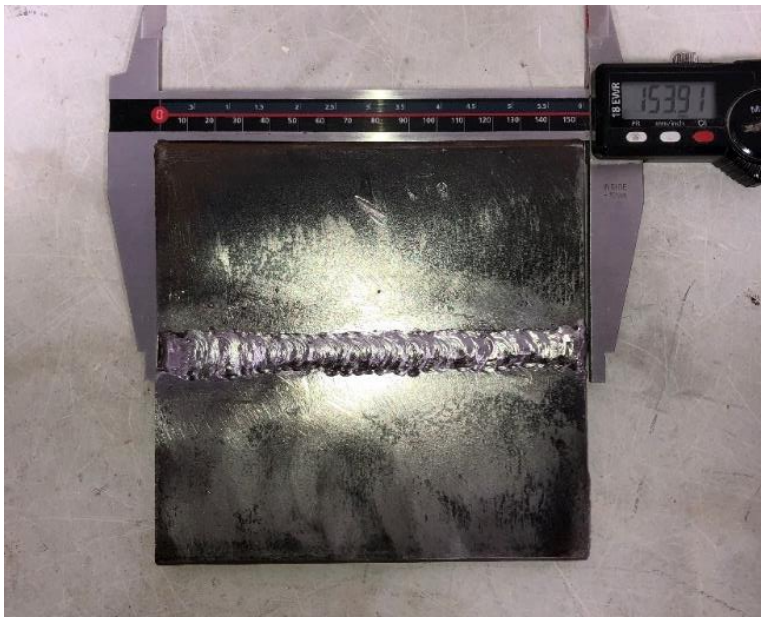


Ilustración 30: Probeta 1 para Inspección Visual

Fuente: Elaboración propia

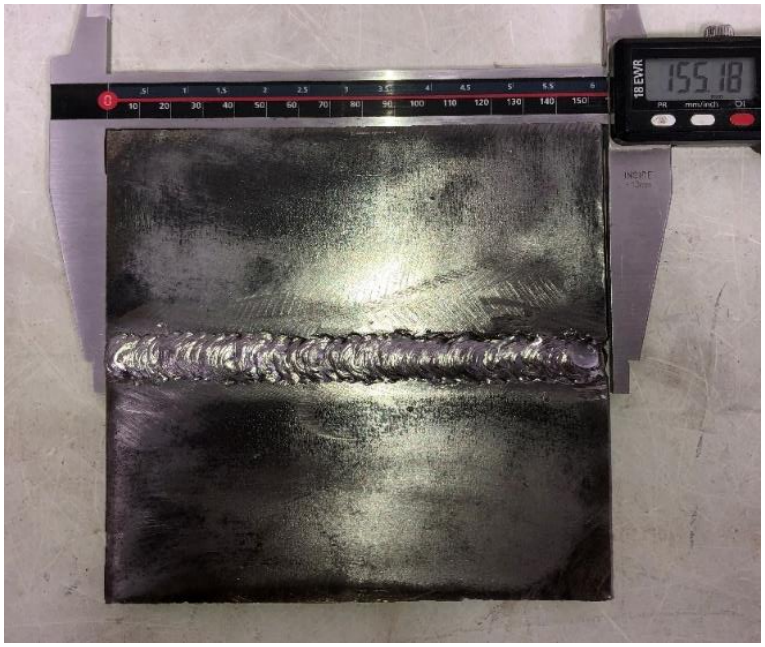


Ilustración 31: Probeta 2 para END

Fuente: Elaboración propia

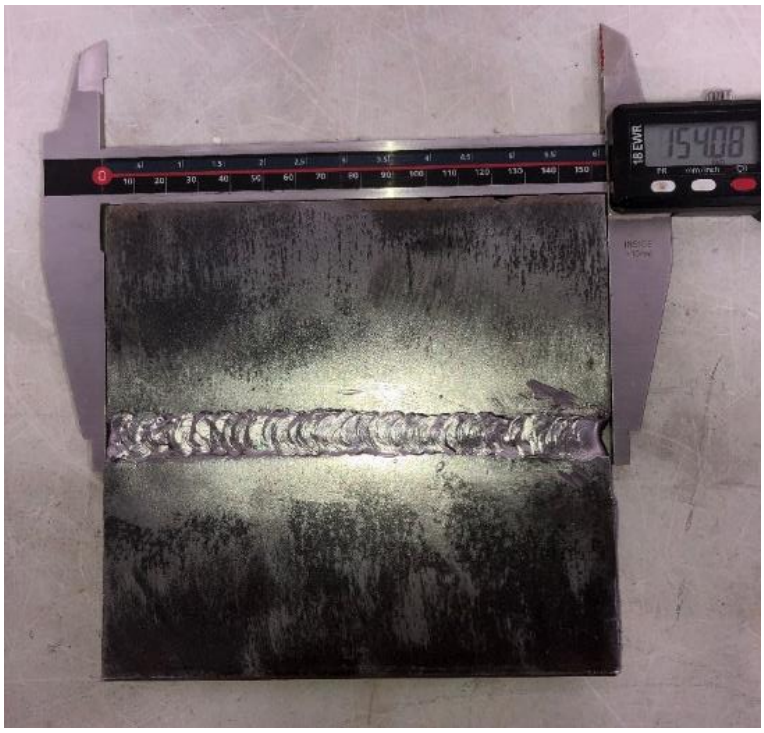


Ilustración 32: Probeta 3 para END

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Informe de inspección visual

INFORME DE INSPECCION VISUAL PARA SOLDADURAS EN PUENTES							
Fecha:		**03/09/2019**		**Materiales:**			
Lugar de inspección:		**PUCE**		**Técnica empleada:**		**Inspección directa**	
Equipos:		**-**		**Resultados del ensayo:**		**Rechazado**	
Datos de la soldadura						**Evaluación**	
N°	**Identificación**	**Proceso de soldadura**	**Tipo de junta**	**Conexión**	**Dirección**	**Tipo de Discontinuidad**	**Resultado**
1	Probeta 1	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	2,3,5,6	rechazado
2	Probeta 2	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	2,3,5,6	rechazado
3	Probeta 3	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	2,3,5,6	rechazado
CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO							
1. La soldadura tiene fisuras							
2. Existen alguna discontinuidad entre la fusión de los pases de la soldadura y entre la soldadura y el metal base.							
3. En miembros principales, las mordeduras tienen más de 0.25 mm de profundidad en soldaduras transversales a los esfuerzos de compresión.							
