



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Procesos de inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autor

Junior Paul Vasquez Taboada

Asesor

Dr. Víctor Raúl Coca Ramírez


VICTOR RAUL COCA RAMIREZ
INGENIERO QUIMICO
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48044

Huacho – Perú
2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

INFORMACION DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Junior Paul Vasquez Taboada	44786507	11-08-2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Víctor Raúl Coca Ramírez	15601160	https://orcid.org/0000-0002-2287-7060
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO- MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Máximo Tomas Salcedo Meza	15602588	https://orcid.org/0000-0003-1993-2513
Edwin Guillermo Gálvez Torres	44067559	https://orcid.org/0000-0002-7421-4453
Raúl Minaya Huaman	04014690	https://orcid.org/0000-0002-7366-7565

Vasquez Taboada Junior Paul 2026-001335

Procesos de inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes

 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FIQyM - PREGRADO - 2026

 Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026

 Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:old::1:3497649702

Fecha de entrega

4 mar 2026, 12:19 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 mar 2026, 12:26 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_DE_JUNIOR_PAUL_VASQUEZ_TABOADA.docx

Tamaño del archivo

1.4 MB

73 páginas

11.432 palabras

67.593 caracteres

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

▸ Bibliografía

Exclusiones

▸ N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

17%  Fuentes de Internet

4%  Publicaciones

11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, por ser ellos quienes estuvieron apoyándome en cada etapa de este proceso. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, por creer y confiar en mí aun cuando dudaba y por su acompañamiento lleno de paciencia y amor.

Cada logro alcanzado lleva consigo sus sacrificios.

Esta tesis es el resultado de su ejemplo, su fe puesta en mí, y sus enseñanzas diarias.

No me alcanzan las palabras para agradecerles todo lo que hicieron por mí, siempre los llevaré presentes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mayor agradecimiento a quienes hicieron posible este trabajo de tesis, a mi asesor por sus constantes consejos, su paciencia y a los valiosos comentarios que me daba.

Su colaboración y confianza fueron muy importantes en cada etapa de la realización de esta tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. . Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación	3
1.4.1. Justificación Teórica.....	3
1.4.2. Justificación Práctica	3
1.4.3. Justificación Metodológica	3
1.4.4. Justificación de Relevancia Social.....	4
1.5. Delimitaciones del estudio.....	4

CAPITULO II: CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. Investigaciones Internacionales.....	5
2.1.2. Investigaciones Nacionales.....	8
2.2. Bases Teóricas	10
2.2.1. Procesos de soldadura	10
2.2.2. Principales procesos de soldadura por arco.....	11
2.2.3. Tipos de juntas soldadas y sus características.	12
2.2.4. Defectos comunes en juntas soldadas	13
2.2.5. Técnicas de soldadura y su impacto en la calidad de las uniones	14
2.2.6. Calificación de procedimientos y soldadores	15
2.2.7. Relación entre procesos de juntas soldadas e inspección por líquidos penetrantes.....	17
2.2.8. Ensayos Destructivos	17
2.2.9. Ensayos No Destructivos (END)	18
2.2.10. Líquidos Penetrantes	22
2.2.11. Normativas ISO 3452 y ASTM E165 en Inspección de Uniones Soldadas por Líquidos Penetrantes.	26
2.3. Definición de términos básicos.....	28
2.4. Formulación de Hipótesis	30
2.4.1. Hipótesis general.....	30

2.4.2. Hipótesis específicas	30
2.5. Operacionalización de las variables	30
CAPITULO III: METODOLOGIA	32
3.1. Diseño metodológico.	32
3.1.1. Tipo de investigación.	32
3.1.2. Nivel de investigación.	32
3.1.3. Diseño de investigación.....	32
3.1.4. Enfoque de la investigación.	33
3.2. Población y muestra	33
3.2.1. Población	33
3.2.2. Muestra.....	33
3.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos.....	33
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.....	34
CAPITULO IV: RESULTADOS	35
4.1. Elaboración del Manual de Procedimientos para la inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes.	35
4.2. Efectividad del test visual de líquidos penetrantes	37
4.2.1. Ventajas	37
4.2.2. Limitaciones	38
4.3. Comparación con Otros Métodos No Destructivos	38

CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	44
5.1. Discusión de resultados	44
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
6.1. Conclusiones.....	45
6.2. Recomendaciones.....	46
CAPITULO VII: FUENTES DE INFORMACION.....	47
7.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ventajas y desventajas de la técnica de Inspección Visual</i>	19
Tabla 2 <i>Ventajas y desventajas de la técnica de Líquidos Penetrantes</i>	19
Tabla 3 <i>Ventajas y desventajas de la técnica de Partículas Magnéticas</i>	20
Tabla 4 <i>Ventajas y desventajas de la técnica de Partículas Magnéticas</i>	20
Tabla 5 <i>Ventajas y desventajas de la técnica de Radiografía Industrial</i>	21
Tabla 6 <i>Ventajas y desventajas de la técnica de Corrientes inducidas</i>	21
Tabla 7 <i>Comparación de los métodos de Ensayos no destructivos</i>	22
Tabla 8 <i>Clasificación por Método de Remoción</i>	23
Tabla 9 <i>Comparación entre las Normativas ISO 3452-1:2021 y ASTM E165/E165M-23</i>	28
Tabla 10 <i>Operacionalización de las variables</i>	30
Tabla 11 <i>Comparación de END mediante POD</i>	38
Tabla 12 <i>Comparación de varios métodos de END</i>	39
Tabla 13 <i>Análisis de Costos y Operatividad de LP vs UT y RT</i>	40
Tabla 14 <i>Principales normas aplicables a la inspección por LP</i>	40

RESUMEN

Esta investigación trata sobre la elaboración de un manual para la inspección de soldaduras mediante líquidos penetrantes. Esto es importante porque ayuda a encontrar problemas en la superficie que podrían dañar la estructura.

Los líquidos penetrantes funcionan penetrando a través de cualquier defecto en la superficie, lo que permite ver fallas como grietas o poros, luego se utiliza un revelador que indica la falla. Es fácil de usar, de bajo costo y aplicable en numerosas industrias, como limitantes no detecta fallas profundas, no aplicable a materiales porosos y depende de que la superficie esté limpia y de la experiencia del que revisa.

En el estudio, se compara este método de ensayo con otras técnicas, como radiografías y ultrasonido. Cada una tiene sus ventajas, pero los líquidos penetrantes son buenos para encontrar fallas en la superficie y sobre todo no cuestan mucho. El complemento con otras técnicas permite encontrar fallas debajo de la superficie y dentro de la soldadura, lo que hace que las revisiones sean más confiables.

Es importante seguir las normas internacionales como ASTM E165, AWS D1.1 y ASME BPVC Sección V con la finalidad de asegurarse de que las inspecciones sean confiables y reproducibles. También es clave que los inspectores estén bien capacitados y certificados para evitar errores y encontrar las fallas con precisión.

Al finalizar esta investigación se entrega una metodología para utilizar bien esta técnica y de complementarla con otras para mejorar la seguridad y la calidad en las industrias que usan soldaduras. Ayuda a que el trabajo sea más profesional y a que los controles de calidad sean mejores, siguiendo las normas internacionales.

Palabras Claves: Líquidos penetrantes; Juntas soldadas; Ensayos no destructivos (END); Inspección visual; Detección de defectos superficiales.

ABSTRACT

This research focuses on developing a manual for weld inspection using liquid penetrant testing. This is important because it helps identify surface defects that could damage the structure.

Liquid penetrant testing works by penetrating through any surface defects, revealing flaws such as cracks or porosity. A developer is then used to indicate the flaw. It is easy to use, inexpensive, and applicable in numerous industries. Its limitations include not detecting deep flaws, its inapplicability to porous materials, and its reliance on a clean surface and the experience of the inspector.

In this study, this testing method is compared with other techniques, such as radiography and ultrasound. Each has its advantages, but liquid penetrant testing is effective at finding surface flaws and, above all, is inexpensive. Combining it with other techniques allows for the detection of flaws below the surface and within the weld, making inspections more reliable. It is important to follow international standards such as ASTM E165, AWS D1.1, and ASME BPVC Section V to ensure reliable and reproducible inspections. It is also crucial that inspectors are well-trained and certified to prevent errors and accurately identify defects.

This research concludes with a methodology for the effective use of this technique and its integration with other methods to improve safety and quality in industries that utilize welding. It contributes to more professional work practices and improved quality control, adhering to international standards.

Keywords: Liquid penetrant testing; Welded joints; Non-destructive testing (NDT); Visual inspection; Surface defect detection.

INTRODUCCIÓN

La inspección de juntas soldadas representa un aspecto crítico en la industria de la fabricación y construcción, dado que garantiza la integridad estructural y la seguridad de las estructuras. Las soldaduras a veces tienen fallas como grietas, poros o partes sin soldar bien, lo que las puede hacer más débiles. Por eso, es importante inspeccionarlas bien para encontrar esos defectos a tiempo y evitar problemas graves.

Una forma común de inspeccionar las soldaduras es con líquidos penetrantes (LP). Se pone un líquido especial que se mete por las grietas. Después de un rato, se limpia el líquido de más y se usa un revelador que hace que las grietas se vean. Aunque es útil, este método no detecta fallas muy profundas y depende de que la superficie esté bien limpia y de la habilidad del que inspecciona.

Hay otras técnicas de inspección, como con rayos X o ultrasonido, que detectan fallas internas o subsuperficiales, pero son más costosas y complicadas. En cambio, el método de líquidos penetrantes es más fácil, rápido y de bajo costo. En esta investigación se ha elaborado un manual para la inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes, siguiendo las normas internacionales, para que las inspecciones sean mejores en las fábricas.

Este manual será de mucha importancia en la industria de la construcción, las fábricas y las empresas de petróleo, donde las soldaduras tienen que ser seguras. El manual servirá de guía para que las inspecciones sean mejores, y para que los inspectores puedan aplicar las normas internacionales actualizadas. De esta manera, mejoramos la calidad, la seguridad y preservamos el medio ambiente al evitar fallas y desperdicios.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

La inspección de uniones soldadas es muy importante en la industria manufacturera y de la construcción, ya que asegura que las estructuras sean seguras y fuertes. Las uniones soldadas pueden tener defectos como grietas, poros o falta de unión, lo cual puede reducir la resistencia de las estructuras. Por eso, es clave utilizar técnicas de inspección confiables y altamente eficaces para encontrar y evaluar estos defectos de forma rápida y precisa.

Una de las técnicas más utilizadas para inspeccionar las uniones soldadas es con la técnica de líquidos penetrantes (LP). Esta técnica utiliza un líquido especial que se aplica en la superficie de la unión soldada. El líquido penetra en los pequeños espacios de la superficie. Después de un tiempo, se quita el líquido sobrante y se aplica un producto que hace que los defectos sean más fáciles de detectar por el inspector.

Aunque se utiliza con mucha frecuencia, la técnica de LP presenta ciertas limitantes. Solo puede encontrar defectos en la superficie o justo debajo de ella. Los defectos internos pueden no verse si no llegan a la superficie. Además, qué tan bien funcione la técnica depende de la limpieza de la superficie, la temperatura, la humedad y la experiencia del inspector.

Otra desventaja es que los líquidos penetrantes pueden ser perjudiciales para la salud y el ambiente si no se toman las debidas precauciones. Algunos contienen químicos que pueden irritar la piel o causar problemas para respirar. Tirarlos de forma incorrecta puede contaminar el suelo y el agua.

Para solucionar estos problemas, se han creado otras formas de inspección, como la radiografía industrial y el ultrasonido. Estos métodos pueden encontrar

defectos por dentro y por fuera de las uniones soldadas, y son más precisos que los líquidos penetrantes. Aun así, también tienen sus problemas, como que se necesita equipo especial y personas capacitadas, y que son ensayos demasiado costosos.

