

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL



PROYECTO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE PROBETAS DE SOLDADURA
APLICANDO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS CON
LÍQUIDOS PENETRANTES EN UN BANCO
ESTACIONARIO**

Proyecto de Grado para la obtención del Grado Académico
de Licenciatura

POR: UNIV. NESTOR PINTO PAYE

TUTOR: M. Sc. Lic. PABLO CASTELU TICONA

LA PAZ – BOLIVIA

2023

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL

Proyecto de Grado:

EVALUACIÓN DE PROBETAS DE SOLDADURA
APLICANDO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS CON
LÍQUIDOS PENETRANTES EN UN BANCO
ESTACIONARIO

Presentada por: Univ. Nestor Pinto Paye

Para optar el Grado Académico de Licenciatura

Nota numeral:

Nota literal:

Ha sido:

Director Carrera de Mecánica Industrial: M. Sc. Lic. Tenorio Misto

Tutor: M. Sc. Lic. Pablo Castelu Ticona

Tribunal: Lic. Orlando Hilari Capcha

Tribunal: Lic. Teddy Gustavo Monasterios Peredo

DEDICATORIA

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

El presente proyecto va dedicado mis padres, por el apoyo durante los años de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

Agradezco a los Docentes de la Carrera Mecánica Industrial, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al M. Sc. Lic. Pablo Castelu Ticona, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de mi trabajo Proyecto de Grado.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de Contenido.....	v
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tablas	vii
Resumen.....	xvi
Abstract.....	xvii

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.....	18
1.2. Planteamiento del problema.....	18
1.3. Objetivos del Proyecto de Grado.....	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos.....	19
1.4. Justificación del Proyecto de Grado.....	19
1.5. Delimitación.....	19

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Ensayos no destructivos.....	20
2.1.1. Técnica de ensayos no destructivos.....	20
2.1.2. Pruebas no destructivas.....	21
2.1.3. Técnicas de inspección superficial.....	21
2.1.4. Técnicas de inspección volumétrica.....	22
2.2. Líquidos penetrantes.....	22
2.2.1. Historia de los líquidos penetrantes.	22
2.2.2. Ventajas y desventajas la prueba de tintas penetrantes.....	22
2.2.2.1. Ventajas primarias.....	22
2.2.2.2. desventajas primarias.....	25

2.2.2.3. Características de los líquidos penetrantes.....	25
2.2.3. Alcance de líquidos penetrantes.....	25
2.3. Método de aplicación de líquidos penetrantes.....	28
2.4. Clasificación de los líquidos penetrantes.....	28
2.4.1. Clasificación de líquidos penetrantes por tipo de tinte.....	29
2.4.2. Clasificación de líquidos penetrantes por método de Eliminación.....	30
2.5. preparación y limpieza de la pieza	35
2.5.1. Aplicación del penetrante.....	35
2.5.2. Eliminación del exceso penetrante.....	36
2.5.3. Aplicación del revelador.....	38
2.5.4. Inspección final de la pieza.....	39
2.5.5. Limpieza final.....	39
2.6. Tiempo de penetración.....	40
2.7. Guía de selección del proceso.....	42
2.8. Características del penetrante fluorescentes.....	43
2.9. Diagrama de aplicación de líquido penetrante.....	46
2.9.1. Proceso A: penetrantes fluorescentes lavable con agua.....	47
2.9.2. Proceso B: penetrante fluorescente Post-Emulsificador.....	48
2.9.3. Proceso C: penetrante fluorescente removido con solvente.....	49
2.9.4. Proceso A: penetrante visibles lavable con agua.....	50
2.9.5. Proceso B: penetrante visible Post-Emulsificador.....	51
2.9.6. Proceso C: penetrante visible removido con solvente.....	52
2.10. Costo de los equipos.....	53
2.11. Tipos de soldadura.....	54
2.12. Posiciones de soldeo.....	55
2.13. Tipos de uniones.....	58
2.14. Preparación de bordes.....	59
CAPÍTULO 3	63
DESARROLLO DEL PROYECTO	
3.1. Equipo de inspección.....	63
3.2. Equipo de portátil.....	63
3.3. Equipo estacionario.....	64
3.4. Características de estaciones del equipo para propósitos	

de inspección.....	66
3.4.1. Estación de limpieza.....	68
3.4.2. Estación de rociado (aerosol).....	69
3.4.3. Estación del drenado de penetrante.....	70
3.4.4. Estación de remoción del exceso de penetrante.....	71
3.4.5. Estación del revelador.....	71
3.4.6. Estación de inspección.....	72
3.5. Iluminación durante la inspección.....	72
3.5.1. Nivel de eliminación para el penetrante visible en el equipo estacionario.....	74
3.5.2. Empleo de lámpara fluorescente en el equipo estacionario para la inspección con penetrantes fluorescentes.....	74
3.6. Equipo para medición de luz ultravioleta.....	75
3.7. Método de evaluaciones de sistema.....	75
3.7.1. Bloque de comparación de aluminio	76
3.7.2. Procedimiento para el uso de bloque comparación de aluminio	77
3.7.3. Interpretación de los bloques de comparación.....	77
3.7.4. Renovación del bloque.....	78
3.8. Técnicas de inspección	79
3.8.1. Penetrante Fluorescente.....	79
3.8.2. Penetrante visible lavable con agua.....	80
3.9. Aplicación del revelador.....	82
3.10. Interpretación de la indicación.....	82
3.10.1. Funciones del inspector y terminología utilizado en la Interpretación y evaluación.....	83
3.11. Clasificación de las discontinuidades.....	85
3.12. Evaluación de una discontinuidad.....	87
CAPÍTULO 4	97
Guía de procedimiento general de para la inspección de soldadura con líquidos penetrantes.....	97

4.1. Formulario de reportaje de inspección	105
4.2. Costos mínimos de insumos y materiales para la construcción de banco estacionario.....	106
CAPÍTULO 5	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	107
5.2. Recomendaciones.....	108
Referencias bibliográficas.....	110
Anexos.....	111

Índice de figuras

Fig. 2.1. Pasos a seguir para realizar prueba de Líquidos Penetrantes.....	28
Fig. 2.2. Se muestra la forma en que se realiza la limpieza de una pieza.	35
Fig. 2.3. Muestra el momento en que se aplica Líquido Penetrante.....	36
Fig. 2.4. Se muestra como se remueve el exceso de Líquido Penetrante...	36
Fig. 2.5. Muestra el ángulo correcto de flujo de agua. En el proceso de lavado para la remoción del exceso de líquidos penetrantes ..	37
Fig. 2.6. Se puede observar el momento en que se aplica el Revelador....	38
Fig. 2.7. Presenta la forma en que se realiza la inspección para encontrar fallas.....	39
Fig. 2.8. Aquí se ve como se realiza la limpieza final	40
Fig. 3.9. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para realizar correctamente la prueba de líquidos penetrantes	46
Fig. 2.10. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso A: Penetrante Fluorescente Lavable con Agua.....	47
Fig. 2.11. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso B: Penetrante Fluorescente Post – Emulsificado.....	48

Fig. 2.12. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso C: Penetrante Fluorescente Removido Con Solvente.....	49
Fig. 2.13. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso A: Penetrante Visible Lavable con agua.....	50
Fig. 2.14. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso B: Penetrante Visible Post – Emulsificado.	51
Fig. 2.15. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso C: Penetrante Visible Removido con Solvente.....	52
Fig. 2.16. Posiciones de soldeo. Interpretación de soldadura UF1640....	56
Fig. 2.17. Tipos de uniones. Interpretación de soldadura UF1640.....	58
Fig. 2.18. Preparación de soldes. Interpretación de soldadura UF1640....	60
Fig. 2.19. Referencia de preparación para aceros	61
Fig. 3.1. Equipo portátil para la inspección por líquidos penetrantes, SPOTCHECK AWS 2644, ASTM E-165. www.tpmequipos.com ..	64
Fig. 3.2. Equipo portátil para la inspección, STOTCHECK. Fuente propia.....	64
Fig. 3.3. Banco estacionario construido modelado en SolidWorks, fuente propia.....	65

Fig. 3.4. Cortado de material para construcción de banco estacionario, fuente propia.....	66
Fig. 3.5. Plegado de chapas utilizando el equipo plegador, fuente propia.....	67
Fig. 3.6. Ensamblado del banco estacionario, fuente propia.....	67
Fig. 3.7. Pintado de color plomo estacionario, fuente propia.....	68
Fig. 3.8. Equipo limpiador de probeta de soldadura, fuente propia.....	67
Fig. 3.9. Utilizando limpiador de probeta de soldadura, fuente propia....	69
Fig. 3.10. Aplicando liquido penetrante visible (aerosol) a la probeta de soldadura, fuente propia.....	69
Fig. 3.11. Liquido penetrante visible de color rojo, aplicado en probeta de soldadura, fuente propia.....	70
Fig. 3.12. Estación del drenado de líquido penetrante aplicado en probeta de soldadura, fuente propia.....	70
Fig. 3.13. Remoción del exceso de penetrante. fuente propia.....	71
Fig. 3.14. Aplicando el revelador a la probeta de soldadura, fuente propia	71
Fig. 3.15. Inspección de cordón de soldadura empleando instrumento de medición calibrador (gauge), fuente propia.....	72
Fig. 3.16. Indicaciones en una grieta de soldadura, fuente propia.....	73
Fig. 3.17. Cámara de inspección de luz ultravioleta, fuente propia.....	73
Fig. 3.18. Iluminación con luz natural, fuente propia.....	74

Fig. 3.19. Medidor de intensidad de luz ultravioleta, MODEL DSE 100X. www.pce-iberica	75
Fig. 3.20. Bloque de patrón ASTM de aluminio para líquido penetrante instrumento de medición y control END, www.zion-idt.mx	76
Fig. 3.21. Interpretación de bloque de comparación con penetrante. www.zion-ndt.mx	77
Fig. 3.22. Revelador SPROTCHHECK SKD-S2 aerosol ASTM-1417, ASTM E-165. fuente propia.....	82
Fig. 3.22. Mecanismo para detección de una discontinuidad. Blogspot.com	87

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades Físicas de Líquido Penetrante y Líquido Revelador.	26
Tabla 2. Clasificación de Líquidos Penetrantes según Norma IRAM-CNEA Y 500-1001 (1986)	29
Tabla 3. Clasificación de Líquidos Penetrantes según Norma DIN 54 152 (1989)	33
Tabla 4. Clasificación de Líquidos Penetrantes según Norma JIS Z 2343 (1982)	33
Tabla 5. Clasificación de Líquidos Penetrantes según Norma ASTM: E 165-94.....	34
Tabla 6. Descripción de los colores en las sustancias utilizadas en la prueba de ensayos no destructivos.....	34
Tabla 7. Presenta los tiempos requeridos para que actúen los diferentes tipos de penetrantes con respecto a diversos materiales	42
Tabla 8. Presenta los procesos, así como los tipos de Líquidos Penetrantes a ser utilizados ante diferentes situaciones.....	43
Tabla 9. Aquí encontramos las características principales que poseen los Líquidos Penetrantes Fluorescentes.....	45
Tabla 10. Normas y Códigos ASTM para la inspección de Tintes Penetrantes.....	62

Tabla 11. Normas y Códigos para la inspección de Tintes Penetrantes sección V y artículos	62
Tabla 12. Interferencia de intensidad de luz visible durante la inspección con luz ultravioleta	89
Tabla 13. Intensidad mínima de la luz ultravioleta para detectar grietas finas y gruesas	89
Tabla 14. Efecto de los procesos de manufactura de los materiales sobre las indicaciones del penetrante.....	89
Tabla 15. Influencia de la condición superficial del material sobre las indicaciones del penetrante.	90
Tabla 16. Efecto de diferentes parámetros en las indicaciones	90
Tabla 17. Tiempo de penetración mínima típicos para el proceso de penetrantes fluorescentes.....	91
Tabla 18. Tiempo mínimo de penetrante para el proceso de penetrante visibles removible con solvente.....	92
Tabla 19. De la NOM-B-133 “Clasificación de los métodos de inspección con líquidos penetrantes”	93
Tabla 20. Penetrantes con colorante visible de la marca Magnaflux	93
Tabla 21. Removedores/Limpiadores de la marca Magnaflux	94
Tabla 22. Reveladores de la marca Magnaflux.....	94
Tabla 23. Penetrante fluorescentes postemulsificables de la marca Sherwin.....	95

Tabla 24. Emulsificadores y removedores de la marca Magnaflux.....	95
Tabla 25. Reveladores de la marca Magnaflux.....	96

Resumen

Esta investigación abordo el tema de ensayos no destructivos mediante la aplicación de líquidos penetrantes en las probetas soldadas que se realiza en taller de soldadura eléctrica en la Carrera de Mecánica Industrial, en la cual se desarrolla el análisis de evaluación de las discontinuidades que existe en los cordones de soldadura.

El objetivo principal de la investigación fue determinar las discontinuidades presentes en la unión de las probetas, se implementa un banco estacionario con dimensiones necesarias y con distintos pasos de procedimiento y una cámara de luz ultravioleta para visualizar el contraste superficial de soldadura.

La inspección por líquidos penetrantes visible y fluorescentes, es un procedimiento de inspección no destructiva a de tipo físico-químico diseñado para detectar y exponer discontinuidades en la superficie de materiales de soldadura. El objetivo de líquidos penetrantes es detectar grietas, porosidades, traslapes, costuras, etc.

Se realiza una guía de procedimiento de aplicación con tintas penetrantes, exige como requisitos iniciales y las instrucciones detalladas en un procedimiento. Este documento END-LP-001-00 es para realizar las inspecciones reales, con la que es creado para entrenamiento.

Según los criterios de evaluación, todas las indicaciones deben ser evaluadas en los términos de las normas de aceptación de la sección de referencia de código se aplicará para examinación artículo 6 sección V ED. 21 en donde se proporciona detalles adicionales a ser considerados en los procedimientos específicos a emplear.

Abstract

This research addressed the issue of non-destructive testing through the application of penetrating liquids in the welded specimens that are carried out in the electric welding workshop in the Industrial Mechanical Career, in which the evaluation analysis of the discontinuities that exist in the cords of welding.

The main objective of the investigation was to determine the specimens, a stationary bench with the necessary dimensions and with different procedural steps and to visualize the surface contrast of welding.

Visible and fluorescent liquid penetrant inspection is a non-destructive physical-chemical inspection procedure designed to detect and expose discontinuities on the surface of welding materials. The objective of penetrating liquids is to detect cracks, porosities, overlaps, seams, etc.

A guide to the application procedure with penetrating inks is made, it requires initial requirements and detailed instructions in a procedure. This document END-LP-001-00 is to carry out the actual inspections, with which it is created for training.

According to the evaluation criteria, all indications must be evaluated in terms of the acceptance standards of the reference section of the code will be applied for examination article 6 section V ED. 21 where additional details are provided to be considered in the specific procedures to be used.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El presente trabajo de proyecto de grado tiene como propósito la realización de inspección de probetas soldadas, con el método de ensayos no destructivos con líquidos penetrantes en un banco estacionario, en Carrera de Mecánica Industrial. Orientándose hacia la elaboración de una guía que será implementada, siendo el objetivo principal detectar diversas fallas y anomalías en el proceso de unión de las probetas en el taller de soldadura eléctrica, contribuyendo de ésta manera al mejoramiento del nivel de calidad y el conocimiento de los estudiantes, con el propósito de competir exitosamente en el mercado nacional e internacional, a través de la implementación de la Norma ASTM E-165.

1.2. Planteamiento del problema

La Carrera Mecánica Industrial cuenta con taller de soldadura en formación de profesionales. Los estudiantes realizan la práctica de unión de probetas en distintas posiciones con el propósito de generar habilidades, en las uniones de probetas didácticas que se realizan, existe diversas fallas es complicado garantizar la inspección visual por sus limitaciones probetas, esto implica la inspección por ensayos no destructivos. Aprovechando las ventajas que ofrece el método de líquidos penetrantes en ensayos no destructivos.

El presente trabajo tiene como finalidad demostrar en un banco estacionario la aplicación de inspección con líquidos penetrantes en cordones de soldadura. Es común al observar uniones de probetas metálicas, que en este existe problemas de soldadura, los cuales podrían ser evitados mediante un conocimiento de las técnicas de inspección. Una manera de evitar problemas en este contexto es proporcionar al estudiante de procedimientos que la permitan detectar las discontinuidades propias de una mala aplicación de proceso de soldadura. El método de inspección de uniones soldadas por medio de líquidos penetrantes del tipo visible y fluorescentes lavable con agua, permite detectar discontinuidades de tipo abierto a la superficie y sub superficial en la unión de probetas.