4. Para soldaduras no principales, las mordeduras tienen profundidades mayores a 1 mm.							
5. La frecuencia de porosidad tubular en la superficie de soldadura de filete es mayor a 1 en cada 100 mm o 6 en 1200 mm de soldadura.							
6. El diámetro del poro es mayor de 2.4 mm, siendo este el máximo.							
7. La presentación de la soldadura varia conforme a lo presentado en 3.6 del código AWS D 1.5.							

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 33:Fallas de soldadura probeta 1

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 34:Fallas de soldadura probeta 2

Fuente: Elaboración Propia

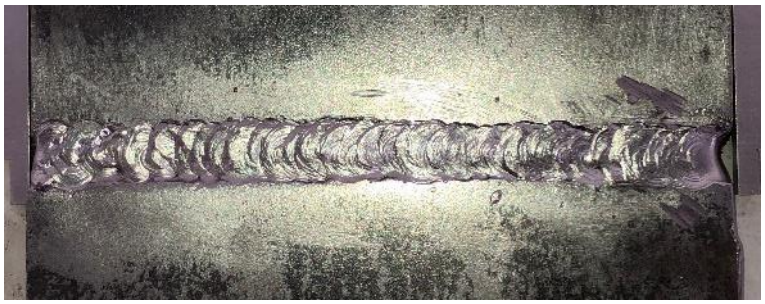


Ilustración 35:Fallas de soldadura probeta 3

Fuente: Elaboración Propia

7.1.2. Inspección por Líquidos Penetrantes

Para la inspección por líquidos penetrantes, los criterios de aceptación son los mismo mencionados por la inspección visual.

Se realiza el proceso mencionado en los capítulos anteriores como se muestra a continuación:

1. Se aplica el limpiador y se frota con un trapo hasta que la superficie quede completamente limpia y se pueda aplicar el penetrante



Ilustración 36: Aplicación del limpiador

Fuente: Elaboración Propia

2. Se aplica el penetrante de color rojo en este caso por toda la superficie a ensayar entre temperaturas de 4°C a 52°C y dejar que el líquido penetre en las fallas durante un tiempo de 15 minutos.