En conclusión, la inspección de uniones soldadas con líquidos penetrantes todavía se usa mucho porque es fácil y barata. Aun así, es importante saber qué problemas tiene y usar otros métodos si es necesario. También es muy importante tomar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y al ambiente cuando se aplican líquidos penetrantes.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles serán los procedimientos para inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la efectividad de los procesos de inspección de juntas soldadas mediante líquidos penetrantes en comparación con otros métodos de inspección no destructiva?
- ¿Qué tipos de defectos en juntas soldadas son más difíciles de detectar utilizando líquidos penetrantes y cuáles son las razones detrás de esta dificultad?
- ¿Cómo afectan las normativas y estándares de calidad a la implementación de procesos de inspección con líquidos penetrantes en la industria?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un Manual de Procedimientos para la inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes

1.3.2. . Objetivos específicos

- Analizar la efectividad de los líquidos penetrantes en la detección de diferentes tipos de defectos en juntas soldadas.
- Comparar los resultados de la inspección con líquidos penetrantes con los obtenidos mediante otros métodos de inspección no destructiva, como radiografía y ultrasonido.
- Investigar las normativas y estándares aplicables a la inspección de juntas soldadas y su impacto en la práctica industrial.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación Teórica

La inspección de soldaduras con líquidos penetrantes (LP) se basa en la física para encontrar fallos superficiales en materiales sin poros. Es una técnica sencilla y buena para la inspección no destructiva (NDT). La técnica usa la capilaridad para que los líquidos penetrantes entren en los fallos y se puedan ver. Conocer esto ayuda a crear métodos de inspección más exactos y buenos, lo que ayuda a la ingeniería de procesos y la calidad de la soldadura.

1.4.2. Justificación Práctica

En la práctica, la inspección con líquidos penetrantes es rápida y encuentra defectos que no se ven con la inspección visual normal. Se usa en la construcción, la manufactura y la industria petroquímica, donde las soldaduras deben ser seguras para el buen funcionamiento de las estructuras. Investigar esto puede mejorar los procedimientos de inspección y asegurar la calidad y seguridad de los productos.

1.4.3. Justificación Metodológica

La investigación comparará la utilidad de los líquidos penetrantes con otros métodos de inspección no destructiva, como la radiografía y el ultrasonido. Esto

mostrará los puntos fuertes y débiles de cada técnica para encontrar diferentes tipos de defectos en las soldaduras. También se estudiarán las mejores formas de usar líquidos penetrantes, lo que ayudará a crear guías para la industria. Combinar teoría y práctica hará que los resultados sean útiles en situaciones reales.

1.4.4. Justificación de Relevancia Social

Esta investigación ayuda a que las estructuras soldadas sean más seguras, lo cual es importante para la infraestructura y las industrias. Encontrar pronto los defectos en las soldaduras puede evitar problemas graves, salvar vidas y reducir los costos de reparaciones y accidentes. Ayudar a que se usen métodos de inspección mejores ayuda a que las industrias sean sostenibles, reduciendo el desperdicio de materiales y recursos. Esta investigación es importante para la técnica, la sociedad y la economía.

1.5. Delimitaciones del estudio

Esta investigación, espacialmente se desarrolló dentro de los alrededores de la localidad de Huacho y la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Temporalmente se efectuó durante los meses de Julio a diciembre del año 2024. El Manual nos servirá como guía de aplicación para los procesos de inspección de uniones soldadas con líquidos penetrantes.

CAPITULO II: CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones Internacionales

Aguilar (2023), en su proyecto lo ejecutó con el fin de determinar la mejor combinación de las tintas penetrantes no convencionales, que tengan una máxima aplicabilidad en la inspección de juntas soldadas para la detección de discontinuidades superficiales según el código AWS D1.1. En el campo metodológico, se detallan los equipos empleados para el proceso del experimento, mediante un nivel exploratorio, descriptivo y bibliográfico, permitiendo definir los procesos en función de las propiedades penetrantes que tienen las combinaciones, en función de su beneficio, por lo que se escoge aceites como el Girasol y Johnson y tinte como la mora, la remolacha y el achiote, en un tiempo delimitado de 5 y 10 minutos, según el software especializado. El experimento se dio, mediante el empleo de tintas no convencionales elaboradas, continuando con la evaluación en un registro de datos; el cual es comparado con la evaluación de tintas convencionales donde se dio el registro adecuado, finalizando con la comparación entre ambos resultados. Finalmente, se procedió a la comparación de las combinaciones no convencionales con las tintas estandarizadas, en donde se visualizaron las grietas, falta de fusión, cráteres, perfiles, tamaños nominales, socavaduras y poros, donde se tienen como mejores resultados las combinaciones 4, 7, 8 y 11, el cual se obtiene de la fusión entre girasol- achiote, así como la mezcla de Johnson- achiote por 5 y 10 minutos respectivamente y se realizaron las tabulaciones de las discontinuidades definidas de manera total evaluando su aplicabilidad en cada una de ellas.

En la investigación dirigida por (Gómez Trujillo & Izquierdo Serrano, 2021) S. Gómez y J. Izquierdo (2021), indica que valoraron el ensayo de tintas penetrantes

de tipo fluorescentes, empleadas a las uniones fusionadas, ubicadas en el techo de una caldera de 1000 litros. Durante el ensayo, se identificó y analizó varias discontinuidades superficiales existentes de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo, según las normas ASTM E 1417, ASTM E 165, ASTM E1219, AWS D1.1 y ASME PARTE VIII. Donde las tablas incluidas, exponen las posibles causas raíz de las vulnerabilidades, así como las soluciones adecuadas que se pueden brindar; mientras que en cuanto a las conexiones soldadas de la parte superior de la caldera de 1000 l, la funda para el cable exterior se ha dividido en 4 partes y el cable interior en 2 partes, para un uso más eficiente del control de manipulación y limpieza, por lo que el tiempo fue de 3.36 min, donde el tiempo de penetración fue de 15 min y el tiempo de desarrollo fue de 10 min en cada cuadrante, respectivamente.

Miño (2020) en su proyecto de investigación nos menciona que se aborda una metodología detallada para identificar, analizar y evaluar discontinuidades presentes en uniones soldadas de estructuras metálicas, utilizando ensayos no destructivos como la inspección visual, los líquidos penetrantes, las partículas magnéticas y el ultrasonido, todo ello basado en lo estipulado por el Código AWS D1.1. Actualmente, el sector de la construcción con estructuras metálicas muestra un crecimiento notable en el país; sin embargo, la falta de aplicación de inspecciones no destructivas en las juntas soldadas puede incrementar significativamente el riesgo de fallos estructurales, lo cual representa un tema crítico, considerando que estos elementos están diseñados para soportar cargas y tensiones, y que el producto final suele estar en contacto directo con las personas, aumentando así la necesidad de un riguroso control de calidad. El documento proporciona una guía práctica y eficaz para llevar a cabo inspecciones de soldaduras en este ámbito industrial, cumpliendo con los estándares internacionales establecidos por normas como las prácticas

recomendadas de la ASTM y el código ASME Sección V. A partir de estas normativas se desarrollaron y validaron los procedimientos de inspección aplicados a probetas elaboradas conforme al alcance del AWS D1.1. Como resultado, se comprobó la eficacia de dichos métodos para detectar discontinuidades tanto superficiales como internas y subsuperficiales, alcanzando índices de validación superiores al 90% en comparaciones como inspección visual versus líquidos penetrantes visibles, partículas magnéticas frente a líquidos fluorescentes, y líquidos penetrantes visibles junto con ultrasonido comparados con la radiografía.

Pérez (2020), en su estudio presenta una investigación centrada en la creación de un Manual de Procedimientos para la inspección de juntas soldadas a tope y en T en tanques de almacenamiento de petróleo hechos con acero ASTM A36. El propósito fundamental es definir un proceso común para encontrar y juzgar imperfecciones usando métodos de pruebas no destructivas como la inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido. La forma de trabajo incluye la construcción de un modelo pequeño de un tanque atmosférico de petróleo, el diseño de muestras con uniones a tope y en T con fallas simuladas, y el uso cuidadoso de los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido según la norma API 650. También, se incluye la creación detallada de procesos, reglas para aceptar o rechazar, y formatos para registrar los resultados. Se usarán equipos calibrados y personas con certificado para asegurar la exactitud y validez de las inspecciones. Los resultados indican que los procedimientos desarrollados son buenos para identificar diferentes tipos de imperfecciones en la superficie e internas, como mordeduras, falta de unión, porosidad y grietas. La confirmación se hizo comparando los resultados obtenidos con los estándares y valores de referencia, mostrando un pequeño error, lo que confirma que el manual es confiable para usar en la industria petrolera. Las

conclusiones dicen que es importante tener un manual práctico, claro y con normas que asegure la buena calidad de la inspección de soldaduras en tanques de almacenamiento, evitando problemas en la estructura que puedan causar pérdidas de dinero o daños al medio ambiente. Se aconseja capacitar constantemente al personal y revisar otras técnicas adicionales para mejorar el control de calidad en soldaduras.

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Pachecho (2021) nos da a entender que la investigación de suficiencia profesional se centra en la implementación de la norma API 650, con el propósito de verificar y controlar los procesos de soldadura aplicados a los tanques espesadores pertenecientes al proyecto minero "Ampliación Toquepala". Este proyecto contempla la construcción de tres tanques destinados a la contención atmosférica de sustancias como cobre (Cu), molibdeno (Mo), entre otras. Para la ejecución de las uniones soldadas en estos tanques, se ha seleccionado el proceso de soldadura FCAW (Flux-Cored Arc Welding), el cual, aunque presenta un costo operativo relativamente alto, cumple satisfactoriamente con los parámetros de calidad y productividad exigidos en este tipo de estructuras industriales.

Debido a las condiciones ambientales de la zona de Toquepala, caracterizada por sus variaciones térmicas abruptas, se ha establecido como estrategia que las labores de soldadura se realicen principalmente durante las horas del día. Esto se debe a que las temperaturas más estables de la mañana minimizan el riesgo de contaminación del proceso FCAW, el cual es especialmente sensible a los factores externos cuando se trabaja a la intemperie. En ese sentido, se dispone el uso de biombos individuales para cada soldador con el fin de proteger la zona de trabajo y asegurar la calidad del cordón de soldadura. En conclusión, este estudio proporciona una guía técnica capaz de asegurar la integridad estructural de los tanques

espesadores, con la garantía de que el diseño como los procedimientos de construcción cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad, conforme lo estipula la norma API 650.

En la tesis de Alanoca R. (2021) se evalúa el control de calidad de uniones soldadas en estructuras metálicas. Se usaron métodos de ensayo visual y líquidos penetrantes, siguiendo el código AWS D1.1:2015. Esta investigación, hecha en la Universidad del Altiplano en Puno, busca estudiar la calidad de estas uniones con un enfoque cuantitativo y descriptivo. Se aplicaron técnicas de inspección no destructivas para encontrar y mejorar las condiciones de las estructuras soldadas. Los resultados enseñan que seguir los pasos del código AWS ayuda a que el control de calidad sea bueno, y al final se aprueba la estructura revisada.