1.3 Objetivos del Proyecto de Grado

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar las probetas de soldadura con Ensayos No Destructivos con la aplicación de líquidos penetrantes en un banco estacionario.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar el equipo estacionario con características de aplicación de procedimientos de ensayo no destructivo.
- Determinar el procedimiento para la ejecución del ensayo bajo la norma ASTM E-165-22.
- Identificar las discontinuidades en las juntas soldadas en el equipo estacionario.
- Evaluar los resultados obtenidos de la probeta soldada.

1.4 Justificación

En taller de soldadura electica de la Carrera Mecánica Industrial, realizan las prácticas de unión de las probetas usando el equipo arco eléctrico, sin duda no se realizan el control de calidad en las probetas soldadas, entonces se requiere una inspección general en las probetas. Una de ventajas que nos ofrece el Ensayo No Destructivo es atreves de líquidos penetrantes. El campo de la soldadura es cada día más extenso y aplicado en las industrias motivo por el cual, el estudiante que se está formado en Mecánica Industrial debe conocer la calidad de soldadura para garantizar las uniones de las probetas en el cual va desempeñar sus funciones como un profesional.

1.5 Delimitación

El desarrollo de banco estacionario y los líquidos penetrantes será implementado en taller de soldadura eléctrica, para la Carrera Mecánica Industrial con el propósito que el estudiante conozca el procedimiento de aplicación de líquidos penetrantes y la interpretación de resultados de las uniones soldadas con el propósito de adquirir, conocimiento en banco estacionario. Este proyecto será construido en talleres de la Carrera Mecánica Industrial.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Ensayos No Destructivos

Ensayos no destructivos (END) es el término que se maneja en el medio ingenieril para designar los métodos usados para la evaluación de las soldaduras y otros materiales sin causarles alteración en sus características y propiedades.

Los ensayos no destructivos (END), la inspección no destructiva (IND), y pruebas no destructivas (PND), son términos semejantes usados sin distinción para estos métodos de evaluación. Este tipo de ensayos NO SUSTITUYE a los ensayos destructivos, son un complemento. Los ensayos no destructivos son la aplicación de métodos físicos indirectos como lo son la inspección visual, la transmisión del sonido, la opacidad al paso de la radiación, marcas de líquidos penetrantes, etc... Y tienen como objetivo verificar la sanidad de las piezas examinadas. No obstante, cuando se aplica éste tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de la pieza, si no verificar su homogeneidad y continuidad. Por lo que se puede concluir que los ensayos no destructivos son la aplicación de métodos físicos que no alteran de forma permanente las propiedades del material a examinar. La SNT (Society for Nondestructive Testing) los define como un grupo de ensayos que se utiliza para detectar discontinuidades o fallas en los materiales, que deja a la probeta en condiciones de realizar la tarea para la cual fue hecha aún después del ensayo.

2.1.1. Técnicas de ensayos no destructivos

Los métodos de exámenes no destructivo que se utilizan en a la actualidad son los siguientes:

- Inspección visual
- Inspección con líquidos penetrantes
- Inspección con partículas magnéticas
- Corrientes de Eddy

- Inspección por ultrasonido
- Inspección radiográfica.

2.1.2. Pruebas No Destructivas

Las pruebas no destructivas son la aplicación de métodos físicos indirectos, como es la transmisión del sonido, la opacidad el paso de la radiación, etc., y que tienen la finalidad de verificar la sanidad o la homogeneidad de las piezas examinadas. Cuando se aplica este tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de las piezas (resistencia a la tensión, dureza o maleabilidad) o la composición química; sino verifica su homogeneidad y continuidad, por lo tanto, estas pruebas no sustituyen a los ensayos destructivos.

Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, no alteran la forma permanente las propiedades físicas, químicas, o dimensionales de un material. Por ello no inutilizan las piezas que son sometidas a los ensayos y tampoco afectan de forma permanente las propiedades de los materiales que las componen.

De acuerdo con su aplicación, los ensayos no destructivos, nombre más comúnmente usado para las pruebas no destructivas, se dividen en:

- Técnicas de inspección superficial.
- Técnicas de inspección volumétrica.
- Técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad.

Cada técnica reporta ventajas y limitaciones, por lo que es conveniente definir sus campos de aplicación.

2.1.3. Técnicas de Inspección Superficial

Mediante estas solo se comprueba la integridad superficial de un material. Por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario determinar discontinuidades que están en la superficie, pudiendo estar abiertas a esta o a una profundidad no mayor a 3 mm. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes Ensayos No Destructivos:

- | | |
|-------------------------|----|
| a) Inspección Visual | VT |
| b) Líquidos Penetrantes | PT |

- c) Partículas Magnéticas MT
- d) Electromagnetismo ET

2.1.4. Técnicas de Inspección Volumétricas

Su aplicación permite conocer la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza. Este tipo de inspecciones se realizan por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

- ❖ Radiografía Industrial RT
- ❖ Ultrasonido Industrial UT
- ❖ Radiografía Neutrónica NT

2.2. Líquidos Penetrantes

La prueba de penetración (PT) es uno de los métodos de prueba no destructivos más utilizados para la detección de discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos. es casi seguro el método NDT de superficie más utilizado en la actualidad porque se puede aplicar prácticamente a cualquier material magnético o no magnético. PT proporciona a la industria una amplia gama de sensibilidades y técnicas que lo hacen especialmente adaptable a una amplia gama de tamaños y formas Es extremadamente útil para los exámenes que se realizan en lugares de campo remotos, ya que es extremadamente portátil. El método también es muy apropiado en un entorno de producción en el que se pueden procesar muchas piezas más pequeñas en un período relativamente corto, de tiempo. Este método tiene numerosas ventajas y desventajas.

2.2.1. Historia de los líquidos penetrantes

A través de sus esfuerzos, varias personas creativas hicieron contribuciones significativas a la tecnología de prueba de líquidos penetrantes, un método importante de prueba no destructiva. Es la historia de los problemas y de cómo las personas ingeniosas los resolvieron.

No había estándares, ni tiempo de penetración, nada sobre la calidad de los materiales o incluso qué tipo de materiales usar. Las personas que lo usaron pudieron encontrar grandes discontinuidades, pero los resultados no fueron consistentes. Lo interesante fue que, aunque el enfoque encontró y localizó discontinuidades, tuvo poco que ver con las innovaciones que condujeron a las técnicas útiles y prácticas que se utilizan habitualmente en la técnica fluorescente de las pruebas de líquidos penetrantes. Con la introducción del método de partículas magnéticas en la década de 1930, la técnica de aceite y blanqueo quedó obsoleta.

En general, se acepta que los orígenes del método de prueba de líquidos penetrantes se encuentran en la industria ferroviaria en una técnica conocida como método de aceite y blanqueo. Este enfoque estuvo en uso a principios de este siglo y posiblemente incluso antes. Era una nave que se usaba para probar componentes críticos de acero en busca de discontinuidades.

Básicamente, la técnica de aceite y blanqueo funcionó de la siguiente manera. La pieza a probar se limpió y se sumergió en aceite de cárter sucio diluido en queroseno. (El aceite usado en las grandes locomotoras de ferrocarril era muy pesado, del orden de 600 de peso, y la experiencia demostró que el aceite sucio funcionaba mejor). Luego se dejó escurrir y se limpió con un solvente. Después de esto, se cubrió con merlán (tiza en polvo). El aceite atrapado sangraría en el merlán. También se ha informado que se usó suspensión de tiza a base de alcohol o agua como revelador. La técnica se usó ampliamente pero nunca se refinó. Los resultados no fueron consistentes y solo se pudieron identificar discontinuidades brutas.

Muchos de estos desarrollos inicialmente se llevaron a cabo por Magnaflux en Chicago, ILINOIS, EE.UU. con la asociación de Switzer Bros., Cleveland, OHIO, EE.UU. Aceites penetrantes más efectivos que conteniendo tintes visibles (normalmente rojo) fueron desarrollados por Magnaflux para reforzar la capacidad descubridora de fallas. Este método, conocido como contraste de tinte penetrante visible o colorido, todavía hoy se usa extensamente. En 1942, Magnaflux introdujo el sistema de Zyglo a las inspecciones de tintes penetrantes donde agregaron tintes fluorescentes al penetrante. Estos tintes serían fluorescentes cuando eran expuesto a la luz ultravioleta (a veces llamado la "luz negra")

mostrando indicaciones de las rajaduras y otras grietas visibles en la superficie más rápidamente a los ojos de los inspectores.

2.2.2. Ventajas y Desventajas en la Prueba de Tintes Penetrantes

Como todos los métodos de inspección no destructivo, la inspección de líquidos penetrantes tiene ventajas y desventajas. Las ventajas primarias y desventajas cuando se compara con otros métodos de Ensayos No destructivos se resumen:

2.2.2.1. Ventajas

- El método tiene alta sensibilidad a las pequeñas discontinuidades de la superficie
- El método tiene pocas limitaciones de materiales, es decir metálico y no metálico, magnético y no magnético, y material conductor y no conductor pueden inspeccionarse
- Grandes áreas y grandes volúmenes de piezas / materiales pueden ser inspeccionados rápidamente y a bajo costo.
- Se inspeccionan rutinariamente piezas con formas geométricas complejas.
- Se producen Indicaciones directamente en la superficie de la pieza y constituyen una representación visual del defecto.
- El rociador Aerosol hecho de líquidos penetrantes son portátiles.
- Los materiales de Líquidos Penetrantes y los equipos asociados son relativamente baratos.

2.2.2.2. Desventajas

- Solamente se pueden detectar defectos superficiales.
- Solamente se pueden inspeccionar materiales no porosos.
- Es crítico la limpieza de la superficie por que los contaminantes pueden cubrir los defectos.
- La limpieza de la superficie metálica previo a la inspección de LP a través de procesos mecánicos como chorros de arenas, lijas o cepillos acerados.

- El inspector debe tener el acceso directo a la superficie inspeccionada.

El acabado de la superficie y las rugosidades pueden afectar la sensibilidad de la inspección.

2.2.2.3. Características de los líquidos penetrantes

El líquido penetrante tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio en la superficie del material. El penetrante ideal debe reunir lo siguiente:

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- Habilidad de permanecer en aberturas amplias.
- Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- Habilidad de extenderse en capas muy finas.
- Resistencia a la evaporación.
- De fácil remoción de la superficie.
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- De fácil absorción de la discontinuidad.
- No tóxico.
- Inodoro.
- No corrosivo.
- Anti inflamable.
- Estable bajo condiciones de almacenamiento.
- Costo razonable.

2.2.3. Alcance de líquidos penetrantes

A continuación, se presentarán los requerimientos mínimos que esta práctica establece para manejar líquidos penetrantes, cuando esta evaluación se realiza en metales y componentes no metálicos siempre que el material sea homogéneo que no sea poroso, vidrio, plástico y algunos materiales cerámicos.

El procedimiento de evaluación de líquidos penetrantes es utilizado para la detección de discontinuidades, tales como falta de fusión, corrosión, grietas, recubrimientos y porosidades que están abiertas o conectadas a la superficie de los componentes que están siendo evaluados.

Cabe mencionar que debe tenerse gran cuidado en el uso de elevadas temperaturas en componentes manufacturados de materiales termoplásticos. Algunos líquidos penetrantes pueden tener efectos nocivos en materiales no metálicos tales como los plásticos. Se vuelve prioritario antes de realizar la prueba, una evaluación para asegurar que ninguna de las sustancias que se utilizara para realizar la prueba sea dañina para los componentes a evaluar.

Propiedad física	Capacidad del Penetrante	Capacidad del Revelador
Capilaridad	Alta	Baja
Tensión superficial	Baja	Alta
Adherencia	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Alta
Viscosidad	Baja	Alta
Partículas	Pequeñas	Grandes

Tabla 1. Propiedades Físicas de Líquido Penetrante y Líquido Revelador, Norma E 165-20 Examinación por líquidos penetrantes

Propiedades de los líquidos penetrantes.

- **Capilaridad:** se define como capacidad de un líquido para ascender o descender a través de dos paredes cercanas de un sólido. Las capilaridades junto con la humectabilidad determinan el poder de penetración de un líquido a través de las discontinuidades.

- **Tensión superficial:** Es una de las propiedades más importantes. Se requiere una tensión superficial baja para obtener buenas propiedades de penetración y mojado
- **Poder humectante:** El penetrador debe ser capaz de mojar completamente la superficie del material y es una de las propiedades más importantes. Esto se refiere al ángulo de contacto del líquido con la superficie, el cual debe ser lo más bajo posible.
- **Viscosidad:** Esta propiedad no produce efecto alguno en la habilidad del líquido para penetrar, aunque afecta la velocidad de penetración. Los penetrantes de alta viscosidad penetran lentamente, en tanto que los de baja viscosidades escurren muy rápido y tiene la tendencia a no ser retenidos en los defectos de poca profundidad; por lo tanto, se recomienda una viscosidad media.
- **Volatilidad:** Los líquidos penetrantes no deben ser volátiles. Si existe una evaporación excesiva de los productos del penetrante, se verá afectada la sensibilidad de todo el proceso, debido tanto al desequilibrio de la formula, como a la pérdida del poder humectante.
- **Gravedad específica o densidad relativa:** No juega un papel directo sobre el comportamiento de un penetrante dado; sin embargo, con densidades bajas se facilita el transporte de materiales extraños que tenderán a sedimentar en el fondo cuando se usan tanques abiertos. La mayoría de los líquidos penetrantes tienen densidades relativas que varían entre 0.86 y 1.06, A 16 °C, por lo general la densidad es menor a 1.
- **Punto de inflamación:** Como medida de seguridad practica los líquidos penetrantes deberán poseer un punto de inflamación elevado con el fin de reducir los peligros de incendio. Generalmente el punto de inflamación es mayor de 95 °C y en recipientes abiertos no debe ser menor de 65 °C.
- **Inactividad química:** Los productos usados en la formulación de los líquidos penetrantes deben se inertes y no corrosivos con respecto a los materiales a ser ensayados y a los recipientes que los contienen.
- **Capacidad de disolución:** El penetrante debe tener una elevada capacidad para contener grandes concentraciones de pigmentos coloreados o fluorescentes usados y mantenerlos en solución.

2.3. Método de aplicación de los Líquidos Penetrantes.

Se aplica el líquido penetrante a la superficie de la pieza a ser examinada, permitiendo que penetre en las aberturas del material, después de lo cual el exceso del líquido es removido. Se aplica entonces el revelador, el cual es humedecido o afectado por el penetrante atrapado en las discontinuidades de esta manera se incrementa la evidencia de las discontinuidades, tal que puedan ser vistas ya sea directamente o por medio de una lámpara o luz negra.

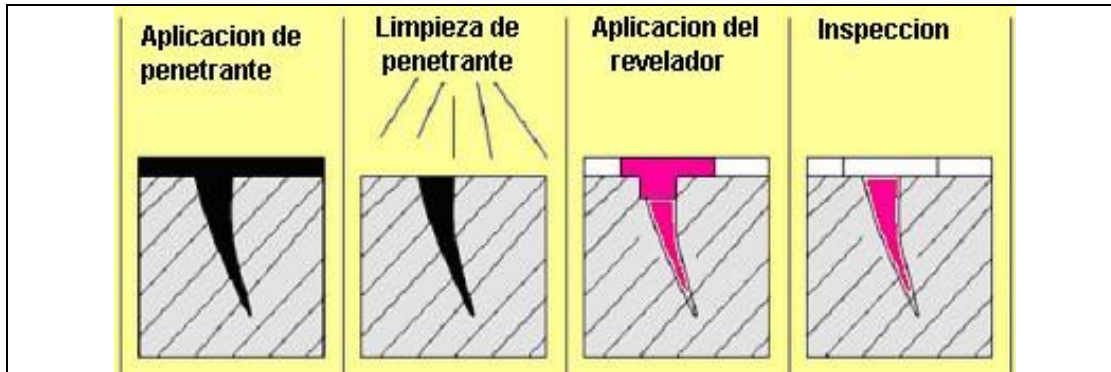


Figura 2.1. Pasos a seguir para realizar prueba de Líquidos Penetrantes, ASTM E-165

2.4. Clasificación de los líquidos penetrantes

A:	Penetrante Fluorescente	1	Lavables con Agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con Solvente.
B:	Penetrante Coloreado o visible	1	Lavables con Agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con Solvente.
C:	Penetrante de Uso Dual	1	Lavables con Agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con Solvente.

Tabla.2. Clasificación de Líquidos Penetrantes según Norma IRAM-CNEA Y 500-1001
(2020)

2.4.1. Clasificación de líquido Penetrantes por tipo de tinte

Los líquidos penetrantes generalmente se clasifican por tipo según el tinte contenido en el líquido penetrante. El proceso de prueba de líquidos penetrantes se basa en que el líquido penetrante entra en una discontinuidad y, posteriormente, se extrae y se hace fácilmente visible en la superficie de una pieza. La cantidad de líquido penetrante atrapado en las discontinuidades suele ser muy pequeña. Si se va a detectar la discontinuidad, la pequeña cantidad de líquido penetrante debe ser muy visible. En los días del aceite y el blanqueo, se descubrió que el aceite usado o sucio era mucho más visible que el aceite de máquina limpio. Hoy en día, los químicos hacen que los líquidos penetrantes sean visibles al disolver tintes de colores intensos en un aceite penetrante u otro vehículo. Según el tinte, los líquidos penetrantes se clasifican en uno de los tres tipos que se describen a continuación.

a) Penetrante líquido fluorescente.