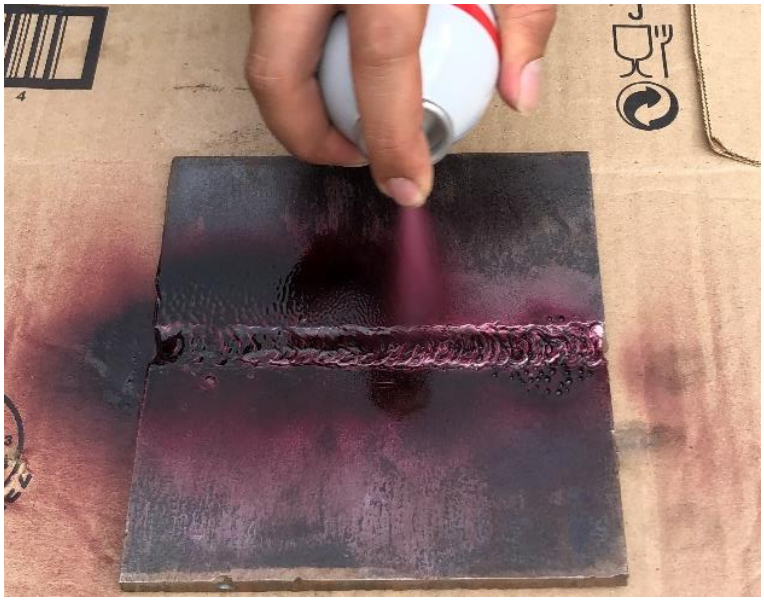


Ilustración 37: Aplicación de tinta penetrante

Fuente: Elaboración Propia

3. Se utiliza un paño limpio humedecido con el primer spray limpiador y retirar el exceso de penetrante que se encuentra en la superficie a ensayar, no colocar el limpiador directamente sobre la superficie a ensayar, esta aplicación directa puede provocar disminución del líquido que ha penetrado en las fallas.



Ilustración 38: Retiro de exceso de tinta penetrante

Fuente: Elaboración Propia

4. Colocar el revelador de color blanco, antes de aplicarlo se debe agitarlo bien. Aplicar el revelador, evitar que el líquido escurra y dejarlo actuar por lo menos de 5 a 10 minutos para que el penetrante por efecto de capilaridad salga a la luz y pueda revelar las fallas existentes.



Ilustración 39: Aplicación del revelador

Fuente: Elaboración Propia

5. Una vez realizado todo este procedimiento anterior inspeccione las fallas encontradas en la superficie ensayada bajo una luz clara y brillante. Cuando se utiliza penetrantes fluorescentes es necesario inspeccionar bajo una luz ultravioleta UV-A en un lugar oscuro.



Ilustración 40: Fallas de soldadura con liquidas penetrantes probetas 1

Fuente: Elaboración Propia

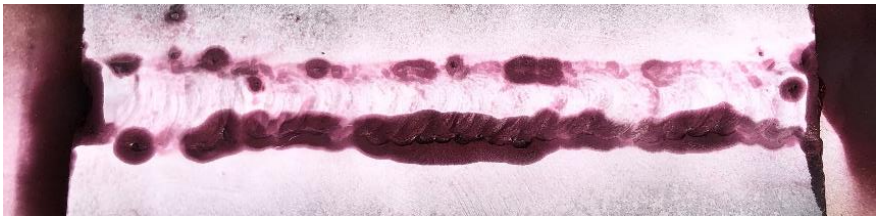


Ilustración 41: Fallas de soldadura con líquidos penetrantes probeta 2

Fuente: Elaboración Propia

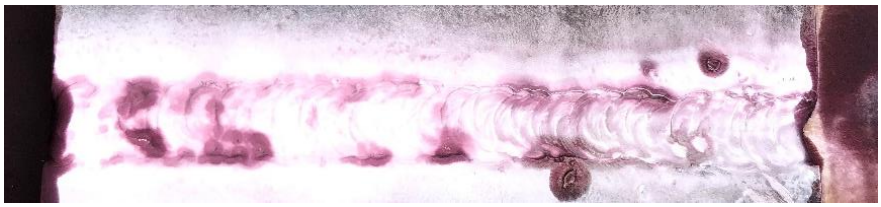


Ilustración 42:Fallas de soldadura con líquidos penetrantes probeta 3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Informe Líquidos penetrantes