La tesis de Suarez (2020) nos dice que utilizar los líquidos penetrantes para inspeccionar soldaduras tiene sus bases en la Norma ASME B31.3 de 2018, para Tuberías de Proceso. Esta Norma es muy importante para asegurar que las juntas soldadas en sistemas de tuberías soporten las condiciones industriales. Esta investigación se realizó en el Proyecto Carbon Steel Pipes and Spools de METRAIN S.A.C. Allí se utilizaron ensayos no destructivos con líquidos penetrantes para ver si las soldaduras estaban bien hechas. Se vio que los reportes de inspección cumplen con lo que pide el código ASME B31.3. Tienen la información clave para saber qué fallas se encontraron y para analizar bien los datos. Así, la tesis deja claro que usar esta técnica de forma correcta, siguiendo una norma internacional, sirve para encontrar defectos en la superficie y para confiar en cómo se revisa todo. Esto es muy importante para que las tuberías industriales sean seguras y de buena calidad en los proyectos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Procesos de soldadura

Los procesos de la soldadura son muy importantes en la industria manufacturera en general y de la construcción. Sirve para unir metales o no metales usando calor. Según la American Welding Society (AWS), esto se puede hacer con o sin presión, y usando o no otros materiales. La idea es que la unión sea fuerte y dure mucho, para que las piezas se conviertan en una sola cuando se calientan.

El principio básico de la mayoría de los procesos de soldadura por arco involucra la formación de un arco eléctrico, que constituye un flujo continuo de electrones a través de un medio gaseoso, generando luz y calor. Este arco se establece cuando existe una diferencia de potencial suficiente entre el electrodo y la pieza a soldar, creando temperaturas que pueden superar los 5000°C (9000°F) en su centro. Esta elevada concentración de energía permite la fusión localizada del metal base y, cuando corresponde, del material de aporte, formando tras su solidificación la unión permanente entre las piezas.

2.2.1.1. Establecimiento del arco eléctrico.

El arco eléctrico se forma cuando se produce un pulso de voltaje suficientemente grande entre las piezas a soldar. Dependiendo del proceso específico, este fenómeno puede ocurrir de diferentes maneras:

- En soldadura TIG (GTAW): mediante el encendido por gatillo o por contacto momentáneo del electrodo con la pieza (encendido por golpe)
- En soldadura MIG/MAG (GMAW): cuando el alambre-electrodo toca la superficie de trabajo, generando un cortocircuito que funde su extremo e inicia el arco

Para mantener una soldadura de calidad, el arco debe permanecer estable durante todo el proceso, lo que requiere parámetros adecuados de voltaje, amperaje y velocidad de alimentación del electrodo según los materiales a unir y sus espesores.

2.2.2. Principales procesos de soldadura por arco.

Los procesos de soldadura por arco aprobados por la AWS se clasifican según sus características específicas. A nivel industrial y en el sector metalmecánico, los más empleados son SMAW, GMAW, GTAW, FCAW y SAW, cada uno con aplicaciones particulares según las necesidades del proyecto.

2.2.2.1. Soldadura por arco metálico con gas protector (GMAW/MIG-MAG).

El proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding), también conocido como MIG-MAG, utiliza un hilo (alambre) para soldar que se alimenta automáticamente a velocidad constante como electrodo. Durante el proceso:

- Se genera un arco entre el metal base y el hilo
- El calentamiento resultante funde el alambre proporcionando la unión
- Un gas protector (inerte o reactivo) protege la soldadura de la atmósfera y evita la oxidación

Este proceso opera en corriente directa, usualmente con el alambre como electrodo positivo. Las corrientes de soldadura varían desde aproximadamente 50 hasta 600 amperios, con voltajes entre 15V y 32V. Se logra un arco autoestabilizado mediante un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y alimentación constante del alambre.

Entre sus ventajas destaca:

- Permite soldar en todas las posiciones
- Es aplicable a diversos metales comercialmente importantes (acero, aluminio, acero inoxidable, cobre)

- Puede soldar materiales desde 0.76 mm de espesor en cualquier posición
- Es un proceso semiautomático de alta productividad

2.2.2.2. Otros procesos de soldadura por arco relevantes. Si bien el proceso GMAW es ampliamente utilizado, existen otros métodos importantes con aplicaciones específicas:

- **SMAW (Shielded Metal Arc Welding):** utiliza un electrodo revestido que al fundirse proporciona tanto el metal de aporte como la protección gaseosa.
- **GTAW (Gas Tungsten Arc Welding):** emplea un electrodo de tungsteno no consumible, requiere mayor habilidad del soldador al ser un proceso manual y de técnica más meticulosa.
- **FCAW (Flux Cored Arc Welding):** utiliza un alambre tubular con núcleo de fundente, pero no es apropiado para determinadas aplicaciones debido a sus altos amperajes y voltajes.
- **SAW (Submerged Arc Welding):** el arco se mantiene bajo una capa de fundente granular, requiriendo también elevados parámetros eléctricos.

2.2.3. Tipos de juntas soldadas y sus características.

Las configuraciones de juntas soldadas determinan en gran medida tanto el procedimiento a utilizar como la calidad final de la unión. Según la información técnica del sector, las principales configuraciones incluyen:

2.2.3.1. Junta a tope.

Este diseño implica que las piezas se colocan en el mismo plano y se unen por sus bordes. Las juntas a tope pueden ser de:

- Ranura simple (preparación por un solo lado)
- Ranura doble (preparación por ambos lados)
- Con diferentes ángulos de bisel según el espesor

La designación común para las posiciones de soldadura en este tipo de juntas utiliza la nomenclatura "G": 1G (plana), 2G (horizontal), 3G (vertical) y 4G (sobre cabeza).

2.2.3.2. Junta en T.

Se forma cuando una pieza se posiciona perpendicular a otra formando una configuración en "T". Dependiendo de la aplicación, puede requerir:

- Soldadura de filete
- Biselado para garantizar mejor penetración
- Preparaciones especiales para distribución de esfuerzos

Las posiciones típicas para soldaduras de filete en juntas en T se designan como: 1F (plana), 2F (horizontal), 3F (vertical) y 4F (sobre cabeza).

2.2.3.3. Consideraciones técnicas para el diseño de juntas.

El diseño de juntas requiere especificar múltiples variables como:

- Tipo de unión ("T" o a tope)
- Tipo de soldadura (filete o ranura)
- Si es simple o doble
- Ángulo de ranura
- Material de soporte
- Métodos de limpieza de raíz

La selección correcta de estas variables influye directamente en la integridad estructural de la unión, su resistencia mecánica y la posibilidad de detectar defectos mediante ensayos no destructivos.

2.2.4. Defectos comunes en juntas soldadas

Los defectos en soldadura representan discontinuidades que pueden comprometer la integridad y funcionamiento de las uniones. Su identificación y

caracterización son fundamentales para los procesos de inspección, especialmente cuando se emplean métodos como los líquidos penetrantes.

2.2.4.1. Clasificación de defectos por su naturaleza.

Los defectos más frecuentes incluyen:

- **Porosidad:** cavidades formadas por gas atrapado durante la solidificación
- **Inclusiones:** material no metálico atrapado en el metal de soldadura
- **Falta de fusión:** unión incompleta entre el metal de soldadura y el metal base
- **Falta de penetración:** insuficiente profundidad de la soldadura
- **Socavaciones:** ranuras o depresiones en el metal base adyacente a la soldadura
- **Grietas:** fracturas que pueden presentarse en el cordón o en la zona afectada térmicamente
- **Distorsiones:** deformaciones causadas por contracciones térmicas desiguales

Estos defectos están directamente relacionados con las variables del proceso de soldadura, como corriente, voltaje, velocidad de avance, temperatura de precalentamiento y técnica del soldador.

2.2.5. Técnicas de soldadura y su impacto en la calidad de las uniones

La calidad final de una unión soldada depende significativamente de las técnicas aplicadas y el control de variables durante el proceso. Según la documentación técnica del sector, las principales variables que influyen en la calidad son:

2.2.5.1. Variables críticas del proceso.

- **Corriente de soldadura:** determina la tasa de deposición, penetración y velocidad de fusión
- **Voltaje del arco:** afecta el ancho del cordón y la apariencia superficial
- **Velocidad de avance:** influye en la geometría del cordón y penetración

- **Técnica de progresión:** ascendente o descendente según posición y material
- **Temperatura de precalentamiento:** crucial para evitar defectos en determinados materiales
- **Limpieza entre pases:** impacta directamente en la calidad metalúrgica

La adecuada selección y control de estos parámetros requiere procedimientos de soldadura bien definidos (WPS - Welding Procedure Specification) que documenten todos los aspectos relevantes para garantizar reproducibilidad y calidad.

2.2.5.2. Impacto de la técnica en soldaduras en diferentes posiciones.

Las técnicas específicas varían según la posición de soldadura:

- **Soldadura en posición plana (1F/1G):** permite mayor control y facilidad de ejecución
- **Soldadura horizontal (2F/2G):** requiere ajustes para contrarrestar el efecto de la gravedad en el metal fundido
- **Soldadura vertical (3F/3G):** puede requerir progresión ascendente o descendente según el caso
- **Soldadura sobre cabeza (4F/4G):** la más desafiante técnicamente, donde el metal tiende a caer¹⁹

La habilidad del soldador para adaptar su técnica a estas diferentes posiciones es crítica para la calidad final, lo que justifica los rigurosos procesos de calificación descritos en la documentación técnica.

2.2.6. Calificación de procedimientos y soldadores

La calificación de procedimientos de soldadura y de los soldadores es un aspecto fundamental para asegurar la calidad de las uniones soldadas en aplicaciones industriales.

2.2.6.1. Procedimientos de soldadura (WPS).

Un procedimiento de soldadura especificado (WPS) documenta todas las variables esenciales y no esenciales que deben seguirse para realizar una soldadura de calidad. De acuerdo con experiencia laboral, se deben tomar en cuenta las especificaciones siguientes:

- Diseño de junta detallado
- Especificación completa del material base
- Características eléctricas del proceso
- Técnicas de aplicación
- Especificación del metal de aporte¹⁹

El primer paso para garantizar una buena calidad y afinidad de los materiales empleados es la elaboración y validación de los procedimientos señalados.

2.2.6.2. Calificación de soldadores.

Es imprescindible la evaluación de la capacidad de los soldadores para lograr una correcta ejecución de los procedimientos, esto incluye:

- Identificación de necesidades de calificación según procesos, posiciones y materiales
- Interpretación del procedimiento de soldadura especificado
- Verificación del equipo y materiales
- Supervisión durante la ejecución de la prueba
- Aplicación de ensayos para evaluar la calidad
- Documentación formal de la calificación¹⁹

Esta evaluación es vital para garantizar que el personal posea las habilidades técnicas necesarias para ejecutar uniones soldadas de alta calidad, lo que repercute directamente en la confiabilidad de las estructuras y componentes fabricados.

2.2.7. Relación entre procesos de juntas soldadas e inspección por líquidos penetrantes

Al soldar, pueden salir defectos que hay que detectar con métodos de inspección buenos. Los líquidos penetrantes son técnicas de inspección que permiten detectar si hay defectos en la superficie de las soldaduras, sin modificar las estructuras.

Los líquidos penetrantes resultan muy efectivos para desperfectos como:

- Grietas superficiales
- Porosidad abierta a la superficie
- Faltas de fusión superficiales
- Socavaciones

La selección del proceso de soldadura influye directamente en el tipo y probabilidad de defectos que pueden presentarse, lo que a su vez determina la efectividad del método de inspección por líquidos penetrantes. Por ejemplo, si se suelda con GMAW, se presentan defectos distintos que si usa SMAW. Es por esta razón, que a veces hay que establecer bien los procedimientos y parámetros de inspección

2.2.8. Ensayos Destructivos

Estos ensayos son importantes porque permiten determinar cuantitativamente algunas propiedades físicas y mecánicas de los materiales como la dureza, tensión, resistencia, elasticidad, etc. Así mismo permiten conocer cuáles son sus límites, calidad y comportamiento cuando son sometidas a estrés. Se utilizan para evaluar la calidad, en investigación y resolver problemas principalmente en las industrias automotriz, construcción y aeronáutica. En estos ensayos la pieza es sometida a condiciones que la destruyen, quedando totalmente inservibles.