Los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un tinte fluorescente que emite una luz verde amarillenta cuando se expone a la radiación ultravioleta cercana (con una longitud de onda de 320 a 400 nm). Esta propiedad se denomina fluorescencia. Cantidades muy pequeñas de líquido penetrante fluorescente emitirán indicaciones muy visibles cuando se expongan a la radiación ultravioleta.

b) Líquido penetrante visible.

Los penetrantes líquidos de contraste de color o tinte visible contienen un tinte que es visible bajo la luz natural o blanca. La visibilidad se mejora aún más durante el proceso de líquidos penetrantes mediante la aplicación de un revelador blanco. El revelador blanco proporciona un fondo de alto contraste para el líquido penetrante de color cuando se ve bajo la luz adecuada. El tinte rojo es el más común, aunque también se usa algo de tinte azul.

c) Líquido Penetrante de Modo Dual (Visible y Fluorescente).

Los líquidos penetrantes de modo dual contienen tintes que son tanto coloreados bajo luz blanca como fluorescentes bajo radiación ultravioleta. Sin embargo, las intensidades del color visible (generalmente rojo) y el color fluorescente (generalmente naranja) son menores que los colores producidos por los líquidos penetrantes visibles y fluorescentes, respectivamente.

2.4.2. Clasificación de líquidos penetrantes por método de eliminación

Un líquido penetrante se clasifica además por la técnica utilizada para eliminarlo de la superficie de una pieza después de haber estado en la pieza una cantidad específica de tiempo de permanencia durante el proceso de prueba. Los líquidos penetrantes están formulados y fabricados para técnicas de eliminación específicas diseñadas para minimizar la eliminación del líquido penetrante que se ha filtrado en una discontinuidad. Cada técnica de eliminación tiene ventajas y desventajas, que se analizan a continuación.

1. Líquido penetrante lavable con agua.

La mayoría de los líquidos penetrantes contienen una base de aceite insoluble e inmiscible con agua

Esto significa que el exceso de líquido penetrante en una pieza no se puede eliminar con agua. Sin embargo, algunos líquidos penetrantes son mezclas cuidadosamente compuestas de una base de aceite y un emulsionante, y otros tienen agua o una tensión activa como base en lugar de aceite. Los fabricantes proporcionan estas formulaciones alternativas en líquidos penetrantes listos para usar, que pueden eliminarse con agua inmediatamente después de que el líquido penetrante permanezca. Dependiendo de los requisitos impuestos al procedimiento de prueba de líquidos penetrantes por las especificaciones del proceso aplicable, la eliminación se puede lograr limpiando la superficie de la pieza con un paño húmedo sin pelusa (después de limpiar primero con un paño seco sin pelusa), dirigiendo un rociado controlado sobre la pieza o sumergiendo y agitando la pieza en agua.

2. Líquido Penetrante Postemulsionable.

Cuando se utilizan en el proceso de Posemulsificación, los líquidos penetrantes se pueden formular para optimizar sus características de penetración y visibilidad para una mayor sensibilidad. Debido a que los líquidos penetrantes postemulsificables no contienen ningún agente emulsionante, es menos probable que se eliminen de la discontinuidad cuando el líquido penetrante superficial se elimina con agua. La eliminación de una superficie se logra aplicando un emulsionante en un paso de proceso separado, normalmente sumergiendo la pieza en un tanque de emulsionante o rociando el emulsionante sobre la pieza. Según el tipo de emulsionante utilizado, el emulsionante convierte el exceso de líquido penetrante superficial en una mezcla que forma una emulsión con la adición de agua (lipófilo) o actúa directamente con el líquido penetrante para formar una emulsión que luego se elimina con agua (hidrofílico).

3. Líquido removible con solvente Penetrante.

El término removible con solvente se usa a menudo como si se aplicara a una clase discreta de líquidos penetrantes. De hecho, todos los líquidos penetrantes pueden eliminarse con disolventes. En la mayoría de las aplicaciones, los líquidos penetrantes que se usan en el proceso de remoción con solvente son postemulsificables; sin embargo, también se pueden usar líquidos penetrantes lavables con agua. Para algunas aplicaciones, un fabricante puede optar por ofrecer un líquido penetrante calificado solo para el proceso de eliminación de solventes.

Con esta técnica, el exceso de líquido penetrante se elimina de una superficie de prueba limpiando primero la superficie con un paño limpio, seco y sin pelusa o una toalla de papel. Una vez que se haya eliminado la mayor parte del líquido penetrante de la superficie, el resto se elimina con otro paño limpio ligeramente humedecido con el solvente. Debido a que la técnica de eliminación con solvente requiere mucha mano de obra, normalmente se usa solo cuando es necesario inspeccionar un área localizada de una pieza o una pieza en su sitio de servicio en lugar de en un entorno de producción. Cuando se aplica correctamente, la técnica de eliminación de solventes puede ser una de las técnicas de prueba de líquidos penetrantes más sensibles disponibles.

Removedores: se agrupan en tres clases:

- a) agua
- b) emulsionantes
 - 1) de base oleosa
 - 2) de base acuosa
- c) disolventes

Reveladores: pueden ser.

I) Polvos secos.

II) Dispersiones y soluciones acuosas:

- a) dispersión de polvo en agua.
- b) solución de polvo en agua.

III) Suspensión de polvo en disolventes volátiles no acuoso.

- a) no inflamable.
- b) inflamable.

Penetrantes		Removedor del penetrante en exceso		Revelador	
Código	Designación	Código	Designación	Código	Designación
A	Fluorescente	A	Solvente Liquido	A	Seco
B	Coloreado	B	Agua y Solvente	B	No Acuoso
C	Flúor. y Coloreado	C	Agua	C	Acuoso
		D	Emulsificador Hidrofílico (base agua)		

	E	Emulsificador Lipofilicos (base aceite)	
--	----------	--	--

Tabla.3. Clasificación de Líquidos Penetrantes, según Norma DIN
54 152 (2020)

Designación	Método	Símbolo
Fluorescente	Lavable con Agua	FA
	Postemulsificables	FB
	Removible con Solvente	FC
Coloreado	Lavable con Agua	VA
	Removible con Solvente	VC
Método de Revelado Seco	Revelador Seco	D
Método de Revelado Húmedo	Revelador Húmedo Acuoso	W
	Revelador Húmedo No Acuoso	S
Método sin Revelado	Sin Revelador	N

Tabla.4. Clasificación de Líquidos Penetrantes, según Norma JIS Z 2343 (2020)

Tipo I: Fluorescente	
Método	Descripción
A	Lavable con agua (ASTM E-1200)
B	Postemulsificables Lipofilicos (ASTM E-1208)
C	Removible con Solvente (ASTM E-1219)
D	Postemulsificables Hidrofílico (ASTM E-1210)
Tipo II Coloreados	

Método	Descripción
A	Lavables con Agua (ASTM E-1418)
C	Removible con Solvente (ASTM E-1220)

Tabla.5. Clasificación de Líquidos Penetrantes, según Norma ASTM: E 165-94.

Tipo I = Penetrante fluorescente

Tipo II = Tintas permanentes o visibles

Proceso A = Penetrante lavable en agua

Proceso B = Penetrante postemulsificado

Proceso C = Penetrante removido con solvente

Revelador seco: Grano fino se aplica por espolvoreado, rociado o sumergido.

Revelador no acuoso: Es una suspensión absorbente, aplicado por rocío

Revelador húmedo: Es una suspensión absorbente de polvo en agua, se aplica por inmersión.

Portátil (atomizador)

Estacionario (inmersión)

Simple vista Spotcheck® (portátil)

Luz negra Syglo® (estacionario)

Tipo de Líquido	Portátil	Estacionario
Líquido penetrante	Rojo	Verde (fluorescente)
Removedor	Incoloro	Incoloro
Revelador	Blanco	Blanco

Tabla 6. Descripción de los colores en las sustancias utilizadas en la prueba de ensayos no destructivos, ASTM E

2.5. Preparación y limpieza de la pieza:

Limpiar cuidadosamente la superficie a inspeccionar de pintura, aceite, grasa y otros contaminantes. Será necesario eliminar los restos de óxidos, pinturas, grasas, aceites, taladrinas, carbonillas, etc. Y esto se hace por métodos químicos, ya que los mecánicos, están prohibidos por la posibilidad que tiene su aplicación de tapar defectos existentes. Se pueden usar todos aquellos procesos que dejen a la superficie limpia y seca; que no dañen al espécimen y que no empleen productos que sean incompatibles con los componentes.



Figura 2.2. Se muestra la forma en que se realiza la limpieza de una pieza, ASTM Practice for L P Inspection M. Standard E-165

Soluciones detergentes en caliente por inmersión, desengrase en fase de vapor o desengrase mediante disolvente, son los principales métodos para eliminar grasas y aceites. Los óxidos y las carbonillas térmicas se eliminarán con desoxidantes alcalinos o ácidos y a veces, principalmente en superficies rectificadas se hace un ataque ácido a fondo que abre las grietas durante la operación. Las pinturas se eliminan con productos cáusticos en caliente o basados en ellos.

2.5.1. Aplicación del penetrante.

Los penetrantes se aplican por inmersión, rociado con un cepillo o brocha, vertiendo el líquido sobre la pieza o cualquier otro método, que cubra la zona que se inspecciona.



Figura 2.3. Muestra el momento en que se aplica Liquido Penetrante, ASTM E-165

Será necesario obtener una película fina uniforme en toda la superficie y se deberá esperar un tiempo llamado tiempo de penetración para que el líquido penetre en grietas. Este tiempo oscila entre los 5 y 15 minutos dependiendo del material y la clase de grietas.

2.5.2. Eliminación del exceso de penetrante.

Se debe retirar la capa superficial del penetrante de forma que lo único que permanezca sea el que se hubiera alojado en las discontinuidades.

Se entiende por exceso de penetrante todo líquido que no se ha introducido en los defectos y que permanece sobrante sobre la superficie de la pieza a inspeccionar.



Figura 2.4. Se muestra como se remueve el exceso de Liquido Penetrante, ASTM E-165

Esta etapa es crítica y de su correcta realización dependerá el resultado final de la inspección, ya que es necesario eliminar y limpiar el exceso de penetrante de tal modo que no extraigamos el penetrante introducido en los defectos. Si no se ha eliminado perfectamente el líquido penetrante, en la inspección final aparecerán manchas de penetrante produciendo indicaciones falsas e incluso, el enmascaramiento de las grietas. Para saber si hemos eliminado bien el exceso de penetrante es necesario hacer una inspección visual. Es aconsejable quitar en primer lugar la mayor parte del penetrante con trapos o papel absorbente y después eliminar el resto utilizando trapos o papel ligeramente impregnados en disolvente.

Luego de que el tiempo de penetración ha transcurrido, se procederá a la remoción del excedente superficial cuidado de no remover aquel que está retenido en las discontinuidades.

El resultado de esta etapa debe ser evaluado bajo luz blanca para penetrantes coloreados y bajo luz negra para fluorescentes. La remoción dependerá del tipo de penetrante utilizado.

a) Penetrantes lavables con agua: dado que el LP contiene dentro de su formulación el emulsificador, puede ser removido directamente con agua. Esto se realiza con dispositivos (boquillas) que permitan aplicar una vasta lluvia o rociado de agua que no exceda una presión de 2 Kg /cm² (200 kPa) y a una temperatura entre 10 a 40 °C y no mayor a 43 °C (110°F).

El lavado deberá realizarse de tal forma que el chorro de agua no sea perpendicular a la superficie sino con un cierto ángulo. Como muestra la Figura.

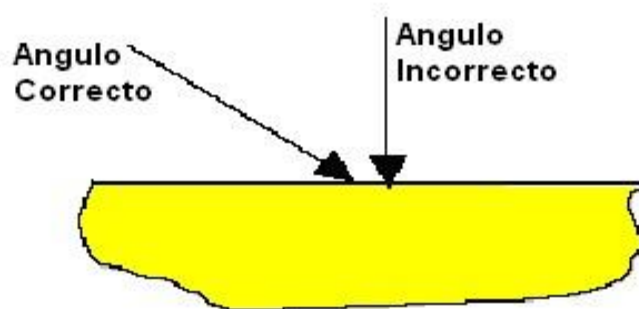


Fig. 2.5. Muestra el ángulo correcto de flujo de agua. En el proceso de lavado para la remoción del exceso de líquidos penetrantes.

Se tendrá especial cuidado de no producir un sobre lavado realizando este paso bajo luz blanca con penetrantes coloreados y bajo luz negra para fluorescentes. Otra indicación importante es que el lavado para LP fluorescentes deberá hacerse de abajo hacia arriba para evitar el velo fluorescente que se produce sobre la pieza por el chorreado. En piezas fundidas donde la fluorescencia puede ser muy tenaz es posible la inmersión de la pieza y un rociado posterior siempre y cuando se tenga un buen control para evitar el sobre lavado.

b) Penetrantes postemulsificables lipofilicos: los penetrantes de esta categoría no poseen el emulsificador incorporado por lo que se requerirá una etapa adicional de emulsificación sobre el LP en exceso.

2.5.3. Aplicación del revelador.

Aplicar el revelador y dejarlo actuar.

El revelado es la operación que hace visible al ojo humano la posición del defecto. El revelador es básicamente un producto en polvo de compuestos químicos blancos, inertes y con una granulometría tal que dispone de un gran poder de absorción. Una vez aplicado el revelador, hay que esperar un tiempo para que absorba el penetrante, este tiempo oscila entre 5 y 15 minutos.

Durante la preparación de las piezas para la inspección es necesario secarlas después de la aplicación del revelador húmedo o eliminar el remanente antes del uso del polvo revelador seco.



Figura 2.6. Se puede observar el momento en que se aplica el Revelador.

2.5.4. Inspección final de la pieza.

Una vez transcurrido el tiempo de revelado, se procede a la inspección de los posibles defectos de las piezas procesadas.

El tiempo de revelado depende del tipo de penetración, del revelador y del defecto, pero deberá permitirse tiempo suficiente para que se formen las indicaciones. La inspección se realiza antes de que el penetrante comience a exudar sobre el revelador hasta el punto de ocasionar la pérdida de definición⁶.



Figura 2.7. Presenta la forma en que se realiza la inspección para encontrar fallas.

El proceso de inspección se compone de tres etapas.

- A. Inspección.
- B. Interpretación.
- C. Evaluación.

Una regla práctica es que el tiempo de revelado nunca debe ser menor a siete minutos.

- Indicaciones relevantes. Son las causadas por discontinuidades que están generalmente presentes en el diseño.
- Indicaciones falsas. Son el resultado de alguna forma de contaminación con penetrantes, estas indicaciones no pueden referirse a ningún tipo de discontinuidad.

2.5.5. Limpieza final.

Se debe llevar a cabo en razón de los productos usados en el ensayo.



Figura 2.8. Aquí se ve como se realiza la limpieza final.

2.6. Tiempo de Penetración.

Material	Proceso	Tipo de discontinuidad	Tipo I Y II	Tipo I Y II	Tipo I Y II
			Proceso A	Proceso B	Proceso C
Aluminio	Fundición	Porosidades	5 a 10 min	5 min	3 min
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7
	Soldadura	Falta de fusión	30	5	3
		Todos	Porosidades	30	5
	Todos	Grietas	30	10	5
			Grietas de fatiga	NR	30

Magnesio	Fundición	Porosidades	15	5	3	
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7	
	Soldadura	Falta de fusión	30	10	5	
		Todos	Porosidades	30	10	5
		Grietas	30	10	5	
		Grietas de fatiga	NR	30	7	
Acero	Fundición	Porosidades	30	10	5	
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7	
	Soldadura	Falta de fusión	60	10	7	
		Todos	Porosidades	60	10	7
		Todos	Grietas	30	10	7
		Grietas de fatiga	NR	30	10	
Latón y bronce	Fundición	Porosidades	10	5	3	
	Extrusión y forja	Traslapes	NR	10	7	
	Recubrimientos	Falta de fusión	15	10	3	
		Todos	Porosidades	15	10	3
		Grietas	30	10	3	
Plásticos	Todos	Grietas	5 a 30	5	5	
Vidrio	Todos	Grietas	5 a 30	5	5	

Herramienta con punta de carburo		Falta de fusión	30	5	3
		Porosidades	30	5	3
		Grietas	30	20	5
Titanio y aleaciones a altas Temp.	Todos		NR	20 a 30	15
Todos metales	Todos	Esfuerzos o Granulación Interna	NR	240	240
NR = no recomendable					

Tabla 7. Presenta los tiempos requeridos para que actúen los diferentes tipos de penetrantes con respecto a diversos materiales.