INFORME DE LIQUIDOS PENETRANTES PARA SOLDADURAS EN PUENTES								
Fecha:		**03/09/2019**		**Materiales:**				
Lugar de inspección:		**PUCE**		**Técnica empleada:**		**Inspección directa con luz natural**		
Equipos:		**Tintas Penetrantes**		**Resultados del ensayo:**		**rechazado**		
Datos de la soldadura							**Evaluación**	
N°	**Identificación**	**Proceso de soldadura**	**Tipo de junta**	**Conexión**	**Tipos de esfuerzos**	**Dirección**	**Tipo de Discontinuidad**	**Resultado**
1	Probeta 1	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	Longitudinal	2,3,5,6	Rechazado
2	Probeta 2	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	Longitudinal	2,3,5,7	Rechazado
3	Probeta 3	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	Longitudinal	2,3,5,8	Rechazado
OBSERVACIONES								
Al realizar el ensayo de líquidos penetrantes cuando el revelador muestra existencias de fallas estas deben cumplir con los parámetros de aceptación y rechazo de la inspección visual.								
CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO								
1. La soldadura tiene fisuras **2.** Existen alguna discontinuidad entre la fusión de los pases de la soldadura y entre la soldadura y el metal base. **3.** En miembros principales, las mordeduras tienen más de 0.25 mm de profundidad en soldaduras transversales a los esfuerzos de compresión. **4.** Para soldaduras no principales, las mordeduras tienen profundidades mayores a 1 mm. **5.** La frecuencia de porosidad tubular en la superficie de soldadura de filete es mayor a 1 en cada 100 mm o 6 en 1200 mm de soldadura. **6.** El diámetro del poro es mayor de 2.4 mm, siendo este el máximo. **7.** La presentación de la soldadura varia conforme a lo presentado en 3.6 del código AWS D 1.5.								

Fuente: Elaboración Propia

Las probetas fueron rechazadas bajos los criterios de la normativa AWS D1.5, pero con fines de interpretación de discontinuidades, se procedió a realizar la inspección por ultrasonido.

7.2. Inspecciones volumétricas

Son aquellas inspecciones que permiten conocer que está sucediendo en el interior de la soldadura, por ejemplo, si se encuentra aire atrapado, escoria o algún tipo de discontinuidad.

7.2.1. Inspección por ultrasonido

Al momento de realizar en ensayo de ultrasonido, se observan varios defectos a simple vista que debieron ser reparados.

La principal y más larga falla hallada es la falta de penetración a en cordón. Esta discontinuidad se refleja en el equipo de ultrasonido y es catalogada como discontinuidad de Clase A.

Las discontinuidades presentes en la soldadura se detallan a continuación:

Inclusiones de escoria: Esta discontinuidad aparece cuando existe presencia de solidos metálicos y ni metálicos incrustados entre las capas de material de soldadura.

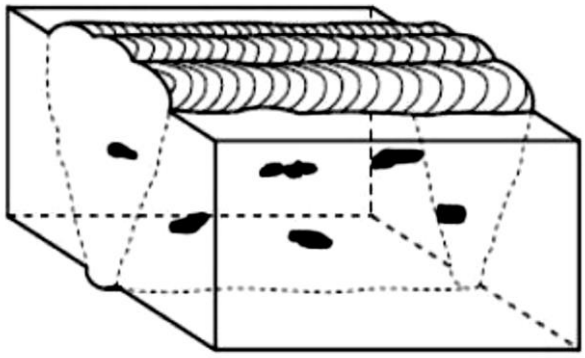


Ilustración 43: Inclusiones de escoria

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013).

Falta de fusión: la falta de temperatura que se puede presentar en diferentes partes de la soldadura podría ser el motivo de la falta de fusión.