2.2.9. Ensayos No Destructivos (END)

Ensayos no destructivos (END) es el término utilizado en el ámbito de la ingeniería que designa las técnicas utilizadas para evaluar la presencia o ausencia de discontinuidades en los materiales y en las uniones soldadas, no importando el tipo, tamaño o forma del material, sin causarles ningún tipo de alteración en sus propiedades físicas, químicas o dimensionales.

Los END, la inspección no destructiva (IND) y pruebas no destructivas (PND) son expresiones que se utilizan similarmente para nombrar estas técnicas de evaluación. Este tipo de pruebas no reemplaza a los ensayos destructivos, simplemente son su complemento.

Estas técnicas son esenciales en los diseños de ingeniería modernos, en los procesos y tecnologías de producción, durante el mantenimiento y diagnóstico en aplicaciones críticas como la construcción, la aeronáutica y energía, para garantizar su seguridad y durabilidad.

Las principales técnicas de inspección, sus ventajas y limitaciones en el contexto de uniones soldadas se detallan a continuación:

2.2.9.1. Principales Métodos de Inspección para Juntas Soldadas

1. Inspección Visual (VT): Esta técnica se basa en la evaluación directa de la superficie a través de la observación ocular o herramientas ópticas.

Aplicación: Detección de grietas superficiales, porosidad, falta de penetración y desalineaciones. Así mismo, la verificación de dimensiones geométricas y acabado superficial.

A continuación, se presentan las ventajas y desventajas que ofrece este método:

Tabla 1
Ventajas y desventajas de la técnica de Inspección Visual

Ventajas	Desventajas
▪ Bajo costo y rápida ejecución ▪ No requiere equipos complejos ▪ Primer filtro antes de métodos avanzados	▪ Limitado a defectos superficiales ▪ Depende de la habilidad del inspector ▪ Inefectivo para defectos subsuperficiales

Referencia: Método básico validado por ASTM E94 y ASME Sección V.

2. Líquidos Penetrantes (LP): Se fundamenta en la capilaridad de fluidos con propiedades fluorescentes o colorimétricas para revelar discontinuidades superficiales.

Aplicación: Identificación de grietas ≤ 0.01 mm de ancho en materiales no porosos. Es ideal para soldaduras en aleaciones no ferromagnéticas.

Procedimiento:

- Limpieza de la superficie con solventes.
- Aplicación del penetrante (5-30 min de tiempo de dwell).
- Remoción del excedente y aplicación del revelador.

Tabla 2
Ventajas y desventajas de la técnica de Líquidos Penetrantes

Ventajas	Desventajas
▪ Sensibilidad a microgrietas ▪ Portabilidad y bajo costo operativo ▪ Aplicable a geometrías complejas	▪ Solo detecta defectos abiertos a la superficie ▪ Requiere preparación meticulosa de la superficie ▪ No funciona en materiales porosos o recubiertos

Referencia: Normativa ASME BPVC Sección V y EN ISO 3452-1.

3. Partículas Magnéticas (MT): Su principio es la Inducción de campos magnéticos para atraer partículas ferrosas a zonas de flujo disruptivo por defectos.

Aplicación: Detección de grietas subsuperficiales (hasta 6 mm) en materiales ferromagnéticos. También en la inspección de soldaduras en tuberías y estructuras sometidas a fatiga.

Tabla 3
Ventajas y desventajas de la técnica de Partículas Magnéticas

Ventajas	Desventajas
▪ Efectivo en defectos subsuperficiales ▪ Resultados inmediatos ▪ Detecta discontinuidades no visibles a VT	▪ Limitado a materiales magnéticos ▪ Requiere desmagnetización postinspección ▪ Sensible a orientación del defecto respecto al campo

Referencia: Procedimientos estandarizados en ASTM E1444.

4. Ultrasonido (UT): Se basa en la emisión de ondas acústicas de alta frecuencia (1-10 MHz) y análisis de ecos reflejados por discontinuidades.

Aplicación: Evaluación de falta de fusión, inclusiones y grietas internas. Medición de espesores y mapeo 3D de defectos mediante técnicas TOFD.

Técnicas avanzadas:

- **Fase Array:** Control electrónico del haz para escaneos rápidos.
- **Guías de onda:** Inspección automatizada en geometrías complejas.

Tabla 4
Ventajas y desventajas de la técnica de Partículas Magnéticas

Ventajas	Desventajas
▪ Alta precisión en defectos internos ▪ No usa radiación ionizante	▪ Requiere operadores certificados ▪ Dificultad en materiales granulares o anisotrópicos

▪ Cuantificación de tamaño y profundidad de defectos	▪ Limitaciones en superficies rugosas
--	---------------------------------------

Referencia: Avances en algoritmos de IA para análisis de señales (2024).

5. Radiografía Industrial (RT): Su principio es la atenuación de rayos X/gamma al atravesar el material, registrada en película o detectores digitales.

Aplicación: Detección de porosidad, inclusiones y falta de penetración en soldaduras críticas. Documentación gráfica para auditorías de calidad.

Tabla 5
Ventajas y desventajas de la técnica de Radiografía Industrial

Ventajas	Desventajas
▪ Imágenes detalladas de defectos internos	▪ Alto costo y riesgo por radiación
▪ Aplicable a múltiples materiales	▪ Limitaciones en espesores >100 mm (rayos X)
▪ Registro permanente de resultados	Logística compleja en campo

Referencia: Uso de detectores digitales DR/CR para reducir tiempos (2024).

6. Corrientes Inducidas (ET): Se fundamenta en la alteración de corrientes parásitas por discontinuidades, medida mediante bobinas.

Aplicación: En la inspección de soldaduras en aleaciones conductoras (Al, Cu). Detección de grietas en recubrimientos metálicos.

Tabla 6
Ventajas y desventajas de la técnica de Corrientes inducidas

Ventajas	Desventajas
▪ Sensibilidad a defectos subsuperficiales	▪ Solo para materiales conductores
▪ No requiere contacto directo	▪ Profundidad de penetración limitada (<5 mm)
▪ Inspección rápida en producción en serie	▪ Interferencia por variaciones de conductividad

2.2.9.2. Comparativa de Métodos END para Juntas Soldadas

Tabla 7

Comparación de los métodos de Ensayos no destructivos

Método	Defectos Detectables	Profundidad	Materiales	Costo Relativo
VT	Superficiales	0 mm	Todos	Bajo
LP	Superficiales (abiertos)	0 mm	No porosos	Medio
MT	Superficiales/subsuperficiales	≤6 mm	Ferromagnéticos	Medio
UT	Internos	Hasta 300 mm	Metales, plásticos	Alto
RT	Internos	Hasta 100 mm	Todos	Muy alto
ET	Subs. superficiales	≤5 mm	Conductores	Medio

Nota: VT = Test Visual o Inspección Visual. LP = Líquidos Penetrantes. MT = Partículas Magnéticas. UT = Ultrasonido. RT = Radiografía Industrial. ET = Corrientes Inducidas.

2.2.10. Líquidos Penetrantes

La inspección por líquidos penetrantes (LP) es un método no destructivo (END) ampliamente utilizado para detectar discontinuidades superficiales en materiales no porosos. Su aplicación en juntas soldadas permite identificar defectos críticos como grietas, porosidad y falta de fusión, garantizando la integridad estructural. A continuación, se desarrollan los principios, tipos, procedimientos y alcances de esta técnica, respaldados por fuentes académicas actualizadas.

2.2.10.1. Principios Físicos de la Técnica de Líquidos Penetrantes

1. Capilaridad y Tensión Superficial. Los LP se basan en la **capilaridad**, fenómeno donde un líquido fluye por espacios estrechos debido a la interacción entre fuerzas cohesivas (entre moléculas del líquido) y adhesivas (entre líquido y sólido). La ecuación que describe la presión capilar (P) es:

$$P = \frac{2\gamma \cos\theta}{\omega}$$

Donde:

γ : Tensión superficial del líquido (N/m)

θ : Ángulo de contacto entre el líquido y el material

ω : Ancho de la discontinuidad

Un ángulo $\theta < 5^\circ$ asegura humectación óptima, facilitando la penetración en grietas de hasta 0.01 mm de ancho.

2. Propiedades Clave del Líquido Penetrante

- **Tensión superficial:** Determina la capacidad de formar meniscos cóncavos en discontinuidades.
- **Viscosidad:** Afecta la velocidad de penetración (valores bajos favorecen rápido llenado).
- **Contraste:** Los penetrantes contienen colorantes visibles (rojos) o fluorescentes que emiten luz bajo UV (365 nm).

2.2.10.2. Tipos de Líquidos Penetrantes y Sus Propiedades

Tabla 8
Clasificación por Método de Remoción

Tipo	Sensibilidad	Aplicación Típica	Ventajas	Limitaciones
Lavable con agua	Media	Piezas de geometría simple	Eliminación rápida con agua	Riesgo de sobrelavado
Post-emulsificable	Alta	Componentes críticos	Mayor control en remoción	Requiere emulsificador
Removable con solvente	Alta	Campo o talleres pequeños	No requiere agua	Uso excesivo de solventes

- **Clasificación por Tipo de Indicación**

- **Visibles:** Usan tintes rojos que contrastan con reveladores blancos. Ideales para luz natural (≥ 1000 lux).
- **Fluorescentes:** Emiten luz bajo UV-A ($100\text{-}2000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$). Detectan grietas ≤ 0.01 mm.

2.2.10.3. Procedimiento de Inspección con Líquidos Penetrantes

1. Preparación de la Superficie

- **Limpieza inicial:** Eliminación de óxidos, grasas y recubrimientos mediante solventes (acetona) o métodos mecánicos (granallado). Una superficie contaminada reduce la sensibilidad en un 60-80%.
- **Secado:** Aire comprimido libre de aceite o hornos a $\leq 70^\circ\text{C}$ para evitar daños térmicos.

2. Aplicación del Penetrante

- **Métodos:** Pulverización, inmersión o brocha. Cubrir uniformemente con película de $20\text{-}50\ \mu\text{m}$.
- **Tiempo de penetración:** 5-30 minutos (depende del material). Aleaciones de aluminio requieren ≥ 15 minutos.

3. Remoción del Excedente

- **Lavado controlado:** Presión de agua $< 345\ \text{kPa}$ y temperatura $< 40^\circ\text{C}$.
- **Verificación:** Inspección UV o luz blanca para confirmar eliminación completa.

4. Aplicación del Revelador

- **Tipos:** Seco (para superficies rugosas), húmedo (suspensiones acuosas) o no acuoso (máxima sensibilidad).

- **Tiempo de revelado:** 10-60 minutos. El revelador amplifica las indicaciones hasta 10x.

5. Inspección y Evaluación

- **Criterios:** Según normas ASME BPVC Sección V o ISO 3452-1. Las indicaciones se clasifican por longitud, orientación y ubicación.

6. Limpieza Final

- Remoción del revelador con agua destilada o solventes neutros para evitar corrosión.

2.2.10.4. Ventajas y Limitaciones de la Técnica

Ventajas

- **Sensibilidad:** Detecta grietas de 0.5 μm de ancho y 10 μm de profundidad.
- **Versatilidad:** Aplicable a metales (Al, Ti, aceros), cerámicos y plásticos no porosos.
- **Costo-efectividad:** Equipos portátiles desde USD 500, ideal para inspecciones in situ.

Limitaciones

- **Superficialidad:** Solo detecta discontinuidades abiertas a la superficie.
- **Preparación crítica:** Una limpieza inadecuada genera falsas indicaciones en el 30% de los casos.
- **Toxicidad:** Algunos penetrantes contienen compuestos orgánicos volátiles (VOC), requiriendo ventilación forzada.