2.7. Guía de Selección del proceso

En esta parte se encontrarán los diversos tipos de aplicaciones para las cuales pueden ser utilizados dichos métodos y la respectiva orientación en cuanto a cuál tipo de proceso resulta ser el mas adecuado para esa prueba.

PROBLEMA	PROCESO TIPO I Y II	OBSERVACIONES
Alta producción de artículos pequeños	A	Pequeñas cantidades mojadas en canastas
Alta producción de artículos grandes	B	Grandes forjas, extrusiones, etc.
Alta sensibilidad para discontinuidades finas	B	Indicaciones más claras y más brillantes

Discontinuidades superficiales, rayones, etc.	B	Puede controlarse la profundidad de emulsificación.
Artículos con rugosidad superficial	A	
Artículos con cuerdas y cuñeros.	A	El penetrante podría fijarse en las esquinas.
Artículos con rugosidad superficial media	A – B	La elección depende de los requerimientos de producción y sensibilidad.
Prueba por puntos.	C	
Se necesita equipo portátil.	C	
No se dispone de agua y electricidad	C	
Artículos anodizados, agrietados después del anodizado	C – B – A	De preferencia el orden indicado
Repetir el proceso	C	Cinco a seis repeticiones podrían ser el límite.
Detección de fugas	A – B	

Tabla 8. Presenta los procesos, así como los tipos de Líquidos Penetrantes a ser utilizados ante diferentes situaciones.

2.8. Características del Penetrante Fluorescente

Ahora veremos con mayor detalle a través de una tabla las características tanto positivas como negativas de los tres tipos de pruebas para líquidos penetrantes que existen.

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LAVADO CON AGUA	<p>La fluorescencia asegura visibilidad</p> <p>Fácilmente lavable con agua.</p> <p>Grandes cantidades de especímenes pequeños.</p> <p>Superficies rugosas.</p> <p>Cuñero y cuerdas.</p> <p>Amplio rango de discontinuidades.</p> <p>Rápido.</p> <p>Proceso sencillo.</p>	<p>Requiere luz negra y áreas oscuras. No es seguro en la detección de rayones y fallas superficiales.</p> <p>No es seguro volver a probar.</p> <p>No es seguro en superficies anodizadas.</p> <p>Ácidos y cromatos afectan la sensibilidad.</p> <p>Fácilmente sobre lavado.</p> <p>El penetrante está expuesto a la contaminación del agua.</p>
POST EMULSIFICADO	<p>La fluorescencia asegura visibilidad.</p> <p>Alta sensibilidad para discontinuidades muy finas.</p> <p>Bueno para discontinuidades superficiales.</p>	<p>Requiere luz negra y áreas oscuras.</p> <p>Requiere mas paso.</p> <p>Requiere equipo para la aplicación de emulsivo.</p>

		Difícil remoción del penetrante en
	Fácilmente lavable con agua después de la emulsificación. Tiempo de penetración corto. No puede ser fácilmente sobre lavado	cuerdas, cuñeros, agujeros ciegos y superficies rugosas
REMOVIDO CON SOLVENTE	La fluorescencia asegura visibilidad Portátil. No requiere agua. Bueno sobre piezas anodizadas. Para verificación por puntos. Las piezas pueden ser re probadas	Requiere luz negra y áreas oscuras. Material inflamable. No puede usarse en tanques abiertos. Difícil su empleo sobre superficies rugosas tales como fundición de magnesio.

Tabla 9. Aquí encontramos las características principales que poseen los Líquidos Penetrantes Fluorescentes.

2.9. Diagramas de Aplicación de Líquidos Penetrantes



Fig. 2.9. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para realizar correctamente la prueba de líquidos penetrantes.

2.9.1. Proceso A: Penetrante Fluorescente Lavable con Agua

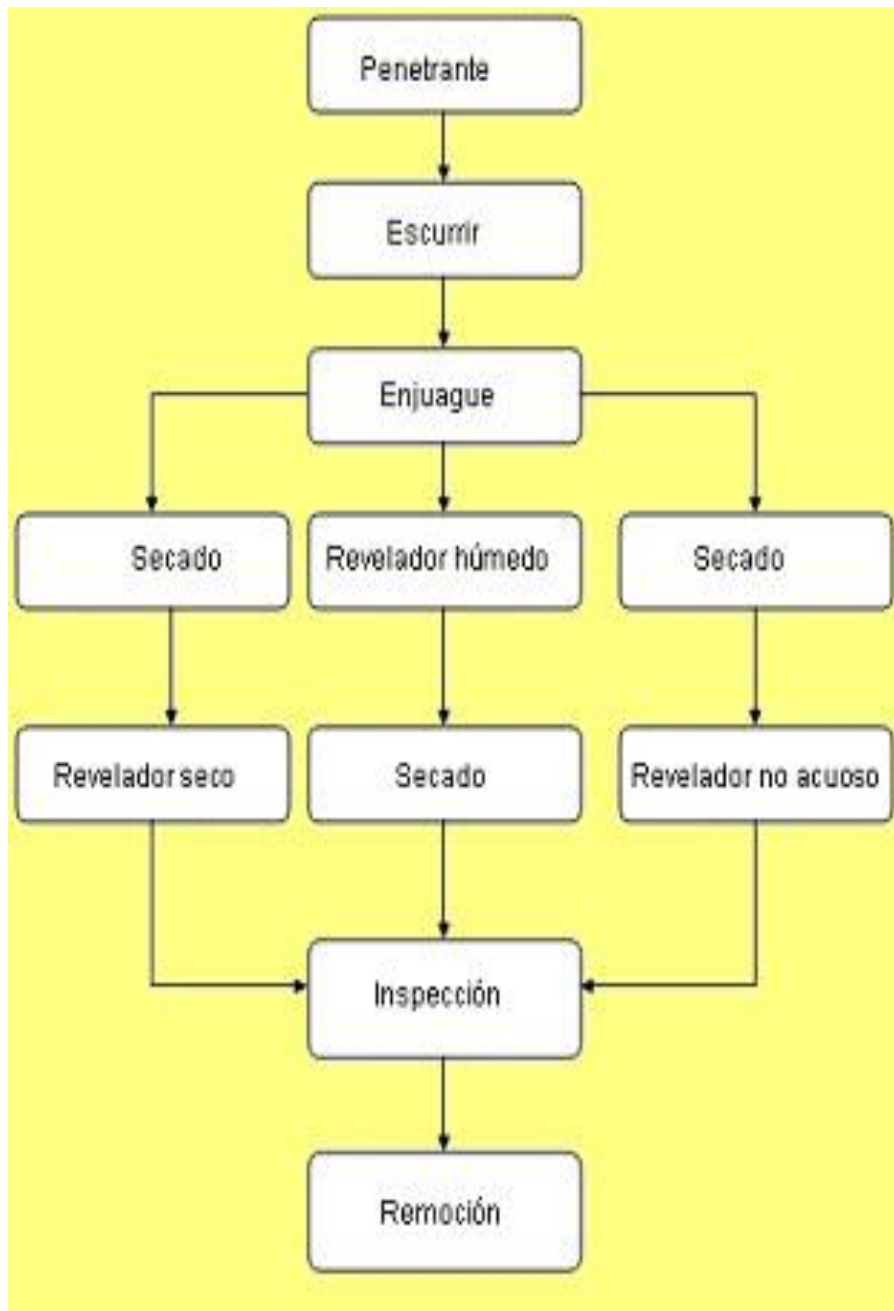


Fig. 2.10. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso A: Penetrante Fluorescente Lavable con Agua.

2.9.2. Proceso B: Penetrante Fluorescente Post – Emulsificado

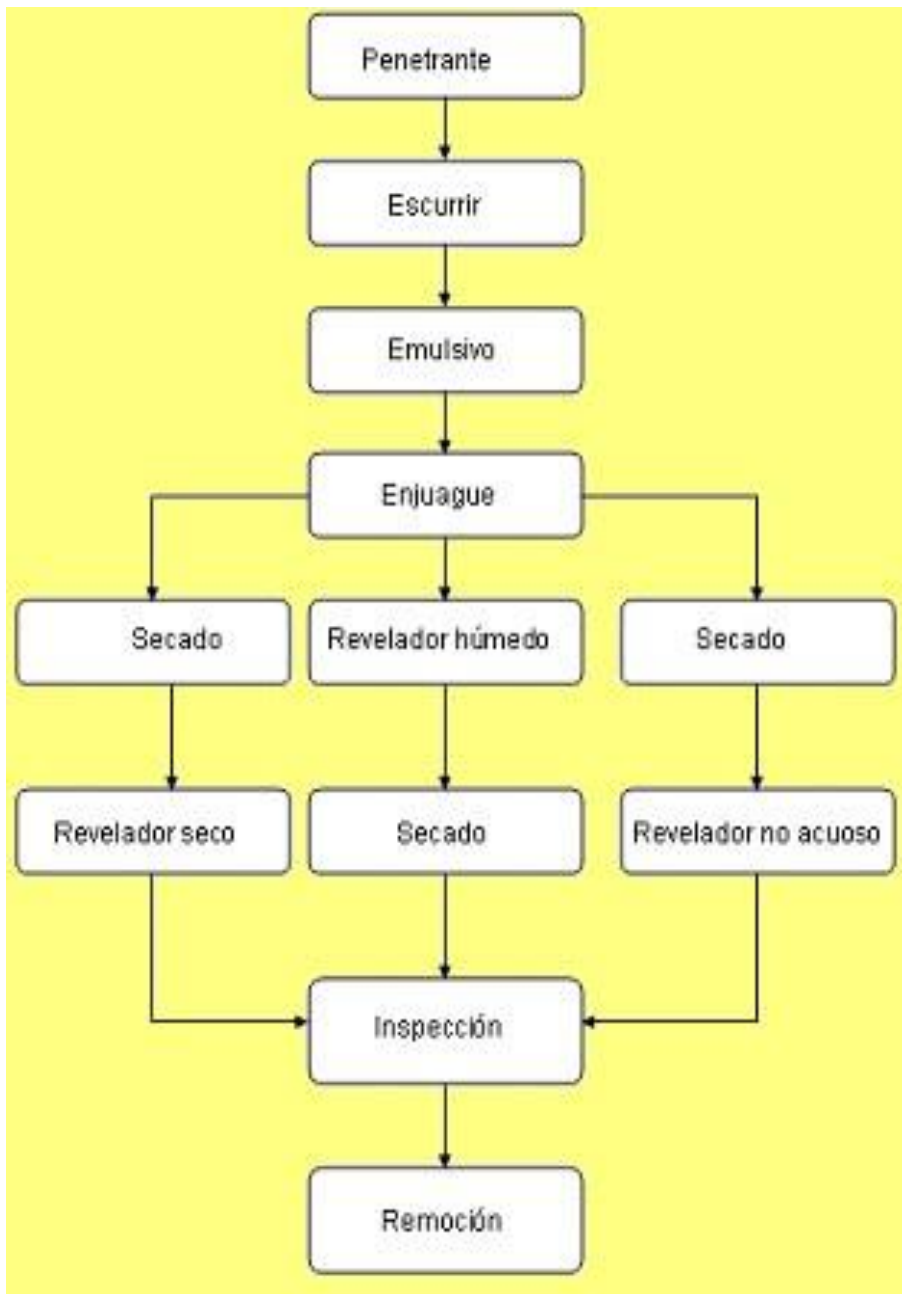


Fig. 2.11. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso B: Penetrante Fluorescente Post – Emulsificador.

2.9.3. Proceso C: Penetrante Fluorescente Removido Con Solvente



Fig. 2.12. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso C: Penetrante Fluorescente Removido Con Solvente.

2.9.4. Proceso A: Penetrante Visible Lavable con Agua



Fig. 2.13. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso A: Penetrante Visible Lavable con Agua

2.9.5. Proceso B: Penetrante Visible Post – Emulsificador



Fig. 2.14. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso B: Penetrante Visible Post – Emulsificador.

2.9.6. Proceso C: Penetrante Visible Removido con Solvente



Fig. 2.15. Diagrama que nos muestra los pasos a seguir para la realización de la prueba de líquidos penetrantes en su Proceso C: Penetrante Visible Removido con Solvente.

2.10. Costos de los equipos

Proveedor: GRAINGER USA.

# CO RR	Cantidad y Modelo	Contenido	Descripción	Código identificador GRAINGER	Total precio FOB MIAMI
					US(\$)
1	64 SKL-SP1	aerosol Penetrante (16 oz.)	1 Lata de Penetrante visible, tiene la apariencia de un líquido grasoso de color rojo oscuro.	3WU59	865.92
2	64 SKD-2	Aerosol Colorante Revelador (16 oz.)	1 Lata de Revelador para inspección por líquidos penetrantes, tiene un aspecto de líquido blanco, genera un olor a alcohol, altamente soluble en agua	3WU60	791.04
3	128 SKC-S	Aerosol Limpiador (16 oz.)	1 Lata de Limpiador-removedor solvente para inspección penetrante, tiene un aspecto claro (líquido incoloro), no es soluble en agua.	3WU61	1514.24
4	1 SK-816	juego Spotcheck (8 latas)	1 Juego que Incluye 2 latas de aerosol penetrante (3WU59), 2 latas de aerosol colorante revelador (3WU60), 4 latas de Aerosol limpiador (3WU61) en un estuche portátil	3WU62	117.60
5	1 SK-416	Juego Zyglo (4 latas)	1 Juego que Incluye 1 lata de aerosol penetrante (3WU59), 1 lata de aerosol colorante revelador (3WU60), 2 latas de Aerosol limpiador (3WU61) en un estuche portátil, paños limpiadores, un lápiz penetrante colorante	3WU63	66.20
6	1	juego Zyglo (8 latas)	1 Juego que Incluye 1 lata de aerosol penetrante, 1 lata de aerosol revelador, 2 latas de Aerosol limpiador, una lámpara de luz ultra-violeta todo en un estuche portátil de plástico. El colorante fluorescente es muy sensible donde para visualizarlo se requiere una luz ultra-violeta	3WU64	730.00
7	4	Lápiz Colorante Rojo	1 Lápiz que Contiene penetrante colorante y puede ser utilizado las áreas a analizar son difíciles de alcanzar	1UYD5	333.20
8	4	Lápiz Colorante	1 Lápiz que Contiene penetrante colorante y puede ser utilizado las áreas a analizar son difíciles de	1UYD6	333.20

		Verde fluorescente	alcanzar, es visible bajo luz ultravioleta		
--	--	--------------------	--	--	--

Todos los equipos son marca MAGNAFLUX *para mayores detalles ver anexo A

TOTAL 4989.00

2.11. Tipos de soldadura

La Soldadura es una ciencia joven que apenas tiene un siglo de vida, al menos en lo que se refiere a los procesos manuales (es decir, los distintos tipos de soldadura) que se estudian en los Certificados de Profesionalidad:

- Soldeo al arco con electrodos revestidos.
- TIG.
- MIG MAG.
- Oxigás.

Aunque el arco eléctrico fue descubierto en 1800 por el británico Sir Humphry Davy, no se empezó a aplicar a la fabricación soldada hasta principios del siglo xx. A finales del x IX el único medio de soldadura era la fragua, en la que el herrero unía dos metales precalentados a base de golpearlos. Se mantiene el calor en la costura y la presión del martillo puede, en esas condiciones, unir láminas planas. Ya es a partir del 1900 cuando se fabrican los primeros electrodos recubiertos. En 1888 Nikolay Slavyanov inventó el electrodo de metal consumible y en 1900 el británico A. P. Strohmenger y el sueco Osear Kjellberg (fundador de ESAB) mejoraron su invento, el primero revistiendo al electrodo con arcilla y cal para estabilizar el arco, y el segundo con una mezcla densa de carbonatos y silicatos (precursora de los electrodos básicos). Al mismo tiempo se desarrollan los primeros sopletes de acetileno.

Con estos cuatro procesos de soldadura se realizan la mayor parte de las soldaduras manuales actualmente en diversos materiales, espesores, aplicaciones. Cada uno de ellos destaca en algún particular:

Oxigas: soldeo con llama producida por la combustión de acetileno oxígeno. El material de aportación consiste en una varilla que el soldador debe ir introduciendo en la soldadura para formar el cordón. Es portátil, relativamente económico, versátil. Con solo cambiar la


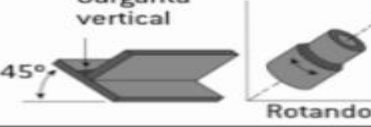
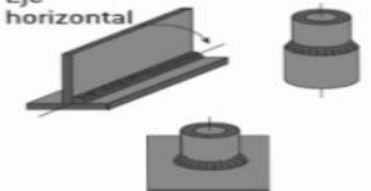

antorcha podemos calentar, oxicorte o soldar, lo que lo hace mucho práctico en trabajos con pequeños espesores. Es más indicado para el acero en pequeños espesores.