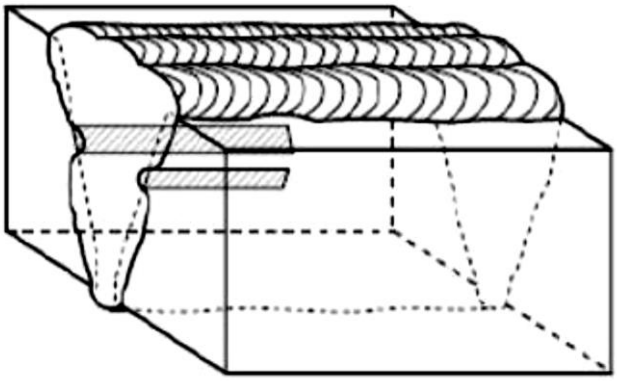


Ilustración 44:Falta de fusión

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013).

Porosidades: Esta discontinuidad se presenta cuando existe gas atrapado dentro de la soldadura en el proceso de solidificación, generalmente son de forma esférica de manera agrupada o dispersa.

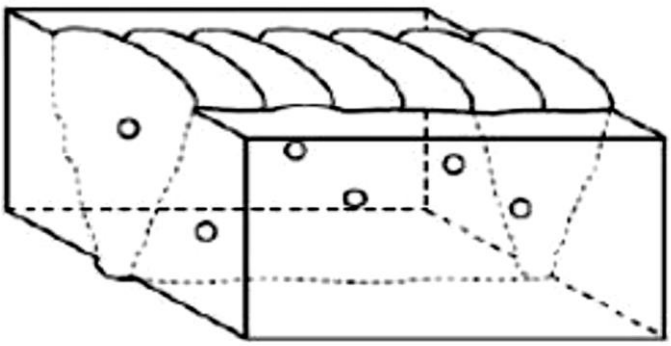


Ilustración 45:Porosidades

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013).

Grietas longitudinales: Esta discontinuidad se forma por la separación lineal debido a la presencia de esfuerzos internos, esta discontinuidad es tomada como peligrosa ya que tiende a propagarse a lo largo de la soldadura.

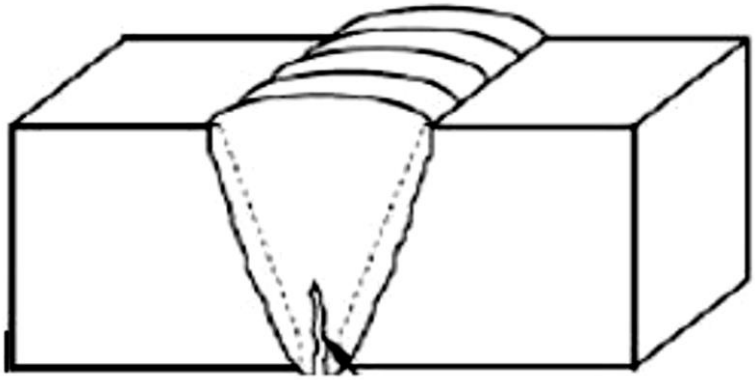


Ilustración 46: Grietas longitudinales

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013)

Cuando existen discontinuidades en las soldaduras, en la máquina de ultrasonido aparecen picos en donde se puede identificar el lugar exacto y profundidad de la discontinuidad como se muestra a continuación.

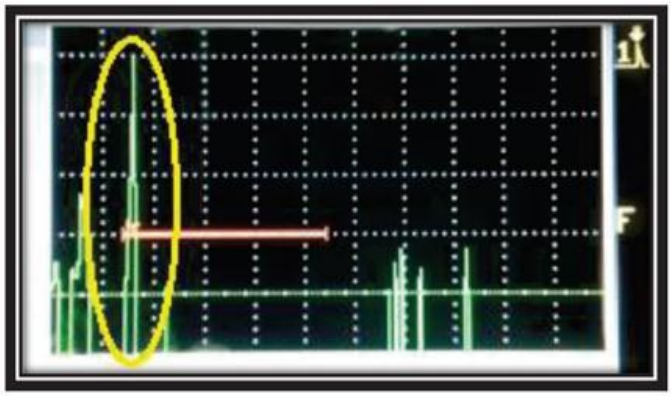


Ilustración 47: Discontinuidades en la soldadura identificadas por la máquina de ultrasonido

Fuente: (Romero Reyes & Proboste Contreras, 2013)