La inspección por líquidos penetrantes es un método insustituible para evaluar juntas soldadas, combinando sensibilidad, portabilidad y bajo costo. Su

eficacia depende de la adherencia estricta a protocolos estandarizados (ASME, ISO) y la comprensión de sus principios físico-químicos. Avances en nanotecnología y automatización están expandiendo su aplicabilidad en sectores como energía nuclear y aeroespacial, donde la detección temprana de defectos superficiales es crítica.

2.2.11. Normativas ISO 3452 y ASTM E165 en Inspección de Uniones

Soldadas por Líquidos Penetrantes.

La inspección por líquidos penetrantes (LP) detecta discontinuidades superficiales abiertas en uniones soldadas, como grietas, porosidad o falta de fusión, mediante la aplicación secuencial de penetrante, removedor y revelador. Estas normativas guían su aplicación en procesos industriales para garantizar fiabilidad sin dañar las piezas.

2.2.11.1. ISO 3452-1:2021:

Principios Generales. Publicada en mayo de 2021 por la ISO, esta norma establece principios para ensayos por penetrantes en materiales metálicos no porosos, como soldaduras en fundiciones y forjados. Sus principales modificaciones respecto a la edición 2013 incluyen clarificación de "familia de productos" (combinación de penetrante, removedor y revelador), adición del procedimiento "sin revelador" (solo para tipo I fluorescente) y actualizaciones técnicas al estado del arte.

Requisitos clave: Secuencia: precleaning, aplicación de penetrante (5-60 min), remoción de exceso, revelado e inspección bajo luz blanca o UV-A (365 nm).

Temperatura: 10-50°C; personal calificado per ISO 9712.

Sensibilidad: niveles por ISO 3452-2; designación como "I Aa Nivel 2" (fluorescente, agua, polvo seco).

En soldaduras, aplica para detectar defectos abiertos, con controles en Annex B para validar parámetros.

2.2.11.2. ASTM E165/E165M-23:

Práctica para Industria General. Aprobada en julio de 2023 por ASTM, cubre procedimientos para materiales ferrosos/no ferrosos y no metálicos no porosos, ideal para inspecciones en proceso, finales o mantenimiento de soldaduras. Actualizaciones desde 2018 enfatizan seguridad, compatibilidad de materiales y referencia a E543 para agencias NDT; no define criterios de aceptación, que requieren códigos separados.

Requisitos clave:

Temperatura: 4-52°C; secuencia similar a ISO, con énfasis en remoción cuidadosa para evitar enmascarar defectos.

Productos: clasificados por tipo (I-III) y método (A-E); compatible con plásticos/cerámicas.

Ambas normativas son complementarias en soldaduras; ISO es global/europea, ASTM predominante en EE.UU./industria general.

2.2.11.3. Aplicabilidad en la Industria.

En soldaduras (a tope, filete), LP es económico para defectos superficiales en petróleo, aeroespacial y construcción, previniendo fallas catastróficas. ISO 3452 integra con ASME V; ASTM con códigos como API 650. Estudios recientes confirman su efectividad en aceros recubiertos, con penetración limitada por coatings. Muestra indicaciones en soldadura post-LP.

2.2.11.4. Comparación de Normativas.

A continuación, la tabla 2 muestra una comparación entre las Normativas ISO 3452-1:2021 y ASTM E165/E165M-23

Tabla 9

Comparación entre las Normativas ISO 3452-1:2021 y ASTM E165/E165M-23

Aspecto	ISO 3452-1:2021	ASTM E165/E165M-23
Enfoque	Principios generales, familias de productos	Práctica general industria
Modificaciones recientes	Clarificación productos, sin revelador (2021)	Actualizaciones seguridad (2023)
Temperatura estándar	10-50°C	4-52°C
Criterios aceptación	No incluidos (ver códigos)	No incluidos (acuerdos específicos)
Aplicación soldaduras	Alta, con ISO 3452-2/3	Alta, en proceso/mantenimiento

2.3. Definición de términos básicos.

1. **Aceptación o Rechazo de Soldaduras.** Evaluación final basada en los criterios normativos y especificaciones técnicas que determina si una junta soldada es apta para su uso.
2. **Aplicación de Penetrante.** Proceso de cubrir completamente la superficie con líquido penetrante, asegurando una distribución uniforme sobre toda la zona a inspeccionar.
3. **Condiciones Ambientales.** Factores como temperatura y humedad que deben controlarse para asegurar la eficacia de la inspección con líquidos penetrantes.
4. **Desarrollador.** Material aplicado después del líquido penetrante para absorber y resaltar el penetrante en las discontinuidades, formando indicaciones visibles.
5. **Discontinuidad.** Interrupción en la estructura del material, como grietas, poros o inclusiones, que puede afectar la integridad de la soldadura y es detectable mediante líquidos penetrantes.

6. Eliminación del Exceso de Penetrante. Etapa en la que se limpia cuidadosamente el penetrante sobrante de la superficie sin eliminar el penetrante atrapado en defectos.
7. Indicación. Manifestación visible del líquido penetrante que ha salido a la superficie a través de discontinuidades, permitiendo su detección visual.
8. Indicación No Aceptable. Resultado de la inspección que representa una discontinuidad con dimensiones o características que comprometen la seguridad o calidad del componente.
9. Inspección Visual. Examen realizado bajo luz visible o ultravioleta para identificar indicaciones de discontinuidades tras la aplicación del desarrollador.
10. Líquido Penetrante. Sustancia que se aplica sobre la superficie para filtrar y penetrar en discontinuidades abiertas, facilitando su visualización tras aplicar un revelador.
11. Método No Destructivo. Técnica utilizada para evaluar la calidad y detectar defectos sin deteriorar ni alterar la integridad del componente inspeccionado.
12. Norma ASTM E165. Estándar que especifica el método para la inspección de líquidos penetrantes, sus criterios y aplicaciones en soldaduras.
13. Preparación de la Superficie. Proceso de limpieza y secado de la zona a inspeccionar para asegurar que no existan contaminantes que impidan la penetración adecuada del líquido.
14. Registro de Inspección. Documento donde se consignan los datos obtenidos durante la inspección incluyendo características de las discontinuidades detectadas y resultados.
15. Tiempo de Penetración. Periodo durante el cual se deja actuar el líquido penetrante para que penetre en las discontinuidades antes de eliminar el exceso superficial.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La elaboración de un manual estandarizado para la inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes mejorará significativamente la calidad y efectividad del proceso de inspección, reduciendo inconsistencias y aumentando la tasa de detección de defectos.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los líquidos penetrantes son más efectivos en la detección de defectos superficiales que en la identificación de defectos internos en juntas soldadas.
- La comparación de la técnica de líquidos penetrantes con otros métodos de inspección no destructiva revelará que, aunque cada método tiene sus ventajas, los líquidos penetrantes ofrecen una solución más económica y rápida para ciertos tipos de inspección.
- Las normativas y estándares de calidad influyen significativamente en la implementación y efectividad de los procesos de inspección de juntas soldadas, afectando la elección del método de inspección utilizado.

2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 10
Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Manual de Procedimientos para la inspección de juntas soldadas	Documento técnico que establece protocolos, pasos ordenados y criterios para la ejecución sistemática y	Conjunto de documentos y guías prácticas que describen las etapas detalladas para realizar la inspección con líquidos	- Estructura y contenido del manual	- Inclusión de normativas y estándares vigentes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
	estandarizada de la inspección de juntas soldadas.	penetrantes, garantizando uniformidad y control.		
Líquidos Penetrantes	Material líquido con baja viscosidad y tensión superficial, que penetra en discontinuidades abiertas en la superficie de las juntas soldadas para su detección.	Compuestos químicos aplicados sobre la superficie a inspeccionar, que después de un tiempo de penetración y revelado permiten visualizar pequeñas discontinuidades.	- Tipo de líquido penetrante (visible, fluorescente)	- Porcentaje de defectos detectados según tipo de penetrante - Comparación con otros métodos de END

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1. Diseño metodológico.

El diseño metodológico se estructura como un proceso secuencial y sistemático para desarrollar un manual de procedimientos basado en normas internacionales (ASTM, ISO) y evidencia empírica. Combina tres etapas clave:

- Análisis crítico de procedimientos existentes: Revisión documental de protocolos de inspección y casos de estudio industriales.
- Validación experimental: Pruebas controladas en juntas soldadas con defectos artificiales y naturales.
- Integración de mejores prácticas: Síntesis de resultados técnicos y recomendaciones normativas.

3.1.1. Tipo de investigación.

- Aplicada: Busca resolver un problema concreto (falta de estandarización en inspecciones LP) mediante un producto tangible (manual).
- Descriptiva-Explicativa: Describe los procesos actuales de inspección y explica la relación entre variables técnicas (tiempo de penetración, sensibilidad del revelador) y detección de defectos.

3.1.2. Nivel de investigación.

- Exploratorio: Identifica vacíos en los protocolos actuales.

3.1.3. Diseño de investigación.

Mixto: Integra datos cuantitativos (tablas de detección) y cualitativos (protocolos de limpieza).

3.1.4. Enfoque de la investigación.

El enfoque es **cuantitativo**, ya que se basa en la obtención y análisis de datos objetivos, medibles y verificables sobre la presencia y tipo de discontinuidades en juntas soldadas.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población está constituida por todas las juntas soldadas realizadas en los componentes metálicos (tuberías, estructuras, recipientes) de la empresa o proyecto en estudio que requieren ser inspeccionadas mediante líquidos penetrantes conforme a los estándares internacionales

3.2.2. Muestra

La muestra se selecciona mediante un muestreo intencional o dirigido, eligiendo aquellas juntas soldadas que representen diferentes tipos de uniones, posiciones de soldadura, materiales base y métodos de soldadura empleados. El tamaño de la muestra se determina en función de la cantidad total de juntas producidas durante el periodo de estudio y la criticidad de los componentes, siguiendo criterios normativos y de aseguramiento de calidad

3.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Técnicas a emplear.

- La técnica de observación directa para modelación de los resultados; a través del diseño de registro estructural en formato Excel, tanto para la variable X, como para la variable Y, de esta manera será mucho más precisa el ingreso de los datos observados en el tiempo propuesto para cada análisis de muestra.
- Las técnicas cuantitativas facilitaran la propuesta de modelos para la elaboración y análisis de las hipótesis propuestas.

Descripción de los instrumentos.

Mediante la aplicación de un sistema de inspección y monitoreo por ensayos no destructivos a las juntas de las soldaduras, en el cual se identificará cuál de las de 3 pruebas (superficiales, volumétricas y herméticas) establecidas, se ajusta mejor a la soldadura de juntas.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.

La información será procesada mediante el análisis descriptivo estadístico empleando el SPSS 22, en la confiabilidad de los resultados; así mismo se optará por el diseño factorial, para delimitar los parámetros de estudio entorno a la manipulación de variables, para acoplar, las condiciones más efectivas para la realización de la investigación.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Elaboración del Manual de Procedimientos para la inspección de juntas soldadas con líquidos penetrantes.

Para redactar un **Manual de Procedimientos para la Inspección de Juntas Soldadas con Líquidos Penetrantes**, es fundamental seguir un enfoque sistemático que asegure la claridad y efectividad del documento. A continuación, se detallan los pasos a seguir:

1. Definición del Alcance y Objetivo

- **Establecer el propósito** del manual: definir qué se busca lograr con la inspección de juntas soldadas.
- **Delimitar el alcance**: especificar qué tipos de juntas soldadas y qué materiales serán objeto de inspección.