Electrodo revestido: los equipos son sencillos la tecnología permite que su tamaño sea cada vez más pequeño con mejores prestaciones. Se puede utilizar en cualquier medio (naves industriales, trabajos de campo, bajo el agua, etc.), principalmente para los aceros al carbono, de baja aleación, fundiciones e inoxidables en espesores finos o medios, aunque también se puede aplicar a otros como bronce aluminio. El electrodo es una varilla auto protegida por el revestimiento. Tanto máquinas como consumibles son los más económicos.

MIG MAG: su rendimiento productividad es la mayor de todos. No tiene las limitaciones del electrodo. Los hilos macizos no tienen escoria, desprende pocas proyecciones la longitud que se puede dar a los cordones es mucho mayor. Suelda los aceros en general aluminio con muy buenas calidades. TIG: es el proceso de mayor calidad, permite ajustar muy bien la fusión la cantidad de material de aportación. Es indispensable en la industria de la alimentación para la soldadura de tuberías en acero inoxidable. Puede soldar todo tipo de metales asegurando su protección con acabados lisos sin protecciones.

2.12. Posiciones de soldeo

Los procesos manuales que hemos visto tienen capacidad para soldar en varias posiciones. Estas posiciones tienen un nombre propio por el que nos referimos a ellas en el taller, pero también un código técnico que se lo da la norma que las regula (las más utilizadas son la ASME la EN). Unos otros aparecen en la siguiente tabla:

Posición de la unión	Designación		
	EN	ASME	COMÚN
	PA	1G	Plana
	PA	1F	Plana Acunada
	PB	2F	En ángulo
		2FR	En ángulo







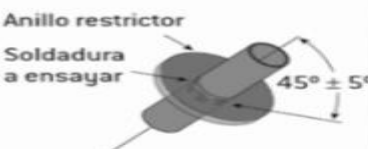
Posición de la unión	Designación		
	EN	ASME	COMÚN
 <p>Tuberías fijas</p>	PF [ascendente] PG [descendente]	5G ascendente 5G descendente	Múltiple ascendente o descendente
 <p>Tuberías fijas Tuberías fijas</p>	PF [ascendente] PG [descendente]	5F ascendente 5F descendente	Múltiple ascendente o descendente
 <p>45°</p>	 H-L045  J-L045  K-L045	6G	Múltiple
 <p>6G con anillo</p> <p>Anillo restrictor</p> <p>Soldadura a ensayar</p> <p>45° ± 5°</p>		6GR	Múltiple con anillo de restricción

Fig. 2.16. Posiciones de soldeo. Interpretación de soldadura UF1640

El soldador debe tener los conocimientos para decidir qué técnica es la más adecuada para cada soldadura según:

- La posición de soldeo.
- El espesor, anchura y longitud de la pieza.
- Acceso a la unión (por ambas caras o solo por una).
- El tipo de material.
- El proceso a utilizar.
- El tipo de unión

Para ayudar al soldador existen algunos documentos donde se ponen todas estas variables de acuerdo y orientan para que la soldadura se realice correctamente. En empresas normalizadas se suelen facilitar los parámetros de fabricación (según el caso, el valor de intensidad, de voltaje, de velocidad de hilo, el caudal de gas, etc.) a través de la WPS y PQR

- WPS (del inglés "Welding Procedure Specification" o especificación del proceso de Soldadura): en este documento se indican los parámetros que los soldadores de producción deben seguir. Antes de la fabricación se hacen varias pruebas hasta que la unión en cuestión tiene la calidad necesaria, se anotan esos valores en la WPS y esta se facilita a todos los soldadores que tienen que realizar este trabajo.
- PQR (del inglés "Procedure Qualification Record" o prueba para dar con el procedimiento): así es como se llama al método para obtener los valores que luego se anotan en la WPS. Es realizado por un soldador en presencia de un Inspector de Construcciones Soldadas (ICS) y garantiza que todo ha salido bien y que los parámetros elegidos van a dar soldaduras de calidad. El inspector debe hacer las pruebas necesarias para estar seguro de que todo es correcto antes de dar por válido el PQR.
- WOTR (del inglés "Welder Qualification Test Record" o prueba de cualificación de soldadores): el soldador que realiza la prueba del procedimiento debe tener unos conocimientos y habilidad que se lo permitan. Para ello debe pasar una prueba que nosotros conocemos como la "homologación de soldadores", también en presencia

del ICS en la que realiza un ejercicio práctico de soldadura. A esta también se le podrán hacer todo tipo de ensayos necesarios para confirmar que todo ha salido bien.

2.13. Tipos de uniones

Una de las variables que el soldador tiene que tener en cuenta a la hora de ejecutar la soldadura es el tipo de unión. Según sea este, el material va a ofrecer mayor o menor resistencia a la penetración, mejor o peor acceso a la junta a soldar, etc.

Distinguimos cinco tipos de formas en las que dos piezas se van a disponer para su unión:

Unión a tope. En esquina. En "T".

Unión a canto. A solape.

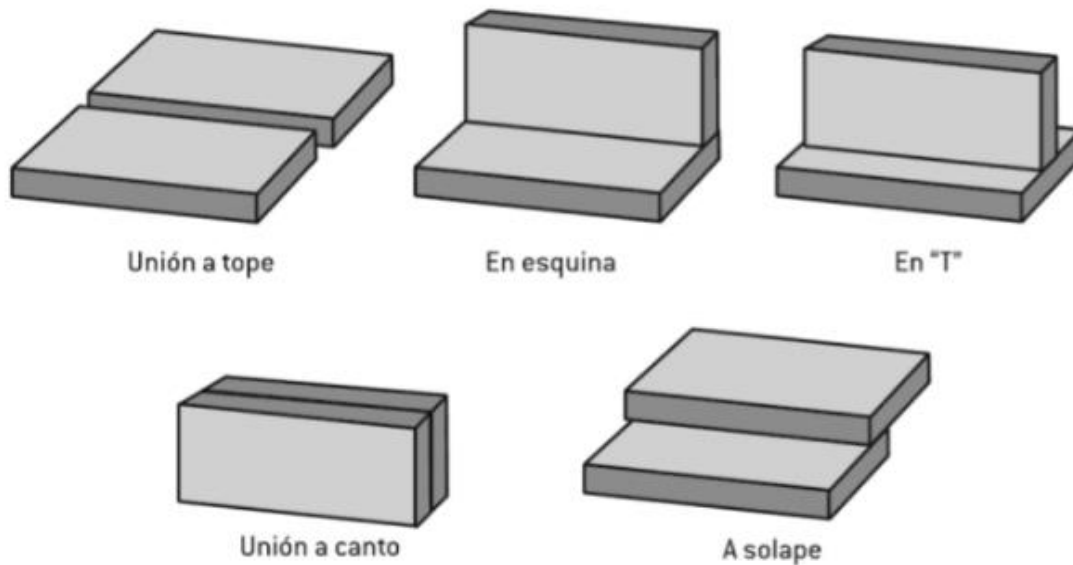


Fig. 2.17. Tipos de uniones. Interpretación de soldadura UF1640

2.14. Preparación de bordes

Frente a un trabajo de unión soldada, debemos tener en cuenta y poner de acuerdo algunas variables:

- Posición de soldeo.
- Tipo de unión.
- Proceso a utilizar.
- Tipo de material.
- Espesor, anchura y longitud de la pieza.
- Acceso a la unión (por ambas caras o solo por una)

Llamamos preparación de bordes el facilitar el acceso de la fusión (material de aportación y calor) en la unión por diversos medios:

- Dejando una separación entre piezas.
- Mecanizando el borde (biselar) para hacer posible el acceso a cualquier punto de la unión en condiciones que el soldador pueda asumir.
- Una combinación de ambas.

Recto. "V" simple. En "Y". En canto.

Doble "V". En "K". En "U" simple.

En "J" simple. En "U" doble. En "J" doble.

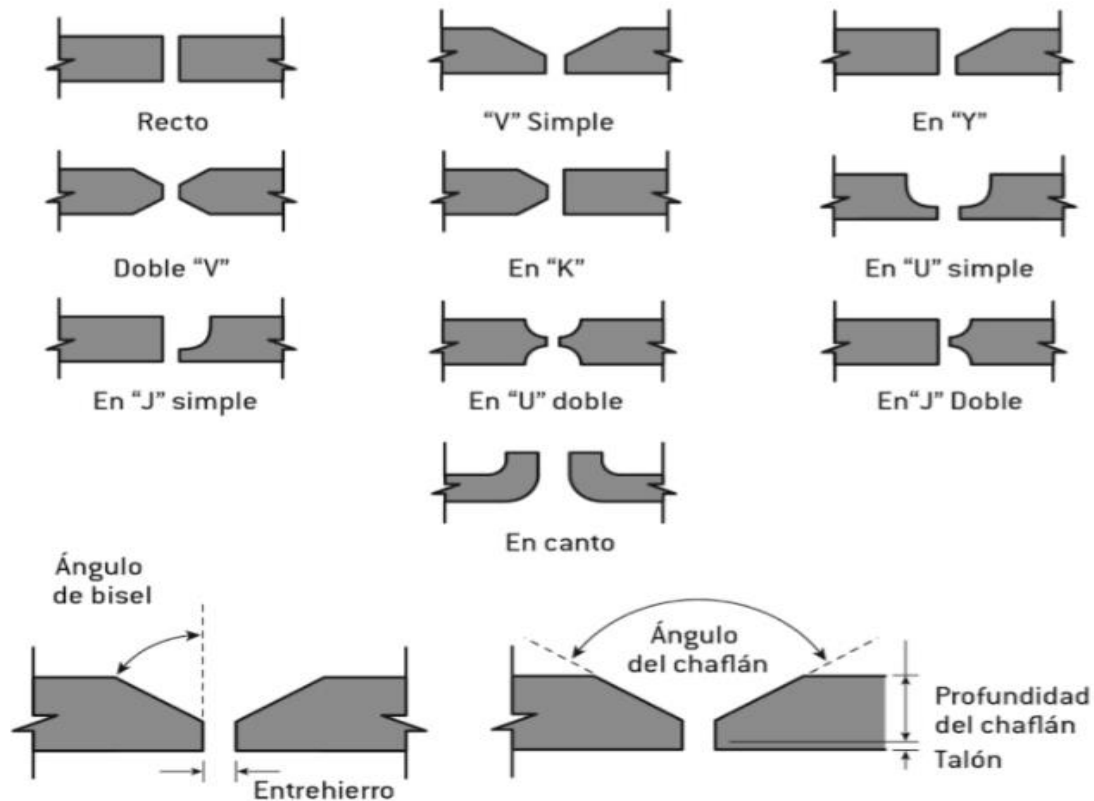


Fig. 2.18. Preparación de soldes. Interpretación de soldadura UF1640

Ángulo del chaflán: Son los grados totales de la preparación de bordes y la suma de los ángulos de los biseles, que pueden ser iguales o distintos.

Talón: Al hacer la preparación de bordes y antes de puntear las piezas para posicionarlas antes de su soldadura, se deja recta la arista con ayuda de una radial o de una lima.

Su función es muy importante: Ofrecer la resistencia justa para que la fusión pase al lado contrario de la soldadura de forma ordenada, como un cordón de penetración con la misma anchura y altura en toda su longitud.

Entrehierro: Su cometido es el mismo que el del talón, que el cordón de penetración se pueda realizar con facilidad y a una intensidad baja en la que el electrodo funcione

perfectamente (cada uno tiene un rango de intensidad limitado, establecido por el fabricante dentro del cual debemos trabajar siempre). Al ejecutar la unión, el calor debe romperlos, pero estos deben ofrecer algo de resistencia para que el calor funda el talón y el material de aporte se mezcle con él. La junta debe desaparecer y en su lugar por detrás debe aparecer un fino cordón que llamamos "raíz".

Vamos a relacionar todas estas variables en distintas situaciones viendo una recomendación de preparación de bordes de dos piezas de acero a tope con electrodo revestido para distintos espesores. Las siguientes indicaciones son generalistas y, si el proceso de fabricación lo permite o este no existiese, tienen cierto margen que cada soldador adaptará a su estilo personal:

1. Hasta 3 mm: no se recomienda preparación de bordes.
2. De 3 a 5 mm: recomendable dejar una separación entre piezas de 2,5 mm.
3. De 6 a 15 mm: chaflán en "V" (30-35°), talón de 2 mm y entrehierro de 2,5.
4. De 15 mm en adelante: dos opciones:

A modo de referencia, cada material tiene sus referencias generales para que el soldador las pueda consultar y que le sirvan de apoyo.



Espesor (E)	Separación raíz (S) mm	Talón (T) mm	Ángulo (a)
1-4	0 - 2	-	-
3-6	2,5	2 - 3	-
3-12	2,5 - 3,25	2 - 3	60°

Fig.2.19. Referencia de preparación para aceros

NORMAS Y CÓDIGOS

ASTM	
Designación	Título
E 165	Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination
E 1417	Standard practice for Liquid Penetrant Examination

Tabla. 10. Normas y Códigos ASTM para la inspección de Tintes Penetrantes.

CODIGO ASME	SECTION V
ARTICULO 6	Liquid Penetrant Examination
ARTICLE 24 SE 165	Standard Recommended Practice For Liquid Penetrant Inspection Method

Tabla. 11. Normas y Códigos para la inspección de Tintes Penetrantes sección V y artículos.

Capítulo 3

Desarrollo del Proyecto

En este campo de la soldadura en unión de las probetas es necesario realizar un procedimiento de ensayos no destructivos su necesidad de alcanzar niveles de calidad. Uno de los principales problemas latentes en nuestro medio es que no existen los equipos necesarios para realizar los ensayos.

Con el avance de la tecnología en la actualidad y los diferentes tipos de ensayos no destructivos existentes son de gran utilidad ya que nos permite observar el comportamiento de los materiales soldadas para detectar las distintas fallas existentes superficiales.

3.1. Equipo de inspección

Clasificación de equipos

Para el presente proyecto nosotros hemos utilizado gracias a la clasificación que existe, para la inspección con tintas penetrantes está determinada por cantidad y tamaño de las piezas se requiere un determinado lugar donde se efectuara la prueba. Tomando en cuenta los puntos podemos encontrar dos categorías.

- Equipo portátil
- Equipo estacionario

3.2. Equipo portátil

Es un equipo sencillo, de tamaño y peso reducidos y puede ser transportado a cualquier lugar remoto y ser operado manualmente. Está compuesto por envases a presión (en forma de aerosol), que contienen penetrante visible o fluorescente, revelador, paños o trapos.



Fig. 3.1. Equipo portátil para la inspección por líquidos penetrantes, SPOTCHECK AWS 2644, ASTM E-165. www.tpmequipos.com



Fig. 3.2. Equipo portátil para la inspección, SPOTCHECK AWS 2644, ASTM E-165.

Fuente propia.

3.3. Equipo estacionario construido

El equipo estacionario construido adecuadamente para la evaluación en tamaños y formas de las probetas soldadas, consiste en varias estaciones para la aplicación de equipos portátiles. El equipo estará localiza en un ambiente adecuado, caracterizándose por la versatilidad de acuerdo a las piezas que se van a inspeccionar. Consta de unidades o estaciones como se observa en la figura 3.3. Normalmente la sección de inspección estará compuesta por siguientes estaciones:

- Estación de limpieza
- Estación de rociado (bandeja de aplicación del líquido penetrante).
- Estación de drenado
- Estación de remoción del exceso de penetrantes.
- Estación del revelador
- Estación de inspección (cabina con luz negra o mesa con luz visible)

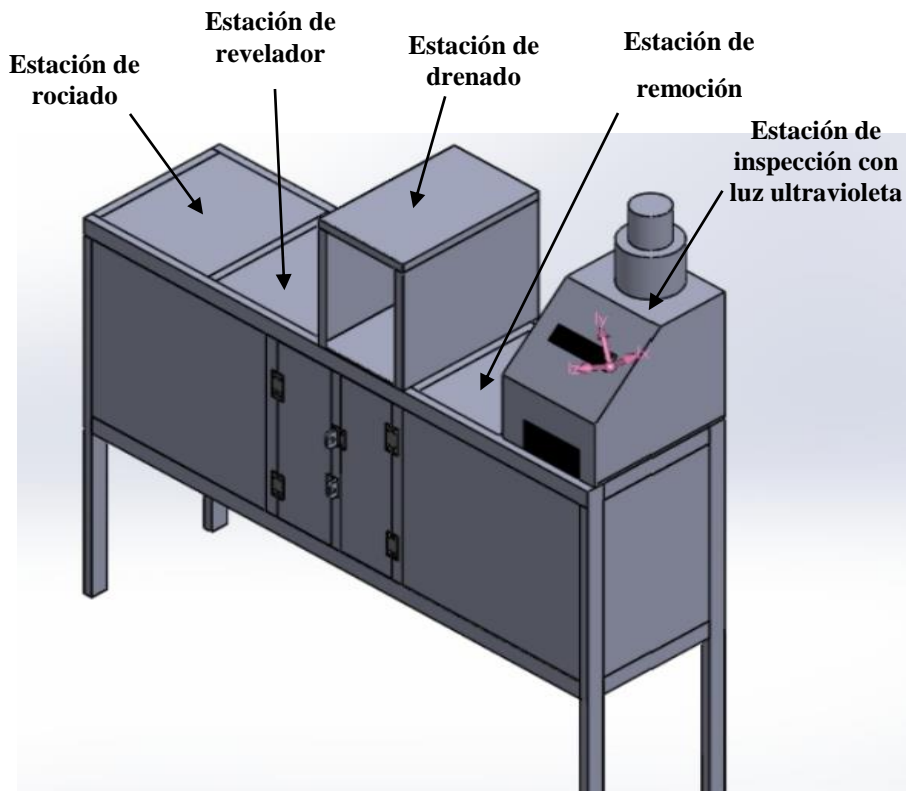


Fig. 3.3. Banco estacionario construido modelado en SolidWorks

Fuente propia.