Tabla 12: Informe inspección por ultrasonido

INFORME DE INSPECCION POR ULTRASONIDO PARA SOLDADURAS EN PUENTES										
Fecha:		**03-09-2019**			**Materiales:**					
Lugar de inspección:		**PUCE**			**Técnica empleada:**					
Equipos:		**Ultrasonido**			**Resultados del ensayo:**		**Rechazado**			
Datos de la soldadura						**Evaluación**		**Distancia**		
N°	**Identificación**	**Proceso de soldadura**	**Tipo de junta**	**Conexión**	**Dirección**	**Tipo de Discontinuidad**	**Tipo de esfuerzo**	**x**	**y**	**Evaluación**
1	Probeta 1	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	1,3	Tensión	-1	1	Rechazada
2	Probeta 2	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	2,3	Tensión	-1	1	Rechazada
3	Probeta 3	SMAW	PJP_JUNTA EN V	Alma- Alma	Longitudinal	3,3	Tensión	-1	1	Rechazada
4										
5										
6										
CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO										
1. Inclusiones de escoria. **2.** Falta de fusión. **3.** Porosidades. **4.** Grietas longitudinales.										

Fuente: Elaboración Propia

8. CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Los procedimientos que se desarrollaron para realizar la propuesta de inspección, cumplen con los requerimientos de las normativas que se tomaron como referencia para el presente trabajo, además; la propuesta desarrollada junto con los procedimientos realizados, forman parte de un sistema de inspección y control de calidad del proceso de soldadura, por lo tanto, el objetivo principal se cumple.

Para realizar una correcta inspección de soldaduras en puentes de estructura metálica es suficiente realizar ensayos visuales y líquidos penetrantes para una inspección superficial debido a que si se usa el ensayo partículas magnéticas como complementario se entregaría la misma información ya obtenida con los ensayos nombrados anteriormente y esto solo implicaría una pérdida de tiempo y dinero. De la misma forma, para una inspección volumétrica basta con usar ensayos de ultrasonido siendo este el más completo ya que indica la posición exacta de la falla mientras que en un ensayo de radiografía indica la discontinuidad en un solo plano.

La propuesta desarrollada con formatos para registro de datos, es de gran ayuda al momento de realizar la inspección ya que consta de los tipos de discontinuidades que se pueden presenciar en el elemento, asignándolas de un número a cada una de ella, optimizando tiempos para así lograr un mayor alcance en la inspección.

Para obtener una buena soldadura es necesario realizarlas con personal calificado y certificado ya que una de las causas más comunes de discontinuidades es la manipulación inapropiada del electrodo por parte del soldador.

Es importante realizar las inspecciones para determinar falta de fusión debido a que la contaminación externa, escoria o capas de óxido que dificultan una fusión completa.

Una inspección visual rutinaria es importante porque ayuda a detectar fácilmente discontinuidades presentes en la soldadura como son por ejemplo el exceso o faltante de soldadura, porosidades superficiales, mordeduras y salpicaduras.

8.2. Recomendaciones

Basándose en el presente trabajo y según la teoría del mismo es recomendable para ensayos volumétricos, utilizar ultrasonido ya que en la radiografía industrial es difícil determinar la falta de fusión, debido a este ensayo muestra el resultado en 2 dimensiones mediante una placa radiográfica, mientras que en el ensayo de ultrasonido la falta de fusión actúa como un reflector en el que la señal de rebote es evidente en el equipo. Por otra parte, el ensayo de ultrasonido muestra el lugar exacto donde esta ubicada la discontinuidad y ésta sea corregida de una manera más eficiente.

Se recomienda que el inspector se guíe en el resumen colocado en las tablas 5, 6 y 7 y en el caso, que alguna discontinuidad se esté repitiendo continuamente será más fácil determinar su causa. Por ejemplo, la porosidad es un indicador de problemas en el proceso de soldadura. Falta o exceso del material de soldadura y otro tipo de discontinuidades surge por una incorrecta manipulación de los electrodos.

En el trabajo realizado existieron dificultades al momento de realizar algunos de los ensayos debido a salpicaduras en las probetas, por lo que se recomienda que la superficie esté libre de éstas, ya que no permiten una adecuada calibración de los instrumentos que se requiere utilizar para el ensayo de ultrasonido, además, causa problemas para la aplicación de tintas penetrantes y partículas magnéticas.