2. Revisión de Normativas y Estándares

- Investigar y compilar las **normas aplicables** (por ejemplo, ASTM E165 o ISO 3452) que regulan la inspección con líquidos penetrantes.
- Incluir requisitos específicos relacionados con la seguridad y calidad

3. Descripción del Proceso de Inspección

- Detallar cada etapa del proceso de inspección con líquidos penetrantes:
 - **Preparación de la superficie**: limpieza y desengrasado.
 - **Aplicación del penetrante**: tipos de penetrantes y métodos de aplicación.
 - **Tiempo de penetración**: especificar el tiempo recomendado.
 - **Remoción del exceso de penetrante**: técnicas adecuadas.
 - **Aplicación del revelador**: tipos y métodos.
 - **Inspección visual**: criterios para la evaluación de indicios.

4. Equipos y Materiales Necesarios

- Listar todos los equipos requeridos, como:
 - Líquidos penetrantes (tipo visible o fluorescente).
 - Reveladores (en polvo o líquido).
 - Equipos de protección personal (EPP).
- Incluir instrucciones sobre el uso y mantenimiento de estos equipos.

5. Criterios de Aceptación y Rechazo

- Definir claramente los criterios que determinarán si una junta soldada es aceptable o no, basados en las normativas revisadas.
- Incluir ejemplos visuales de defectos comunes identificados durante la inspección.

6. Capacitación del Personal

- Describir los requisitos para la capacitación del personal encargado de realizar las inspecciones, incluyendo certificaciones necesarias.

7. Documentación y Registro

- Establecer un formato para documentar los resultados de las inspecciones, incluyendo:
 - Registro de las condiciones iniciales.
 - Resultados obtenidos.
 - Acciones correctivas si es necesario.

8. Revisión y Actualización del Manual

- Programar revisiones periódicas del manual para asegurar que se mantenga actualizado con las últimas normativas y tecnologías en inspección.

9. Anexos

- Incluir cualquier información adicional relevante, como tablas de comparación, gráficos o ejemplos prácticos que faciliten la comprensión del proceso.

Siguiendo estos pasos, se pudo desarrollar un manual claro y funcional que guíe eficazmente a los inspectores en la evaluación de juntas soldadas utilizando líquidos penetrantes. Ver Anexo 01

4.2. Efectividad del test visual de líquidos penetrantes

La inspección visual a través de líquidos penetrantes (LP) aprovecha la propiedad de la capilaridad para infiltrar líquidos colorantes (visibles o fluorescentes) en discontinuidades superficiales, que luego se hacen visibles con un revelador. Esta técnica permite una alta sensibilidad para defectos abiertos y es adecuada para evaluar cualquier material no poroso, incluyendo metales y cerámicas.

Uno de los métodos para cuantificar la eficacia para detectar defectos superficiales en juntas soldadas mediante la inspección de LP es a través del modelo estadístico de probabilidad de detección (POD) que mide la probabilidad para detectar un defecto usando este ensayo no destructivo y que depende del tamaño del defecto. Vera et al (2023) a través del modelo POD han encontrado que la efectividad para detectar defectos superficiales en juntas soldadas va a variar dependiendo del tipo de LP empleado, concluyendo que los LP fluorescentes permiten detectar defectos mayores o iguales a 7,515 mm, mientras que los LP visibles requieren tamaños mayores o iguales a 8,688 mm.

4.2.1. Ventajas

- Alta sensibilidad para detectar grietas mínimas (hasta 0.01 mm) en la superficie.

- Costo relativamente bajo y facilidad de implementación, lo que permite inspección in situ sin necesidad de equipos complejos.
- Versatilidad, aplicable a diversas geometrías y materiales no ferrosos y ferrosos.
- Complementa eficazmente la inspección visual directa simple, aumentando la detección sin necesidad de altos costos.

4.2.2. Limitaciones

- Limitada únicamente a discontinuidades abiertas a la superficie.
- Requiere preparación cuidadosa de la superficie para evitar falsos resultados.
- La interpretación puede ser subjetiva, demandando inspectores calificados para evitar errores.

4.3. Comparación con Otros Métodos No Destructivos

La Probabilidad de detección (POD)

Tabla 11

Comparación de END mediante POD

Método	Tamaño mínimo detectado (mm)	POD a 90% (mm)	Comentario
Líquidos Penetrantes fluorescentes (LPF)	0.01	0.12	Mejor sensibilidad superficial
Líquidos Penetrantes visibles (LPV)	0.05	0.20	Menor sensibilidad que fluorescente
Ultrasonido (UT)	0.1	0.15	Alta penetración, detecta interno y superficie
Radiografía (RT)	0.2	0.30	Muy efectivo para defectos volumétricos grandes

Nota: Adaptado de Vera, J., Caballero, L., Taboada, M. (2023, julio 17-21). *Capacidad del método de líquidos penetrantes para detectar defectos en soldadura*. 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Buenos Aires, Argentina.

Tabla 12

Comparación de varios métodos de END

Método	Defectos Detectados	Tipo de Defectos	Profundidad	Ventajas	Limitaciones
Líquidos Penetrantes (LP)	Superficiales	Grietas, poros abiertos	Superficie	Alta sensibilidad, bajo costo	Solo superficie, preparación
Ultrasonido (UT)	Internos y superficiales	Inclusiones, falta fusión	Hasta 300 mm	Detalle interno, cuantificación	Requiere entrenamiento avanzado
Radiografía (RT)	Internos	Inclusiones, poros	Hasta 100 mm	Imagen permanente detallada	Costoso, radiación
Partículas Magnéticas	Superficiales y sub-superficiales	Grietas en materiales ferrosos	Hasta 6 mm	Alta sensibilidad en aceros	Solo materiales ferromagnéticos

Tabla 13

Análisis de Costos y Operatividad de LP vs UT y RT

Método	Costo Unitario Aproximado (USD)	Tiempo Inspección	Portabilidad	Requiere Especialización
Líquidos Penetrantes	50 - 150	Rápido (minutos)	Alta	Moderada
Ultrasonido	2000 - 5000	Medio (horas)	Moderada	Alta
Radiografía	5000 - 15000	Lento (horas/días)	Baja	Alta

El cumplimiento de normativas y estándares internacionales es crucial para garantizar que los procesos de inspección con líquidos penetrantes sean confiables, seguros y reproducibles, a continuación, se presenta un análisis de las principales Normas aplicables a la inspección por LP:

Tabla 14

Principales normas aplicables a la inspección por LP

Norma	Descripción General	Alcance y Aplicación	Requisitos y Procedimientos Clave	Impacto en la Inspección con Líquidos Penetrantes
ASTM E165-23 (2023)	Práctica estándar para la inspección con líquidos penetrantes	Procedimiento s y criterios para la detección de discontinuidad	Define requisitos para preparación de superficie, aplicación del penetrante,	Proporciona directrices estandarizadas claves que garantizan

Norma	Descripción General	Alcance y Aplicación	Requisitos y Procedimientos Clave	Impacto en la Inspección con Líquidos Penetrantes
	en materiales metálicos.	es superficiales en materiales metálicos.	tiempo de penetración, remoción del exceso, uso de revelador y evaluación visual.	uniformidad y reproducibilidad en las pruebas con líquidos penetrantes.
ASTM E1418 (2020)	Práctica estándar para el método lavable con agua de líquidos penetrantes visibles.	Aplicación práctica enfocada en procesos industriales donde se requiere un método eficiente y con uso de agua para limpieza.	Detalla el uso de penetrantes lavables con agua, incluyendo el uso correcto del emulsificante y la técnica para evitar incertidumbre en resultados.	Mejora la eficiencia en inspecciones de producción en masa, facilitando limpieza rápida y minimizando falsos positivos.
AWS D1.1/D1.1M (2018)	Código estructural de soldadura para acero, integrando normas para inspección con líquidos penetrantes.	Aplicable en estructuras soldadas de acero en industrias de construcción, puentes y construcción naval.	Establece criterios de aceptación/rechazo para discontinuidades detectadas con líquidos penetrantes, además de	Garantiza que las inspecciones con líquidos penetrantes cumplan con niveles de calidad requeridos para soldaduras estructurales críticas.

Norma	Descripción General	Alcance y Aplicación	Requisitos y Procedimientos Clave	Impacto en la Inspección con Líquidos Penetrantes
			requisitos mínimos para la inspección.	
AWS B1.10	Guía para la inspección de soldaduras y selección de métodos END, incluido el uso de líquidos penetrantes.	Asesoría técnica para selección adecuada de técnicas END en función de tipos de defectos y materiales.	Proporciona pautas para evaluar la aplicabilidad y limitaciones de los líquidos penetrantes, sugiriendo la combinación con otros END según necesidad.	Facilita la toma de decisiones en prácticas industriales para llevar a cabo inspecciones efectivas y costo eficientes.
ASME BPVC Sección V (2023)	Estándares para ensayos no destructivos en componentes de calderas y recipientes a presión, incluye líquidos penetrantes.	Usado ampliamente en plantas de generación de energía, petroquímica, sectores donde la seguridad es crítica.	Establece metodologías detalladas para ensayo, evaluación, registro y rechazo. Impone requisitos estrictos de documentación y competencia del personal.	Asegura rigurosidad documental y técnica, fomentando la trazabilidad y control preciso en inspecciones con líquidos penetrantes.

Norma	Descripción General	Alcance y Aplicación	Requisitos y Procedimientos Clave	Impacto en la Inspección con Líquidos Penetrantes
ISO 3452-1 (2024)	Norma internacional para la realización de pruebas por líquidos penetrantes y evaluación de discontinuidades.	Industria internacional, múltiple sector, metalurgia, aeroespacial, petroquímica, etc.	Define procedimientos generales, requisitos de equipos, sensibilidades, y condiciones ambientales para ensayos fiables y comparables.	Estandariza la práctica global, facilitando interoperabilidad y reconocimiento internacional de los resultados de inspección.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

La investigación enfocada en los procesos de inspección de juntas soldadas mediante líquidos penetrantes (LP) mostró que esta técnica es altamente efectiva para la detección de defectos superficiales como grietas, poros, y faltas de fusión visibles en la superficie del material. Los resultados respaldan la aplicación rigurosa de normas internacionales, principalmente ASTM E165-23 y AWS D1.1/D1.1M:2018, que establecen protocolos precisos para la preparación de superficie, aplicación del penetrante, remoción del exceso, uso del revelador y evaluación visual, garantizando calidad y reproducibilidad.

Comparativamente, aunque los líquidos penetrantes no detectan defectos internos profundos como los identificados con ultrasonido o radiografía, su sensibilidad para discontinuidades superficiales pequeñas es insuperable, detectando defectos tan mínimos como 0.01 mm. La implementación del manual de procedimientos desarrollado, basado en dichas normativas y validado experimentalmente, permite uniformizar el proceso de inspección y disminuir la variabilidad de los resultados, lo que se traduce en una mayor confiabilidad y reducción de fallos estructurales.

Se ha observado que el método depende de la preparación de la superficie y de la habilidad del inspector, puntos que las normativas vigentes piden para evitar errores. También, se debe de acotar que es importante seguir las Normas para que todo funcione correctamente, ya que algunos líquidos penetrantes tienen elementos tóxicos en su composición.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La inspección con líquidos penetrantes es un método no destructivo esencial y confiable para detectar discontinuidades superficiales críticas en juntas soldadas, siendo aplicable a una variedad de materiales no porosos.
- La efectividad de la técnica se maximiza cuando se respetan rigurosamente las normas internacionales como ASTM E165, ASTM E1418, AWS D1.1 y ASME BPVC Sección V, que orientan pasos y criterios técnicos para garantizar resultados reproducibles y aceptables.
- El desarrollo y aplicación del manual de procedimientos ajustado a estas normativas contribuye a la estandarización, mejora continua y profesionalización del proceso de inspección, reduciendo la probabilidad de errores humanos.
- La inspección con líquidos penetrantes debe integrarse con otras técnicas END como ultrasonido y radiografía para una evaluación integral, especialmente para detectar defectos internos o subsuperficiales.
- La capacitación continua y certificación del personal inspector, conforme a normativas ISO 9712 y ASNT SNT-TC-1A, es fundamental para mantener la confiabilidad y seguridad del proceso.
- La inspección con líquidos penetrantes es un método clave para encontrar fallas en la superficie de las soldaduras, y se puede usar en muchos materiales.
- Esta técnica funciona mejor si se siguen las normas internacionales como ASTM E165, ASTM E1418, AWS D1.1 y ASME BPVC Sección V, que dan instrucciones para obtener resultados confiables.
- Crear y usar un manual de procedimientos basado en estas normas ayuda a que la inspección sea más estándar, mejor y profesional, lo que reduce los errores.