El equipo estacionario tiene las siguientes dimensiones de Largo 1500mm, Ancho 300mm y de Alto 800mm.

3.4. Características de estaciones del equipo para propósitos de inspección.

El banco estacionario se compone de cinco estaciones, que algunos por un determinado tiempo, el equipo es de unidades pequeñas y simples. El proceso se realizará manualmente, teniendo como limitante solo las dimensiones de una unidad corta.

El presente equipo construido como banco estacionario consistente en cumplimiento de las especificaciones de la norma ASTM A500 sobre aceros estructurales para la construcción y aplicación: Tubos, Chapas.

1. El modelado para construir el banco estacionario aplicado, fue en base al programa SolidWorks, para las distintas áreas de trabajo con espacios necesarios y dimensiones, como se observa en la figura. 3.3 (muestra del modelado).
2. En base al plano obtenido del modelado se seleccionaron los materiales necesarios de acuerdo a las dimensiones específicas, procediendo a su cortado, uniendo las piezas con soldadura acetileno hasta dar la forma de banco estacionario y posteriormente el ensamblado de equipo.



Fig. 3.4. Cortado de material para construcción del banco estacionario.

Fuente propia.



Fig. 3.5. Plegado de chapas utilizando el equipo plegador.
Fuente propia.



Fig. 3.6. Ensamblado del banco estacionario.
Fuente propia

Se realiza el pintado del equipo estacionario utilizando la pintura acrílica.



Fig. 3.7. Pintado de color plomo estacionario.

Fuente propia

3. El número de estaciones del equipo estacionario dependerá del tipo de clasificación de los líquidos penetrantes a utilizar; para la demostración de la evaluación de probetas de soldadura utilizaremos penetrantes según la norma ASTM E 165 tipo II, método visible con solvente, el kit consta de tres aerosoles: un limpiador, un penetrante visible color rojo y un revelador.

3.4.1. Estación de limpieza

Esta área de limpieza de la probeta soldadas consta de un motor y un cepillo.



Fig. 3.8. Equipo limpiador de probetas de soldadura.

Fuente propia.



Fig. 3.9. Utilizando limpiador de probetas de soldadura.

Fuente propia.

3.4.2. Estación de rociado (aerosol)

La estación del penetrante es aplicada mediante la técnica del rociado (aerosol) cubriendo toda la superficie de la soldadura de la probeta.



Fig. 3.10. Aplicacion liquido penetrante visible (aerosol) al probeta de soldadura.

Fuente propia.

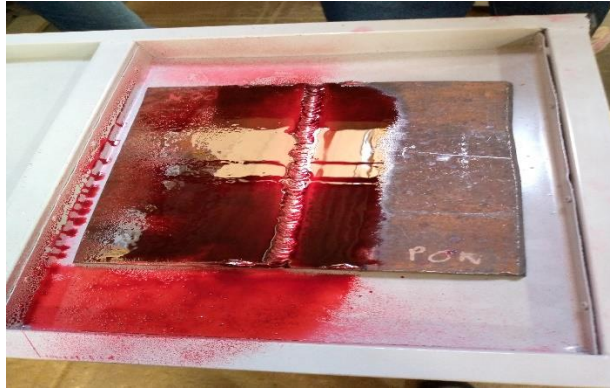


Fig. 3.11. Líquido penetrante visible de color rojo, aplicado en probeta de soldadura.

Fuente propia.

3.4.3. Estación del drenado del penetrante.

Una vez cubierta la probeta con el líquido penetrante colocamos sobre la bandeja en el área de drenado con un tiempo de 10 a 20 minutos, tiempo suficiente para la acción capilar del penetrante en las discontinuidades.



Fig. 3.12. Estación del drenado de líquido penetrante aplicado en probeta soldadura.

Fuente propia.

3.4.4. Estación de remoción del exceso de penetrante:

Terminado el tiempo de penetración de líquido, el siguiente paso es remover el exceso de penetrante, nuestro equipo cuenta con una sección de remoción del líquido penetrante que se lo realizará con aerosol (solvente y paños).



Fig. 3.13. Remoción del exceso de penetrante.

Fuente propia.

3.4.5. Estación del revelador

En esta estación se aplicará el aerosol revelador que viene con marbete de color amarillo como identificación no acuosa normalmente distribuido en aerosol, su función es de absorber aquel líquido retenido en las discontinuidades y darle mayor contraste a la visibilidad del punto retenido presentando la longitud y el ancho de la discontinuidad descubierta



Fig. 3.14. Aplicando el revelador a la probeta de soldadura. Fuente propia.

3.4.6. Estación de inspección

En la estación de inspección es la etapa importante donde se hará la evaluación de la probeta de soldadura una vez cumplida con el procedimiento del uso de líquidos penetrantes. En apelación de la norma AWS D1.1 que nos dará el parámetro de la evaluación. En esta estación se requiere tener una luz natural, instrumentos de medición calibrador lupas para el aumento de la visión.

Cuando se emplean líquidos fluorescentes, la evaluación se debe hacer en una cabina cerrada empleando luz ultravioleta.



Fig. 3.15. Inspección de cordón de soldadura empleando instrumento de medición calibrador (gauge).

Fuente propia.

3.5. Iluminación durante la inspección

Las pruebas de inspección de soldadura requieren según el caso una iluminación que permita visibilizar el área en inspección con la intensidad necesaria que nos permita identificar y descubrir, algún tipo de discontinuidades que exista en la probeta.

Una vez aplicado el revelador y secado se procede a la inspección de la probeta, esto se lleva a cabo observando el contraste de color entre el penetrante y la superficie de fondo.

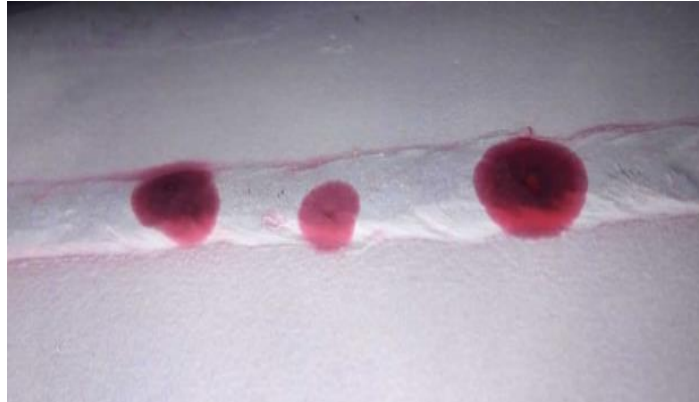


Fig. 3.16. Indicaciones en una grieta de soldadura, fuente propia

La iluminación se empleará por el proceso utilizado, de esta manera, cuando se emplea penetrante visible la inspección se realiza bajo luz natural en el estacionario, mientras que en el caso penetrante fluorescente la inspección se realiza en estacionario con luz ultravioleta ($1500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)



Fig. 3.17. Cámara de inspección de luz ultravioleta, fuente propia.

La inspección de con líquidos penetrantes normalmente depende de la capacidad de personal para observar las indicaciones, la iluminación proporcionada en la inspección visual es de

gran importancia. Esto implica fácil de observar del método es un factor en la reducción de la fatiga del personal.

Las iluminaciones que se utilizarán para la inspección con penetrantes visibles y fluorescentes serán los siguientes:

- Luz solar o luz natural
- Lámpara fluorescente

3.5.1. Nivel de iluminación para el penetrante visible en el equipo estacionario.

La intensidad apropiada de la iluminación con luz blanca está determinada por la naturaleza de la inspección a realizar. Para discontinuidades es suficiente un nivel de iluminación de 800 a 1000 lux (80-100 candelas-pie), sobre la superficie de la muestra.



Fig. 3.18. Iluminación con luz natural, fuente propia.

3.5.2 Empleo de lámpara UV en el equipo estacionario para la inspección con penetrantes fluorescentes.

Se implementa al equipo estacionario lámpara fluorescente para mejores resultados las inspecciones de las indicaciones fluorescentes deben efectuarse en área oscura.

La inspección con tintas penetrantes fluorescentes, es una lámpara de luz negra que genera con una longitud de onda, bajo la norma longitud de onda 365nm (nanómetros) equivale a 3650 A (angstrom), necesaria que se puede emitir la fluorescencia, se realiza la medición mediante el instrumento de medición el luxómetro

La intensidad de luz negra sobre la superficie de inspección se ajusta la lámpara de luz de 1000 $\mu\text{watts}/\text{cm}^2$ se emplea bajo la norma en el equipo estacionario.

3.6. Equipo para medición de luz ultravioleta

Se utiliza el equipo de medición luxómetro para adecuar a la norma la luz ultravioleta, se mide en unidad de tiempo en (watts) por metro cuadrado o en microwatts por centímetro cuadrado.

El equipo luxómetro está equipado con dos accesorios: Una pantalla multiplicadora y una extensión.



Fig. 3.19. Medidor de intensidad de luz ultravioleta. MODEL DSE 100X, www.pce-iberica.com.

3.7. Método para la evaluación de sistema

Hay que comprobar que el líquido penetrante, antes de emplearla en la probeta que cumpla ciertas normativas para la evaluación de inspección, uno de los cuales es el análisis mediante la comparación entre diferentes materiales y el proceso para determinar su comportamiento bajo condiciones específicas de prueba se utiliza bloque de comparación.

Para evaluar los materiales y para juzgar la confiabilidad del sistema de inspección, se utiliza el bloque de comparación se utiliza líquidos fluorescentes y visibles, previa comparación con el bloque de calibración, se le cubre con el líquido al bloque de calibración y aparece marcas esas indicaciones nos da como resultado el líquido que se utiliza para la inspección, si no aparecen las marcas se lo desecha el líquido.

3.7.1. Bloque de comparación de aluminio

El bloque para los materiales penetrantes y para juzgar la confiabilidad del sistema de inspección, el bloque de comparación fabricado de aluminio, templado y agrietados.

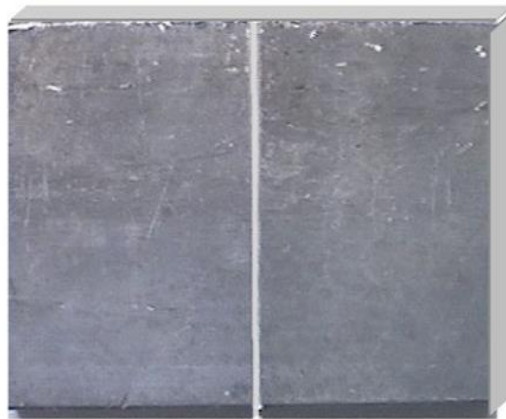


Fig. 3.20. Bloque patrón ASTM de aluminio para líquidos penetrantes, instrumento de medición y control –END, www.zion-ndt.mx.

Para la fabricación de estos bloques se emplean una placa de aluminio laminado de 7.6 x 5 x 0.9 cm la cual se máquina.

Después se calienta con mechero de Mecker por lo menos durante 4 minutos, aplicando el calor en forma constante, hasta alcanzar una temperatura de 525°C; se temple (en agua fría) produciendo de esta forma las grietas en la placa. Se sigue el mismo procedimiento por el otro lado de la pieza y se calienta nuevamente para eliminar cualquier residuo de agua en las grietas.

3.7.2. Procedimiento para el uso de bloque de comparación de aluminio.

Para verificar la funcionalidad de los penetrantes utilizados se procede: El penetrante de prueba se coloca en una sección y el penetrante se coloca en otra mitad del bloque de aluminio, de tal forma que la ranura separe las dos secciones de prueba. Se utiliza en ambos casos la misma secuencia de operación. Posteriormente, se realiza la comparación de ambas secciones, mediante la inspección de las indicaciones presentes (nitidez, definición. Color y características similares de interés), realizando así la calificación de aceptación o rechazo del procedimiento empleado con los penetrantes.

3.7.3. Interpretación de los bloques de comparación

Se efectuado el procedimiento para la verificación de los penetrantes mediante el bloque de aluminio, se examina cubre con tinta penetrante visible, se procede a examinar con luz normal. No existe diferencias sobresalientes entre las dos mitades del bloque, se considera que el procedimiento de inspección tiene la sensibilidad deseada.



Fig. 3.21. Interpretación de bloque de comparación con penetrante. www.zion-ndt.mx.

3.7.4. Renovación del bloque

El bloque de aluminio no debe ser utilizado para efectuar una nueva comparación sin haberlos limpiado completamente. Al paso del tiempo, los bloques se obstruyen y contaminan; por lo que deben ser renovados de acuerdo al siguiente procedimiento.

- Desengrase al vapor.
- Limpieza con la brocha, agua y jabón.
- Remojar en acetona, mínima durante diez horas.
- Lavar con agua.
- Calentar con un quemadora 422°C y templar.
- Calentar moderadamente para eliminar cualquier rastro de agua y dejar enfriar temperatura ambiente.

El bloque más de tres veces utilizado ya no es confiables.

Limitaciones de los bloques de comparación de aluminio

Existe ciertas precauciones que deben tomarse encuentra para el uso de los bloques de aluminio.

- a) Las grietas artificiales en los bloques de aluminio nos son uniformes; es imposible fabricar dos bloques idénticos. Algunos bloques son más efectivos que otros, al indicar diferencias entre los penetrantes; por lo tanto, es importante realizar una serie de pruebas antes de determinar si los resultados de la inspección son críticos.
- b) Las diferencias pueden ser sutiles, de tal manera que la interpretación de los bloques y la evaluación de los resultados deben realizarse por personal con experiencia.
- c) Estos bloques son confiables para mostrar la condición de los penetrantes. Sin embargo, se debe tener cuidado al interpretar tales pruebas en término del

funcionamiento de los distintos penetrantes, cuando estos son usados sobre otras piezas.

- d) Estas pruebas muestran solamente si los penetrantes ya usados tienen las mismas características de funcionamiento nuevos en buenas condiciones. Para determinar si los penetrantes específicos son adecuados para una aplicación en particular, deben efectuarse ensayos con las piezas en cuestión.

3.8. Técnicas de inspección aplicado durante la evaluación de las probetas

3.8.1. Penetrante fluorescente removible con solvente método C, tipo I según especificación ASTM E-165.

El equipo estacionario permite trabajar con tintas penetrante fluorescente, este tipo de fluorescentes producen indicaciones fluorescentes y brillantes de color amarillo verdoso, cuando se observa bajo luz ultravioleta.

En este método el exceso de penetrante es removido de la superficie de la probeta por material absorbente seco y posteriormente con un material absorbente húmido con solvente se retira el penetrante que se haya quedado en la primera remoción.

En este caso debe tenerse extremo cuidado de no saturar con solvente el material de limpieza para evitar la remoción de penetrante de las discontinuidades.