Se recomienda utilizar las tablas 5: Ensayos superficiales y tabla 6: Ensayos subsuperficiales en inspección de origen rutinario ya que estas no requieren de equipo especializado y se las pueden realizar con facilidad contando con el material y a la vez son económicos. Por lo que resulta más sencillo realizarlas en todo el puente.

Se recomienda que la inspección propuesta en la tabla 7: Ensayo volumétrico (Radiografía Industrial), al ser costoso comparado con los ensayos superficiales y subsuperficiales, se realice en las zonas más críticas del puente y adicionalmente en algunos elementos aleatorios de éste, más no en todos.

9. BIBLIOGRAFÍA

ACHE. (2016). *Guia para la redacción del plan de mantenimiento de puentes.* Madrid, España: ACHE.

American Institute of Steel Construction (AISC). (2010). *Specification for Structural Steel Buildings.* Chicago.

American Institute of Steel Construction,. (2010). Especificaciones AISC 360-10 para construcciones de Acero.

ASME V. (2010). *Nondestructive Examination.*

ASNT NDT. (2018). Discontinuidad entre metal base y soldadura.

AWS D1.5. (2002). *Bridge Welding Code – Steel.*

Barreno , A., & Martínez, D. (2016). Propuesta de manual para la inspección y evaluación de puentes de estructura mixta en el Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.

Calimet, L. (2018). guia de laboratorio para ensayos radiograficos.

Carrion Viramontes, Lomeli Gonzales, Quintana Rodriguez, & Martinez Madrid. (2003). *La evaluacion no destructiva de materiales estructurales y puentes.*

ClasificaciónDe. (2019). *ClasificaciónDe*. Obtenido de https://www.clasificacionde.org/tipos-de-puentes/

DeSoldadores.net. (17 de 09 de 2019). *DeSoldadores.net*. Obtenido de https://www.desoldadores.net/soldadura-smaw/posiciones-de-soldadura/

Espinoza, E. (2019). *ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EMPLEANDO TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS.* Quito.

F, R. B. (2013). *Ebook*. Obtenido de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/799/1/Romero_Reyes_Bernardo.pdf

Giraldo Giraldo Jaime Antonio. (2007). *Contol de calidad y ensayos no destructivos en la tuberia de presio de la central hidroeléctrica Huanchor.* Universidad Nacional de Ingeniería.

Hellier, C. (2003). *Handbook of Nondestructive Evaluation.*

Jurado Cabañes, C. (2013). *Puentes I: Evolución, Tipología, Cálculo, Construcción* (1 ed.). Madrid, España.

Met-L-Chek. (2019). *Instructor liquidos penetrantes.*

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Manual de control de calidad en la construcción de las obras de Infraestructura del Transporte. *Norma Ecuatoriana Vial*. Ecuador: NEVI 12.

Murillo Sigero, A. (2010). Análisis de defetos y como evitarlos en soldaduras de arco SMAW y SAW longitudinales y circunferenciales en ductos de transporte de hidrocarburos. Tabasco.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *NEC-SE-AC ESTRUCTURAS DE ACERO.* Quito.

Partesdel.com, R. e. (11 de 2017). *Partesdel.com.* Obtenido de https://www.partesdel.com/puente.html.

Pereira, U. T. (2011). ensayos de ultrasonido.

Romero Reyes, B., & Proboste Contreras, F. (2013). *Aplicación del ultrasonido al control de calidad de procesos de soldadura.* Chile.

Santos Villacres, A. F. (2012). Desarrollo e implemento de un sistema de control de calidad de soldaduras con el uso de ensayos nos destructivos en puentes metalicos utilizando la norma AWS D1.5. *Desarrollo e implemento de un sistema de control de calidad de soldaduras con el uso de ensayos nos destructivos en puentes metalicos utilizando la norma AWS D1.5*. Quito, Pichincha, Ecuador.

SCI Control & Inspección. (26 de Junio de 2019). Obtenido de https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/inspeccion-por-particulas-magneticas/

Shackerlford. (1998). radiografia.

Smith. (1998). radiografias.

SOLDARGEN. (2019). *Defectologia de soldaduras.*

UNLP. (2007). *Ensayos por la tecnica de rayos X.* Buenos Aires.

Villacís Soria, J. (2011). ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS. *ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS*. Ambato, Tungurahua, Ecuador.