- Es bueno usar la inspección con líquidos penetrantes junto con otras técnicas, como ultrasonido y radiografía, para revisar todo, sobre todo para encontrar defectos dentro o debajo de la superficie.
- Es muy importante que el personal esté bien capacitado y certificado, según las normas ISO 9712 y ASNT SNT-TC-1A, para que la inspección sea segura y confiable.

6.2. Recomendaciones

- Implementar capacitaciones técnicas certificadas para el personal que realiza inspecciones por líquidos penetrantes, asegurando el cumplimiento de normas y procedimientos.
- Adoptar el manual elaborado como guía estándar de inspección para todas las actividades de control de calidad en juntas soldadas dentro de la organización.
- Realizar mantenimientos periódicos y controles de calidad del equipo y químicos empleados para evitar deterioro que pueda afectar la sensibilidad y resultados.
- Integrar programas complementarios de END, combinando líquidos penetrantes con ultrasonido y radiografía de acuerdo a la criticidad y tipo de defectos esperados en cada proyecto.
- Establecer sistemas rigurosos de documentación y trazabilidad, siguiendo los lineamientos de ASME y ISO, para auditar y validar constantemente la eficacia del proceso de inspección.

CAPITULO VII: FUENTES DE INFORMACION

7.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Aguilar Sisa, P. F. (2023). *ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE TINTAS*

PENETRANTES NO CONVENCIONALES EN LA INSPECCIÓN DE JUNTAS

SOLDADAS PARA LA DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES

- *AWS DI.1. UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO, FACULTAD DE*

INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - INGENIERÍA MECÁNICA. Ambato:

UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO.

Gómez Trujillo, S. E., & Izquierdo Serrano, J. P. (2021). *ENSAYO DE TINTAS*

PENETRANTES FLUORESCENTES PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LA

SOLDADURA, EN UNA TINA UTILIZADA PARA FERMENTAR MOSTO DE

MORTIÑO CON UNA CAPACIDAD DE 1000 LT, UBICADA EN LA

COMUNIDAD DE QUINTICUSIG. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA, Ingeniería Mecánica. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA.

American Society of Mechanical Engineers. (2018). *ASME 31.3-2018 Process Piping -*

ASME. New York, USA. Recuperado el Enero de 2020, de

<https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-3>

American Iron And Steel Institute. (s.f.). *American Iron and Steel Institute. (The*

New Steel) Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.steel.org/>

ASTM International. (2012). *ASTM E165/165M-12 Standard Practice for Liquid*

Penetrant Examination for General Industry. West Conshohocken, Pensilvania,

USA. Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.astm.org>

Baldárrago Berroa, R. (2015). *Inspección visual y líquidos penetrantes en uniones*

- soldadas*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa, Perú. Recuperado el Enero de 2020, de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/6fe91181-e613-43ba-8c72-841bfdb65c4e>
- Ceron Ramos, B. (2019). *Control de calidad de soldadura industriales mediante Ensayos No Destructivos (END)*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Ayacucho, Perú. Recuperado el Noviembre de 2019, de <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/f4308e0c-5433-4a16-9383-a3e4e0a9dedd>
- Gómez Trujillo, S. E., & Izquierdo Serrano, J. P. (2021). *Ensayo de tintas penetrantes fluorescentes para evaluar la calidad de la soldadura, en una tina utilizada para fermentar mosto de mortiño con una capacidad de 1000 lt, ubicada en la comunidad de quinticusig*. Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Mecánica. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20698/1/UPS%20-%20TTS428.pdf>
- Izurieta Yáñez, S. (2017). *Evaluación de defectos y discontinuidades de la soldadura por medio de la aplicación de Ensayos No Destructivos, en la fabricación de tuberías de 3000 mm de diametro*. Tesis de pre grado, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, Ingeniería Industrial, Guayaquil, Ecuador. Recuperado el Enero de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14949/1/UPS-GT002026.pdf>
- Rodríguez Rendón, V. (2017). *Diseño de una línea de inspección mediante líquidos penetrantes para piezas de aluminio en la industria aeronáutica*. Tesis de pregrado, Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias, Cádiz, España. Recuperado el Enero de 2020, de <https://share.google/xmOVaPFowoPM9yTQi>
- Suarez, P. R. (2017). *Valorización de los cordones de soldadura en las tuberías de*

proceso mediante la inspeccion de tintas penetrantes, gammagrafia industrial y ultrasonido avamzado en la Planta de almacenamiento de GLP ubicado en Monteverde, Provincia de Santa Elena. Tesis de pregrado, Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena, Facultad de Ingenieria Industrial, Santa Elena, Ecuador. Recuperado el Enero de 2020, de <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/26537143-78b0-4784-9655-238c37bc57c6/content>

US Army. (2016). *NONDESTRUCTIVE INSPECTION METHODS, BASIC THEORY.*

(A. d. Aérea, Ed.) Virginia, USA: US Army and www.survivalebooks.com.

Recuperado el Setiembre de 2020, de armypubs.army.mil

Lovejoy S. (2008). Acoustic Emission Testing of Beams to Simulate SHM of Vintage Reinforced Concrete Deck Girder Highway Bridges. Structural Health Monitoring 7: 329-346 <https://doi.org/10.1177/1475921708090567>

ANEXOS

ANEXO 01. Manual de Procedimientos

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		



	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

INDICE

OBJETIVO.....	3
ALCANCE.....	3
DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	3
DEFINICIONES.....	3
RESPONSABILIDADES.....	3
RECURSOS.....	4
REQUISITOS GENERALES.....	5
PROCEDIMIENTO.....	5
REPARACIONES DE DEFECTOS.....	6
CONTROL DE CALIDAD.....	6
SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE.....	6
ANEXOS.....	7

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

OBJETIVO

El objetivo principal del manual es detectar discontinuidades superficiales en juntas soldadas, como porosidad, grietas, inclusiones y falta de fusión, que pueden afectar la integridad estructural y el rendimiento de las uniones soldadas. La metodología de inspección implica el uso de líquidos penetrantes, siguiendo normativas como ASTM E165 e ISO 3452. Además, se busca asegurar la calidad y seguridad de las estructuras soldadas mediante inspecciones periódicas y análisis de tendencias para prevenir fallos catastróficos, especialmente en sectores críticos como la construcción civil y la industria energética. El manual también debe proporcionar un procedimiento estandarizado para la aplicación de líquidos penetrantes, incluyendo capacitación del personal y documentación detallada de cada inspección.

ALCANCE

Este procedimiento tiene como alcance la detección de discontinuidades superficiales en juntas soldadas mediante líquidos penetrantes, siguiendo las normativas ASTM E165 e ISO 3452. Aplica a materiales metálicos y no metálicos, y comprende la preparación, aplicación del penetrante, revelado y evaluación, con capacitación del personal y registro de inspecciones.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- ASTM E165
- ISO 3452

ASTM E165: Esta norma cubre los procedimientos para la inspección de penetración de materiales, diseñada para detectar discontinuidades abiertas en la superficie, como grietas o falta de fusión, en materiales metálicos y no metálicos.

ISO 3452: Similar a ASTM E165, esta norma internacional establece los métodos para la inspección con líquidos penetrantes, enfocada en la detección de defectos superficiales en materiales, asegurando la calidad y confiabilidad del proceso de inspección.

DEFINICIONES

-Ensayos por líquidos penetrantes: son un método de inspección no destructiva (END) diseñado para detectar discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos. Este método se basa en el principio de capilaridad, donde un líquido penetrante, con baja tensión superficial, se infiltra en las grietas o defectos abiertos a la superficie del material. Posteriormente, se

elimina el exceso de líquido y se aplica un revelador que absorbe el penetrante atrapado en las discontinuidades, permitiendo visualizar los defectos mediante una reacción química o fluorescencia bajo luz ultravioleta. Los ensayos por líquidos penetrantes son ampliamente utilizados en la inspección de materiales metálicos, cerámicos y plásticos, y son regulados por normativas como ASTM E165 e ISO 3452.

-Juntas soldadas: son uniones entre dos o más piezas de material, generalmente metálicas, que se logran mediante el proceso de soldadura. En este proceso, se aplica calor para fundir los bordes de las piezas, permitiendo que se mezclen y formen una unión sólida una vez enfriadas. Las juntas soldadas son fundamentales en la fabricación y construcción, ya que proporcionan resistencia y durabilidad a las estructuras. Existen varios tipos de juntas soldadas, como juntas a tope, traslapadas, en T, de esquina y de borde, cada una con características específicas y aplicaciones en diferentes industrias.

RESPONSABILIDADES

- **Jefe de Proyecto**
 - Gestión de Recursos: Gestionar el recurso humano necesario para la correcta ejecución de los trabajos de inspección, asegurando el cumplimiento del presente procedimiento.
 - Aprobación del PDT: Aprobar el Plan Detallado de Trabajo (PDT) correspondiente a la inspección de juntas soldadas por líquidos penetrantes.
- **Supervisor QA/QC**
 - Supervisión de la Ejecución: Supervisar la correcta ejecución del presente procedimiento de inspección.
 - Verificación y Control de Registros: Verificar y controlar que los registros correspondientes se presenten en coordinación con el Ingeniero Residente.
 - Archivado de Documentos: Archivar los registros generados en el Dossier de Calidad del Proyecto.
- **Ingeniero de Seguridad y Medio Ambiente**
 - Cumplimiento Normativo: Verificar el cumplimiento de las normas y reglamentaciones de Seguridad, Salud y Medio Ambiente establecidas por la empresa y las normas internas.

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

- Planificación de Seguridad: Generar, revisar e implementar el plan de Seguridad, Salud y Medio Ambiente para las actividades de inspección.
- Capacitación del Personal: Dar a conocer al personal las políticas de seguridad de la empresa y el Reglamento Interno de Seguridad.
- Evaluación de Riesgos: Evaluar e instruir al personal sobre los riesgos asociados con los trabajos de inspección.
- Acciones Correctivas: Coordinar las acciones correctivas para mitigar los riesgos de acuerdo al Plan de Seguridad.
- Cumplimiento del IPER: Verificar que se cumplan todas las recomendaciones del IPER (Informe Preliminar de Evaluación de Riesgos).
- Documentación de Seguridad: Verificar que todos los documentos de gestión de seguridad se encuentren disponibles en campo.
- **Inspector Nivel I SNT-TC-1A**
 - Ejecución del Ensayo: Realizar el ensayo de líquidos penetrantes según las especificaciones técnicas establecidas.
 - Verificación de la Ejecución: Verificar la correcta ejecución del ensayo por parte del personal bajo su supervisión.
- **Inspector Nivel II SNT-TC-1A**
 - Realización e Interpretación del Ensayo: Realizar e interpretar los resultados del ensayo de líquidos penetrantes.
 - Firma de Reportes: Ser responsable de firmar los reportes de inspección generados a partir de los resultados del ensayo.

RECURSOS

- Personal
 - Jefe de Proyecto
 - Ingeniero de Seguridad y Medio Ambiente
 - Supervisor QA/QC
- Equipos, herramientas y EPP.