A continuación, se enlistan las principales ventajas y limitaciones de este proceso

Ventajas

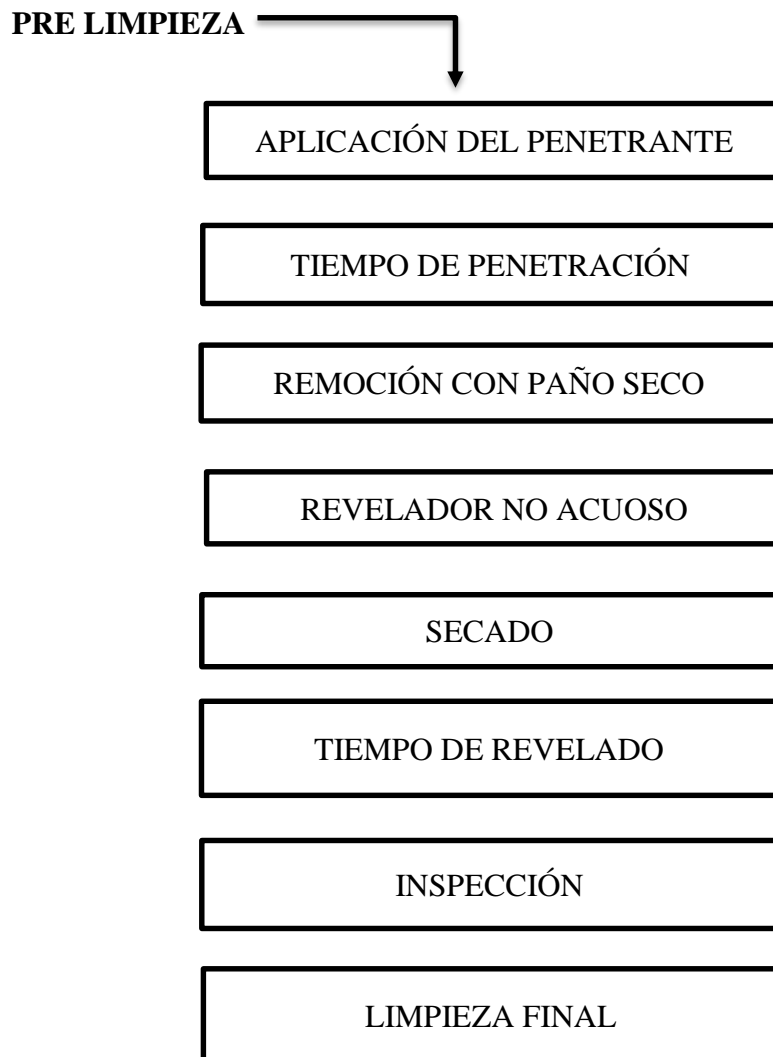
- 1) Asegura buena visibilidad de las discontinuidades, inclusive de las más finas.
- 2) Utiliza equipo portátil.
- 3) No requiere agua.
- 4) Puede utilizarse en piezas anodizadas.
- 5) Es un buen método para la inspección de secciones específicas de una pieza.
- 6) Las piezas pueden re inspeccionarse.

Limitaciones

- 1) El penetrante es altamente flamable
- 2) Requiere de un área oscura y de luz ultravioleta para la inspección.
- 3) El tiempo de remoción del exceso de penetrante es mayor que en el caso de los penetrantes lavable con agua
- 4) Generalmente no se utiliza en superficies rugosas, como por ejemplo en fundiciones.

El diagrama se muestra el procedimiento para la inspección con penetrante fluorescente renovable con solvente.

Diagrama proceso de inspección por penetrante fluorescente removible con solvente.



3.8.2. Penetrante visible removible con solvente método A, tipo II según especificaciones ASTM E-165.

El proceso penetrante contraste (visible) removible con agua usa un penetrante que puede ser removido con agua y que no requiere la ayuda de un emulsificantes. Se utiliza cuando no se requiere alto nivel de sensibilidad.

Ventajas

- 1) Es una técnica rápida.
- 2) Recomendable para emplearse en inspecciones de producción.
- 3) Puede emplearse en piezas donde el tamaño y forma lo permitan.
- 4) El equipo es portátil, no requiere el empleo de la luz ultravioleta.
- 5) Puede emplearse solo en algunas zonas de secciones grandes o en piezas que van a ser reparadas.

Limitaciones

- 1) Es de menor sensibilidad en comparación con los demás sistemas penetrantes para detectar discontinuidades muy finas.
- 2) Solo detecta discontinuidades considerablemente grandes.
- 3) El volumen de penetrante atrapado en las discontinuidades es muy susceptible de ser extraídas o diluidos durante el proceso de remoción del exceso de penetrante.
- 4) Después de la remoción se requiere secar la superficie a la brevedad posible.
- 5) Para la inspección de grandes lotes de piezas o inspecciones en serie, se requiere el suministro continuo de agua adecuada de trenado.

Aplicación del penetrante

Se emplea las mismas técnicas de aplicación de los penetrantes fluorescentes como son: inmersión y rociado.

Enjuague

Puesto que este caso el penetrante es lavable con agua el enjuague simplemente se efectúa hasta que se elimine el color rojo de la superficie de la pieza. Deben tomarse precauciones

especiales durante el enjuague porque las gotas finas de agua o un rociado cebero pueden eliminar el penetrante de las discontinuidades. Por la misma razón deben evitarse el tiempo y la presión excesiva de rociado o largos periodos de permanencia cuando las partes se sumergen en agua.

3.9. Aplicación del revelador

El revelador se rocía en la superficie de la pieza después de remover el exceso de penetrante. Para obtener óptimos resultados debe aplicarse una capa ligera y uniforme del revelador.

El revelador juega un papel muy importante en la inspección por líquidos penetrantes, se utiliza el revelador en suspensión no acuosa aplicado por rociado, son muy eficiente para detectar discontinuidades finas, pero es adecuada para discontinuidades.



Fig. 3.22. Revelador SPROTCHECK SKD-S2 aerosol ASTM E-1417, ASTM E-165,

Fuente propia.

3.10. Interpretación de las indicaciones

En esta sección se resumen las características de diferentes tipos de discontinuidades detectables por el método de líquido penetrante, así como la definición de una serie de

conceptos importantes por la interpretación de resultados como: Discontinuidades, tipos de discontinuidades.

3.10.1. Funciones del inspector y terminología utilizada en la interpretación y evaluación.

En el método de Ensayos No Destructivos por líquidos penetrantes, se produce indicaciones indirectas que debe ser correctamente interpretadas antes de observar información útil.

Existen dos categorías de términos:

- El termino **interpretar** una indicación significa tomar una decisión de las causas que la originan.
- La **evaluación** es posterior a la interpretación. Si existe una grieta, debe evaluarse su efecto antes de usar la probeta o de pasarla a su proceso posterior.

Para interpretar indicaciones correctamente, es familiarizarse completamente con el proceso que este empleado. Debe saber si se efectuó correctamente, y obtener toda la información acerca de discontinuidades y sus consecuencias en la pieza.

A continuación, se define algunos términos importantes es la interpretación:

Indicación. - Es un señal o marca producida por una alteración detectada por el método de inspección no destructiva. Estas pueden ser:

- Falsas
- No relevantes
- Relevantes

Indicaciones falsas

Es aquella que parece durante la inspección y que puede ser provocada por una mala aplicación del método o por contaminación de la superficie.

La causa más común de la formación de la indicación, es la contaminación de la superficie con penetrante o por una remoción deficiente del exceso de dicha sustancia.

Indicaciones no relevantes

Es producida por la configuración del material o de la pieza. En general es el resultado de las cuerdas de una rosca, las zonas de ajuste a presión o bien de cualquier cavidad natural que puede alojar al líquido penetrante.

Indicaciones relevantes

Es producida por una discontinuidad y para detectar su importancia se debe interpretar la indicación y evaluar la discontinuidad.

Discontinuidades

Es la falta de homogeneidad o interrupción en la soldadura, física normal de un material; también puede ser una deficiencia en la configuración física normal de una pieza, parte o componente. Las discontinuidades pueden ser:

- No relevante
- Relevante

Discontinuidad no relevante

Es aquella que, por su tamaño, o localización, de ser interpretada y evaluada.

Discontinuidad relevante

Es aquella que por su tamaño, forma o localización requiere de ser interpretada y evaluada.

Defecto

Es toda discontinuidad o indicaciones de una discontinuidad que por su tamaño, forma o localización ha excedido los límites de aceptación establecidos por el código, normas o con base en lo anterior, se puede concluir que:

- Todos los defectos son discontinuidades
- No todas las discontinuidades son defectos
- No todas las indicaciones son discontinuidades

Interpretación

Es la terminación del significado de las indicaciones desde el punto de vista de si es o no relevante.

Sensibilidad

Capacidad de proceso de líquido penetrante para detectar discontinuidades superficiales de un tamaño mínimo establecido por un código, norma o especificaciones.

Evaluación

Es la determinación de la severidad de la discontinuidad después de que la indicación se ha interpretado; es decir, determinar si el artículo es aceptado, reparado o rechazado.

3.11. Clasificación de las discontinuidades de acuerdo a su origen

Es cuanto a las discontinuidades en particular, estas se dividen en tres clases: Inherentes, de proceso y de servicio.

Discontinuidades inherentes

Son aquellos que se forman durante la fusión y solidificación del metal fundido, existe de tipos.

De fundición primaria. - Estas discontinuidades están directamente relacionadas con la fundición y solidificación original del metal o lingote antes de ser transformado en tochos, palanquillas, placas, etc.

De fundición secundaria. - Son discontinuidades que se relacionan con el fundido, el vaciado y la solidificación del metal incluyendo aquellas discontinuidades que pueden ser

propias de las variables de manufacturas, tales como una alimentación un adecuada, vertedero en mal estado, temperatura alta vaciado y gases atrapados.

Discontinuidades de proceso.

Las discontinuidades de procesos son aquellos que se relacionan con los procesos de manufactura como maquinado, tratamiento térmico, recubrimientos metálicos, forja, extracción, rolado, etc. Es importante recordar que, durante los procesos de manufactura, muchas discontinuidades que son subsuperficiales se abren a la superficie.

Discontinuidades de servicio

Son discontinuidades que se forman por las diferentes condiciones de servicio como son: esfuerzos de tensión o compresión, por corrosión, por fatiga o fricción.

Mecanismo de formación de indicaciones

Cualquier indicación del penetrante señala la ubicación de una discontinuidad superficial, por lo que, para detectar discontinuidades como inclusiones, segregaciones, metal extraño o cualquier otra anomalía, estas deben estar abiertas a la superficie. Por ello, los líquidos penetrantes se emplean para detectar discontinuidades superficiales.

La figura muestra como operar la inspección con líquidos penetrantes, independientemente de la composición o proceso a que se haya sometido al material.

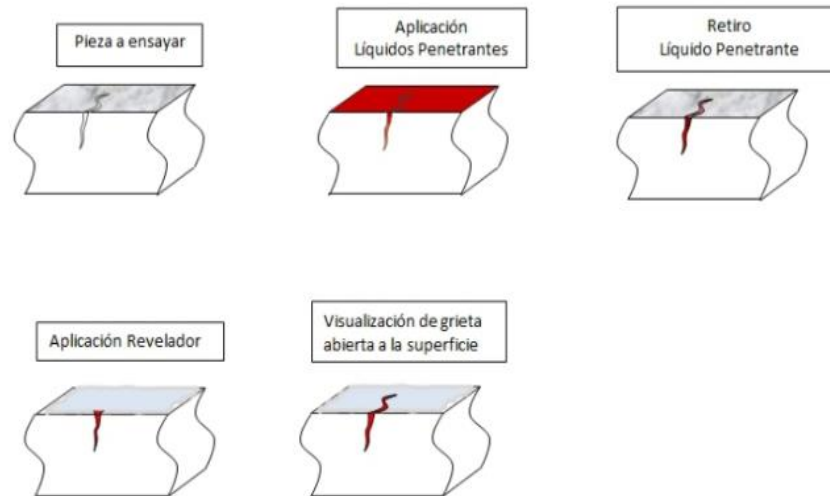


Fig. 3.23. Mecanismo para detección de una discontinuidad, blogspot.com.

3.12. Evaluación de una discontinuidad

El tipo y tamaño de la discontinuidad no solo se determina con respecto a la inspección superficial, sino también a la experiencia del inspector, ya que depende la estimación del posible daño de la pieza.

Apariencia de las indicaciones

Si se usa un penetrante fluorescente y el examen se realiza bajo la luz ultravioleta las áreas sanas aparecerán de un color azul-violeta intenso, mientras que las discontinuidades se observarán con una luz brillante verde amarilla. Si se usa penetrante visible, el examen se realiza bajo la luz natural. El revelador forma un fondo blanco y las discontinuidades son visibles mediante una indicación de color rojo, la cual está estrechamente relacionado con el volumen de penetrante atrapado en la discontinuidad.

Nítidez de las indicaciones

Es afectado por el volumen de líquido retenido en la discontinuidad, las indicaciones bien definidas o claras proviene de discontinuidades lineales y angostas.

Brillantes y extensión de las indicaciones

El color o brillo fluorescente de las indicaciones del penetrante es útil en la discontinuidad. La brillantez está directamente relacionada con la cantidad de penetrante presente y con el tamaño de la discontinuidad. Es difícil para el ojo humano detectar pequeñas diferencias en el color de los penetrantes visibles o fluorescentes.

Tablas

<i>Intensidad de luz Visible (Luz)</i>	<i>Intensidad de luz visible (Bujías-Pie)</i>	<i>Observaciones</i>
10	1	Una mejor intensidad de luz negra en la cabina
100	10	Una débil iluminación en la cabina
1,000	100	Un inferior brillante y sombras externas
10,000	1,000	Un interior con luz de día y sombras externas

Tabla 12. Interferencia de intensidad de luz visible durante la inspección con luz ultravioleta.

<i>Grietas finas</i>		<i>Grietas burdas o gruesas</i>	
<i>W/m²</i>	<i>μW/cm²</i>	<i>W/m²</i>	<i>μW/cm²</i>
0.3	30	0.1	10
5	500	0.5	50
50	5,000	5	500

Tabla 13. Intensidad mínima de la luz ultravioleta para detectar grietas finas y gruesas.

Procesos	Discontinuidades	Indicaciones irrelevantes
Esmerilado Rectificado	Obstruyen las aberturas	Los aceites y grasa pueden fluorescen
Forja	Traslapes parciales	Penetrante absorbido en las cascarillas
Granallado	Aberturas selladas	
Fundición o soldadura		Superficies rugosas retienen el penetrante
Pulido	El metal fluye sobre las discontinuidades	
Tratamiento térmico		Penetrante absorbido en la casquilla
Pintado o deposición metálica	Aberturas rellenas	
Anodizado	Reducción de la fluorescencia	Los poros oxidados absorben penetrante
Cromado		
Maquinado áspero en agujero		Difícil remoción del exceso de penetrante

Tabla 14. Efecto de los procesos de manufactura de los materiales sobre las indicaciones del penetrante.

Condiciones superficiales	Posibles Resultados
Aceitosa o grasosa	(1) Ninguna indicación; discontinuidades obstruidas (2) Falsa fluorescencia
Sucia-polvorienta	Ninguna indicación; discontinuidades obstruidas
Granalladas o Sandblasteada	Ninguna indicación; discontinuidades obstruidas
Acida	Indicaciones débiles, reduce la fluorescencia
Caustica (corrosiva)	Indicaciones débiles, reduce la fluorescencia
Húmeda	Indicaciones débiles, difusión del penetrante
Escamosa y con moho	(1) Indicaciones falsas (2) Ninguna indicación; discontinuidades obstruidas
Soldadura excesivamente rugosa	Falsas indicaciones
Superficie de fundición rugosa	Falsas indicaciones
Limpia	Excelente

Tabla 15. Influencia de la condición superficial del material sobre las indicaciones del penetrante.

Operación	Lo mismo que puede suceder	Lo más que puede suceder
Temperatura de la pieza o del Penetrantes	Se pierde discontinuidades finas	Se pierde discontinuidades finas
Tiempo de penetración	Se pierde discontinuidades finas	Remoción difícil
Lavado	Falsas indicaciones	Se remueve penetrante de discontinuidades poco profunda
Revelador	Poco o pobre contraste	Se cubren las discontinuidades muy finas

Tabla 16. Efecto de diferentes parámetros en las indicaciones.

Materiales	Forma o porosos	Tipo de discontinuidades	Tiempo de penetración en minutos		
			Lavable con agua	Post-Emulsificable	Removible con solvente
Aluminio	Fundición	Porosidad	5 a 15	5	3
		Traslapes en frio	5 a 15	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldadura	Falta de fusión	30	5
	Cualquier forma	Porosidad	30	5	3
		Grietas	30	10	5
Magnesio	Fundición	Grietas por fatiga	NR	30	5
		Porosidad	15	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes en frio	15	5	3
		Dobleces	NR	10	7
	Soldadura	Falta de fusión	30	10	5
		Porosidad	30	10	5
Cualquier forma	Grietas	30	10	5	
	Grietas por fatiga	NR	30	7	
Aceros	Fundiciones	Porosidad	30	10	5
		Traslapes en frio	30	10	7
	Extrusiones y forja	Dobleces	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	60	20
	Cualquier forma	Porosidad	60	20	7
		Grietas	30	20	7
Latones y Bronces	Fundición	Grietas por fatiga	NR	30	10
		Porosidad	10	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes en frio	10	5	3
		Dobleces	NR	10	7
	Partes con Brazing	Falta de fusión	15	10	3
		Porosidad	15	10	3
Cualquier forma	Grietas	30	10	3	
Plásticos	Cualquier forma	Grietas	5 a 30	5	5
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5 a 30	5	5
Herramientas con punta de carburo		Falta de fusión	30	5	3
		Porosidad	30	5	3
		Grietas	30	20	5
Titanio y aleaciones de alta temperatura	Todos		NR	20 a 20	15
Todos los materiales		Corrosión intergranular o por esfuerzos	NR	240	240

Tabla 17. Tiempo de penetración mínima típicos para el proceso de penetrantes fluorescentes.