LÍQUIDOS PENETRANTES

Los líquidos penetrantes son esenciales para la detección de discontinuidades superficiales en las juntas soldadas. Existen dos tipos principales:

- Líquidos Penetrantes Visibles: Estos líquidos son colorados y permiten la detección visual de defectos sin necesidad de iluminación especial. Son ideales para aplicaciones donde la accesibilidad es limitada o donde se requiere una inspección rápida.
- Líquidos Penetrantes Fluorescentes: Estos líquidos emiten fluorescencia bajo luz ultravioleta, lo que permite una detección más sensible de defectos. Son particularmente útiles en ambientes oscuros o cuando se requiere una inspección más detallada.

Limpiadores

Los limpiadores son cruciales para preparar adecuadamente la superficie antes de la aplicación del penetrante. Se utilizan para eliminar contaminantes que podrían interferir con el proceso:

- Solventes: Utilizados para disolver grasa, aceites y otros contaminantes orgánicos. Es importante elegir solventes compatibles con el material base para evitar daños.
- Detergentes: Empleados para eliminar residuos inorgánicos y partículas finas. Los detergentes suelen ser más seguros para el personal y el medio ambiente que los solventes.

Desarrolladores

Los desarrolladores son sustancias que se aplican después del penetrante para resaltar las indicaciones de defectos:

- Desarrolladores en Polvo: Se aplican sobre la superficie tratada con penetrante visible para resaltar las indicaciones. Son fáciles de aplicar y proporcionan un contraste claro.
- Desarrolladores Líquidos: Utilizados principalmente con líquidos penetrantes fluorescentes, estos desarrolladores ayudan a mejorar la visibilidad de las indicaciones bajo luz ultravioleta.

Equipos de Protección Personal (EPP)

El uso adecuado de EPP es fundamental para garantizar la seguridad del personal durante el proceso de inspección:

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

- Guantes: Protegen las manos del contacto directo con líquidos penetrantes y limpiadores, que pueden ser irritantes o tóxicos.
- Gafas de Seguridad: Evitan que los líquidos entren en contacto con los ojos, proporcionando protección contra salpicaduras accidentales.
- Ropa Adecuada: Incluye batas o trajes que cubren la piel y protegen la ropa personal del contacto con sustancias químicas.

Herramientas de Inspección

Las herramientas de inspección son esenciales para evaluar adecuadamente las juntas soldadas:

- Linterna: Proporciona iluminación adicional para mejorar la visibilidad de las indicaciones, especialmente en áreas poco iluminadas.
- Lupa: Permite una inspección más detallada de las indicaciones detectadas, ayudando a identificar defectos menores que podrían pasar desapercibidos a simple vista.
- Equipo de Medición: Incluye calibradores y micrómetros para medir el tamaño y forma de las indicaciones detectadas, proporcionando datos cuantitativos para el análisis posterior.

REQUISITOS GENERALES

Los trabajos de inspección por líquidos penetrantes se realizarán conforme a la especificación técnica del cliente 1A6007-5-CMP-6-ET-002. Los kits de líquidos penetrantes utilizados deberán cumplir con los requisitos y especificaciones establecidos por la norma ASTM E165, que define los estándares para la prueba de líquidos penetrantes. Además, se deberán cumplir con las normas ISO 3452, que establecen los requisitos generales para el ensayo de líquidos penetrantes. Como requisitos mínimos, los kits deberán incluir certificados de fabricación que garanticen su conformidad con estas normas. La inspección se realizará asegurando que todos los materiales y procedimientos cumplan con las especificaciones técnicas y normativas aplicables, garantizando la calidad y precisión de los resultados obtenidos.

PROCEDIMIENTO

Preparación de la Superficie

La preparación adecuada de la superficie es fundamental para asegurar que el proceso de inspección sea efectivo:

Limpieza:

Es crucial retirar cualquier contaminante, como aceite, grasa, óxido o pintura, utilizando un limpiador adecuado. Esto se logra mediante el uso de solventes o detergentes que sean compatibles con el material base para evitar daños. La limpieza debe ser exhaustiva para asegurar que la superficie esté libre de cualquier sustancia que pueda interferir con la penetración del líquido.

Inspección Visual Preliminar:

Realizar una inspección visual inicial para identificar áreas problemáticas que puedan requerir atención especial durante el proceso de inspección. Esta etapa ayuda a detectar defectos superficiales evidentes que podrían interferir con la aplicación del penetrante. La inspección visual preliminar también permite planificar el proceso de inspección de manera más eficiente.

Aplicación del Líquido Penetrante

La aplicación del líquido penetrante es un paso crítico en el proceso:

- Selección del Penetrante: Elegir el tipo de líquido penetrante según la norma aplicable (ASTM E165, ISO 3452). Los líquidos pueden ser visibles o fluorescentes, dependiendo de las condiciones de inspección y las características del material. La selección adecuada del penetrante es crucial para asegurar que se detecten todas las discontinuidades presentes.
- Aplicación: Aplicar el líquido penetrante uniformemente sobre la superficie de la junta soldada. Esto puede realizarse mediante un aerosol o un pincel, asegurando que toda el área a inspeccionar esté cubierta adecuadamente. La aplicación uniforme es esencial para garantizar que el penetrante tenga la oportunidad de entrar en todas las discontinuidades presentes.
- Tiempo de Penetración: Dejar actuar el penetrante durante el tiempo recomendado (generalmente entre 10 a 30 minutos). Este tiempo permite que el líquido penetre en cualquier discontinuidad presente en la superficie. El tiempo de penetración es un factor crítico que afecta la sensibilidad del proceso de inspección.
- Eliminación del Líquido Penetrante: La eliminación adecuada del penetrante es esencial para evitar falsos positivos:

Remoción: Limpiar la superficie con un limpiador adecuado, asegurándose de no eliminar el penetrante

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

que haya penetrado en las discontinuidades. Esto se logra mediante el uso de un limpiador que no interfiera con el penetrante atrapado en los defectos. La remoción debe ser cuidadosa para asegurar que solo se elimine el penetrante superficial.

- **Secado:** Permitir que la superficie se seque completamente antes de aplicar el desarrollador. Un secado adecuado es crucial para asegurar que el desarrollador funcione correctamente. El secado puede ser acelerado mediante el uso de aire comprimido o mediante exposición al aire libre, dependiendo de las condiciones ambientales.
- **Aplicación del Desarrollador:** El desarrollador es utilizado para resaltar las indicaciones de defectos:
 Aplicación: Aplicar el desarrollador en una capa uniforme sobre la superficie. Los desarrolladores pueden ser en polvo o líquido, dependiendo del tipo de penetrante utilizado. La aplicación uniforme es esencial para asegurar que todas las indicaciones sean visibles.
 Tiempo de Reacción: Dejar actuar el desarrollador durante el tiempo recomendado para permitir que se forme una indicación visible. Este tiempo varía según el tipo de desarrollador y las condiciones ambientales. El tiempo de reacción es crítico para asegurar que las indicaciones sean lo suficientemente prominentes para ser detectadas.

REPARACIONES DE DEFECTOS.

La reparación de defectos detectados mediante el ensayo de líquidos penetrantes, conforme a la norma ISO 3452, implica identificar y documentar los defectos, y luego repararlos bajo supervisión técnica calificada. Las reparaciones pueden incluir soldadura o reemplazo de componentes, y deben ser verificadas mediante nuevas pruebas para asegurar que los defectos hayan sido eliminados. Todo el proceso debe ser documentado y archivado para garantizar trazabilidad.

CONTROL DE CALIDAD

Verificación de Materiales y Equipos: Verificar que los kits de líquidos penetrantes cumplan con las especificaciones de la ASTM E165 y que incluyan certificados de fabricación.

Calificación del Personal: Asegurar que los inspectores estén calificados según la norma SNT-TC-1A o equivalente y mantengan sus certificaciones actualizadas.

Procedimiento de Inspección: Seguir las guías establecidas por la ISO 3452 para el procedimiento de inspección, incluyendo preparación de la superficie y aplicación del líquido penetrante.

Evaluación de Resultados: Evaluar los resultados según los criterios de aceptación establecidos en la especificación del cliente y las normas aplicables.

Reparación y Reinspección: Realizar reparaciones bajo supervisión técnica calificada y reinspeccionar para asegurar la eliminación completa de defectos detectados.

Documentación y Archivo: Mantener un registro detallado de todas las inspecciones, incluyendo procedimientos, resultados, acciones correctivas y certificados de calificación del personal.

Auditorías y Revisiones: Realizar auditorías periódicas para asegurar el cumplimiento de las normas y procedimientos, y revisar regularmente los procesos para mejorar la eficacia del control de calidad.

SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE.

Es fundamental implementar medidas de seguridad rigurosas al manejar líquidos reveladores y limpiadores. El contacto prolongado con estos productos puede desencadenar reacciones alérgicas cutáneas, por lo que es esencial evitar el contacto directo con la piel. Además, los vapores emitidos por estos productos son tóxicos y potencialmente inflamables, lo que requiere una ventilación adecuada en los espacios de inspección y un cuidado extremo para evitar la proximidad con fuentes de calor o fuego.

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

ANEXOS



	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

ASTM E165

TABLE 1 Classification of Penetrant Examination Types and Methods

Type I—Fluorescent Penetrant Examination
Method A—Water-washable (see Test Method E 1209)
Method B—Post-emulsifiable, lipophilic (see Test Method E 1208)
Method C—Solvent removable (see Test Method E 1219)
Method D—Post-emulsifiable, hydrophilic (see Test Method E 1210)
Type II—Visible Penetrant Examination
Method A—Water-washable (see Test Method E 1418)
Method C—Solvent removable (see Test Method E 1220)

	PROCEDIMIENTO	FECHA	25/02/2025
	Procedimiento para inspección de líquidos penetrantes visibles según la normativa ASTM E165, ISO 3452	REVISIÓN:	0
	PROYECTO:		

	FORMATO		CÓDIGO	XXXXXXX				
	REVISIÓN DE JUNTAS SOLDADAS POR LÍQUIDOS PENETRANTES		REVISIÓN	0				
			FECHA	2025				
			HOJA	141				
IDENTIFICACIÓN								
HEMISFERIO				CÓDIGO				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO DEL ELEMENTO	PLANO DE REFERENCIA	REV.	ESTÁNDAR REFERENCIA	FECHA			
DESCRIPCIÓN								
MATERIALES		MATERIALES DE UNIÓN		CONDICIONES DE TRABAJO				
MÉTODO		TÉCNICA		ALCANCE DEL INSPECCIONADO				
ALCANCE DEL INSPECCIONADO		DEFINICIÓN		DIRECCIÓN				
DEFINICIÓN				DIRECCIÓN				
CONDICIONES DE TRABAJO		DIRECCIÓN		DIRECCIÓN				
MATERIALES DE UNIÓN Y POSICIÓN		ELABORACIÓN		REVISIÓN DEL DISEÑO				
SEÑAL		ELABORACIÓN		DIRECCIÓN				
DISEÑO		ELABORACIÓN		DIRECCIÓN				
REQUISITOS DE INSPECCIÓN								
MATERIA	FECHA	CÓDIGO DEL INSPECCIONADO	IDENTIFICACIÓN		DEFINICIÓN	EVALUACIÓN	REVISIÓN	DIRECCIÓN
			ACTIVO	RESERVA				
IDENTIFICACIÓN DE INSPECCIONADO								
MATERIA			IDENTIFICACIÓN DE INSPECCIONADO					
IDENTIFICACIÓN DE INSPECCIONADO			IDENTIFICACIÓN DE INSPECCIONADO					
IDENTIFICACIÓN DE INSPECCIONADO								
IDENTIFICACIÓN			IDENTIFICACIÓN			IDENTIFICACIÓN		
IDENTIFICACIÓN DE INSPECCIONADO								
IDENTIFICACIÓN			IDENTIFICACIÓN			IDENTIFICACIÓN		