		<i>Tiempo de penetración (minutos)</i>			
		<i>Temperatura</i>		<i>Temperatura</i>	
<i>Material y proceso</i>	<i>Tipo de discontinuidad</i>	60°F	90°F	35°F	60°F
Cualquier metal	Grietas por T.T.	3	5	10	15
Cualquier metal	Grietas por esmerilado	7	10	15	20
	Grietas por fatiga	7	10	15	20
Plástico	Grietas	3	5	10	15
Cerámica	Grietas	3	5	10	15
Cerámica	Porosidad	3	5	10	15
HERRAMIENTAS DE CORTE					
Extremos de carburo	Poco soldadura	3	5	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el extremo	3	5	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el acero	---	---	---	---
METALES					
Fundición de molde permanente	Porosidad por contracción	3	5	10	15
Colado en matriz	Porosidad superficial	3	5	10	15
Colado en matriz	Traslapes en frío	3	20	10	20
Forjado	Grietas y traslapes	7	20	15	20
Metal rolado	Costuras	7	20	15	20
Soldadura de aluminio	Grietas y poros	3	5	10	15
Soldadura de aceros	Grietas y poros	7	20	15	20

Tabla 18. Tiempo mínimo de penetrante para el proceso de penetrante visibles removible con solvente.

Líquidos penetrantes

Método A Inspección con líquidos penetrantes fluorescente	
Tipo 1	Lavable con agua (Procedimiento A-1)
Tipo 2	Postemulsificables (Procedimiento A-2)
Tipo 3	Removibles con solvente (Procedimiento A-3)
Método B Inspección con líquidos penetrantes visibles	
Tipo 1	Lavables con agua (Procedimiento B-1)
Tipo 2	Postemulsificables (Procedimiento B-2)
Tipo 3	Removibles con solvente (Procedimiento B-3)

Tabla 19. De la NOM-B-133 “Clasificación de los métodos de inspección con líquidos penetrantes”

<i>Tipo</i>	<i>Codificación</i>	<i>Usado con Removedor</i>	<i>Usado con revelador</i>	<i>Descripción</i>
Postemulsificable	SKL-SP2	SKC-NF, SKC-S, SKC-W	SKD-NF, SKD-S2. SKD-W, ZP-14	Más ampliamente usado. También es usado como penetrante renovable con solvente
Lavable con agua	SKL-W	NO APLICABLE	SKD-NF, SKD-S SKD-W, ZP-14	Ideal para superficies grandes y rugosas
Base agua	SKL-4B	NO APLICABLE	SKD-NF, SKD-S	Rojo brillante bajo iluminación normal y naranja fluorescente bajo luz ultravioleta. Usado como detector de fugas y para inspección de plástico.

Tabla 20. Penetrantes con colorante visible de la marca Magnaflux.

<i>Tipo</i>	<i>Codificación</i>	<i>Punto de inflamabilidad</i>	<i>Propelente</i>	<i>Descripciones</i>
Removedor/ Limpiador	SKC-NF (formalmente SKC-NF/ZC-7B)	NO INFLAMBEL	CO ₂	Más ampliamente usado como removedor. De rápido secado.
	SKC-S	54°F / 12°C	CO ₂	No clorinado, diseñado especialmente para titanio, níquel y otras aleaciones especiales. Recomendado para aplicación nucleares.
Emulsificador/ Limpiador	SKC-W	115° / 46°C	CO ₂	Permite la remoción con agua del SQL-HF/S y SQL-LO

Tabla 21. Removedores/Limpiadores de la marca Magnaflux

<i>Tipo</i>	<i>Codificación</i>	<i>Punto de inflamabilidad</i>	<i>Propelente</i>	<i>Descripciones</i>
Reveladores/ Solvente.	SKC-NF (formalmente SKC-NF/ZP-9B)	NO INFLAMBEL	DYMEL 22	Más ampliamente usado
	SKD-S2	30°F / -2°C	CO ₂	No clorinado, diseñado especialmente para titanio, níquel y otras aleaciones especiales. Recomendado para aplicación nucleares.
Emulsificador acuosos	ZP-14 (formalmente SKD-S)	NO INFLAMABLE	NO APLICABLE	Solubles en agua. Recomendado para sistema de gran volumen de procesamiento.
	SKD-W	NO INFLAMABLE	NO APLICABLE	Suspendidos en agua

Tabla 22. Reveladores de la marca Magnaflux.

<i>Nivel de sensibilidad</i>	<i>Codificación</i>	<i>Removedor/ Emulsificador</i>	<i>Aprobado por MIL-I-25135D</i>	<i>Descripción</i>
Nivel I	ZL-1D	ZE-3, ZE-4B, ZR-10A, ZR-10B, ZKC-NF	SI	Baja sensibilidad, aplicable a un amplio rango de acabados superficiales, desde maquinados tersos hasta acabados burdos de fundición.
Nivel II	ZL-2C	ZE-3, ZE-4B, ZR-10A, ZR-10B, SKC-NF	SI	Sensibilidad normal, con mucho tiempo como producto estándar en la industria
Nivel III	ZL-22C	ZE-3, ZE-4B, ZR-10A, ZR-10B, SKC-NF	NO	Alta sensibilidad, con mucho tiempo como producto estándar en la industria.
Nivel IV	ZL-30 A	ZE-3, ZE-4B, ZR-10A, ZR-10B, SKC-NF	NO	Muy alta sensibilidad, con mucho tiempo como producto estándar en la industria.
	ZL-35	SKC-NF	NO	Muy alta sensibilidad para usarse en sistemas de removibles con solvente.
	ZL-37	ZE-3, ZE-4B, ZR-10B, SKC-NF	SI	Muy alta sensibilidad. Es el penetrante nivel IV recomendado.

Tabla 23. Penetrante fluorescentes postemulsificables de la marca Magnaflux.

<i>Tipo</i>	<i>Codificación</i>	<i>Punto de inflamabilidad</i>	<i>Aprobado por MIL-I-25135D</i>	<i>Descripción</i>
Lipofílicos (Emulsificador)	ZE-3	335°F / 168°C	SI	De lento desempeño en el control máximo de procesos.
	ZE-4B	335°F / 168°C	SI	De rápido desempeño para máximo eficiencia.
Hidrofílico (Removedor)	ZE-10 A	335°F / 168°C	SI	De rápido desempeño para máximo eficiencia.
	ZR-10B	335°F / 168°C	SI	De muy lento desempeño en el control máximo de procesos.
Solvente limpiador	SKC-NF (formalmente SKC-NF/ZC-7B)	NO INFLAMABLE	SI	Usado para prelimpieza, postlimpieza. Empleado en el método de penetrante removible con solvente.

Tabla 24. Emulsificadores y removedores de la marca Magnaflux.

<i>Tipo</i>	<i>Codificación</i>	<i>Aprobado por MIL-I-25135D</i>	<i>Descripción</i>
Polvo	ZP-4 A	SI	Para aplicaciones generales.
	ZP-4B	SI	Alta sensibilidad.
Soluble en agua	ZP-13	NO	Más ampliamente usado
	ZP-13 A	NO	De bajo sodio
Suspendido en agua	ZP-5	---	No corrosivo, se dispersa rápidamente en el agua y se sedimenta lentamente
No acuoso	ZP-9F	SI	Noinflamable
	ZP-9F	SI	No clorinado, inflamable. Diseñado para titanio, níquel otras y aleaciones especiales.

Tabla 25. Reveladores de la marca Magnaflux.

Capítulo 4

Guía de procedimiento general de para la inspección de soldadura con líquidos penetrantes

1. Introducción

Todas las normas aplicaciones a la inspección por líquidos penetrantes exige como requisitos iniciales que se realice la inspección siguiente las instrucciones detalladas en un procedimiento. Este documento es similar a los que deben repararse para inspección reales, con la referencia que ha sido creado para entrenamiento didáctico y por tal motivo se han eliminado condiciones que en el trabajo cotidiano pueden ser esenciales.

2. Objetivos

Establecer los parámetros necesarios para la inspección por líquidos penetrantes de materiales metálicas no porosos, y no ferrosos, así como de materiales no metálicas.

Fijar las condiciones necesarias para la realización de la inspección por líquidos penetrantes a partir de las cuales serán realizadas las prácticas de entrenamiento.

3. Alcance

Este procedimiento describe los métodos y tipos de inspección por líquidos penetrantes contemplados por las especificaciones.

Es aplicable solo para la detección de discontinuidades abiertas a la superficie tales como grietas, costuras traslapes, traslapes en frio, laminaciones, poros,

Su aplicación es solo general y con fines de entrenamiento, por tal motivo los criterios de aceptación y rechazo no son contemplados en este procedimiento.

4. Responsabilidades

Es responsabilidad del personal en entrenamiento llevar a cabo las prácticas de acuerdo a lo estipulado dentro de este procedimiento.

Es responsabilidad del instructor revisar los reportes de resultados de las prácticas correspondientes.

5. Normas y códigos de referencia

Manual de capacitación en líquidos penetrantes.

Norma oficial mexicana para “métodos de inspección con líquidos penetrantes”, (NOM B-133-2020).

ASTM E-165-2022

ANSI/ASME/BPV sección V – 2022.

6. Clasificación de los métodos tipos de penetrante

Los combustibles para la inspección con líquidos penetrantes son: el penetrante emulsificador, solvente/removedor y revelador.

No se permite mezclar los combustibles de diferentes fabricantes.

Los combustibles usados para la inspección no deben afectar adversamente las piezas que van a examinar.

Algunas formulaciones de los combustibles pueden ser inflamables o emitir vapores tóxicos, por lo que se deben seguir las indicaciones y precauciones recomendadas por el fabricante del producto.

Los métodos y tipos de inspección con líquidos penetrantes están clasificados por ASTM E-165-2022.

Precauciones después de una inspección con un penetrante visible no debe efectuarse una inspección con un penetrante fluorescente, a menos que el procedimiento este recalificado conforme a ASTM E-165-2022.

7. Requisitos Generales

La temperatura de los materiales penetrante y de la superficie de la pieza a ser inspeccionada deben estar entre 10 y 38°C (fluorescentes). Cuando no sea práctico con este rango de temperatura, el procedimiento debe recalificarse a la temperatura que se desea usar como se describe en la ASTM E-165-2022.

8. Pre limpieza

Cuando sea requerida la pre limpieza se pueden emplear los agentes comunes de limpieza como son: detergentes, solventes orgánicos, removedores de pinturas o desengrasante.

9. Limpieza

La superficie a inspeccionar y áreas adyacentes, al menos hasta 25 mm a cada lado debe estar seca y limpia; libres de polvo, óxido fundente de soldadura, salpicaduras, grasas, pintura, películas de aceite, suciedad, etc., o cualquier material que pueda cubrir las aperturas superficiales o interferir con la inspección.

Después de aplicado cualquier método de pre limpieza, la superficie deberá limpiarse con un solvente removedor del mismo fabricante para asegurar la completa limpieza de la pieza.

La pieza debe estar perfectamente seca después de limpiarse. El secado puede efectuarse en el horno de secado. La temperatura de la pieza no debe exceder de 35°C para fluorescente y de 45°C para visible, antes de aplicación del penetrante.

10. Aplicación del penetrante

El penetrante se aplicará en envase aerosol. Toda la pieza o área debe estar completamente cubierta con penetrante. Después de la aplicación debe observarse que el penetrante cubra de forma homogénea la zona a inspeccionar.

11. Tiempo de penetración

El tiempo de penetración debe ser el tiempo recomendado en las tablas localizadas en la sección del anexo del manual de notas técnicas, o en su defecto en la tabla 18 de la ASTM E-165-2022.

12. Remoción del exceso del penetrante

Cuando se emplean penetrantes fluorescentes la remoción se debe efectuar con una iluminación de luz ultravioleta. Después de transcurridos de tiempo de penetración requerida, se debe remover el exceso de penetrante como se indica a continuación:

13. Penetrante lavable con agua

Se remueve el exceso del penetrante directamente con solvente.

La presión del agua no debe exceder de 0.345 Mpa (50 psi).

Se debe evitar el sobre lavado de la superficie a inspección. Cuando no se disponga de suficiente de agua para el enjuague. Puede efectuarse la remoción frotando la superficie con un material limpio y absorbente, empapado con agua hasta que el exceso de penetrante sea removido.

Penetrante removible con solvente

4.13.1 Está prohibido aplicar el solvente removedor directamente sobre la superficie después de la aplicación del penetrante y antes del revelador.

4.13.2 El exceso de penetrante puede ser removido empleado un material absorbente limpio que no deje pelusa y repetir la operación hasta eliminar cualquier indicio del penetrante. la última etapa de remoción se efectúa con material absorbente humedecido ligeramente con solvente removedor. Se debe evitar emparar el material absorbente con solvente removedor para minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades.

14. Secado de la pieza

La pieza se seca exponiéndolas al aire de la temperatura ambiente.

En el caso de penetrante removible con solvente, es recomendable permitir el secado por una evaporación normal de 3 a 5 minutos, generalmente no se requiere de otra técnica de secado.

15. Aplicación del revelador

El revelador se debe aplicar después de que el exceso penetrante haya sido removido de la superficie de la pieza. En el caso se utilizará el revelador no acuoso, debe aplicarse inmediatamente después de que la superficie haya sido secada.

No se permiten el empleo de brochas o pinceles para aplicar revelador.

El revelador en suspensión no acuoso se debe aplicar por roció después de que el exceso penetrante haya sido removido y la pieza está seca. Este tipo de revelador se evaporan rápidamente a temperatura ambiente y no requiere, por lo tanto, el uso de un secador. Sin embargo, se usará ventilación adecuada.

16. Tiempo de revelado

El tiempo que el revelador debe permanecer en la pieza antes de ser inspeccionada debe ser de 10 minutos o a la mitad del tiempo de penetración, lo que sea mayor. El tiempo de revelado inicia inmediatamente después de que el revelador en polvo seco se aplica y tan pronto como el recubrimiento húmedo del revelador (no acuoso) se seca. Si la absorción del penetrante no altera los resultados de inspección o deforma las indicaciones se permite periodo de revelado hasta 1 h para revelador no acuoso.

17. Requisitos de iluminación

La eliminación es muy importante para la interpretación de las indicaciones.

La luz ultravioleta deberá dejar calentado por un lapso no menor a 5 minutos antes de iniciar el proceso de inspección o de verificar la intensidad de la fuente de iluminación.

La intensidad de la luz ultravioleta debe medirse sobre la superficie de la pieza bajo inspección, debiendo obtenerse un mínima de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Para inspecciones críticas penetrantes fluorescentes, se permite una luz ambiental máxima de 20 Lx. Pueden aceptarse

niveles más altos de la luz ambiental para inspecciones no críticas si la oscuridad total es difícil de obtener.

Las indicaciones de penetrantes con colorante visible pueden obtenerse con luz blanca natural o artificial. La calidad de iluminación debe ser tal que permita distinguir de forma clara y nítida las indicaciones. En el sitio de la inspección la intensidad mínima de la luz blanca debe ser de 1000 Lx.

18. Inspección

La superficie debe observarse durante la aplicación del revelador para monitorear al desarrollo de indicaciones que tiendan a sangrar demasiado. La interpretación final debe efectuarse después de que haya transcurrido el tiempo de revelado.

Toda indicación que sea confusa, poco definido o exista duda sobre su origen deberá ser re inspeccionada para determinar si es una indicación falsa, no relevante o verdadera.

El re inspección debe iniciarse desde el paso referente a la limpieza antes de la aplicación del penetrante.

19. Método de evaluación

Se tomará en cuenta el tamaño de las indicaciones obtenidas durante el intervalo del tiempo después de la aplicación del revelador. La evaluación puede ser efectuada de dos formas distintas:

Por comparación de las fotografías estándar de referencias ASTM E-433.

Por dimensionamiento directo de las indicaciones obtenidas. En este caso se registrarán todas las indicaciones relevantes iguales o mayores a 2 mm, obteniéndose una réplica natural con cinta adhesiva transparente; o producida por mano empleada masking tape; pero que muestre claramente tanto su dimensión como su localización.

Para fines de prácticas se considera la siguiente clasificación de las indicaciones.

Indicación lineal: Es aquella indicación relevante que tiene una longitud mayor a tres veces su ancho.

Indicación redondeada: Es aquella indicación relevante de forma curricular o el pítica, en la que su longitud es igual o menor a tres veces su ancho.

20. Limpieza posterior

Puede emplearse una técnica adecuada tal como un simple enjuague con agua, con solvente, flujo de aire (libre de aceite). Para mayores detalles consultar la norma ASTM E-165-2020.

21. Requisitos especiales

En la inspección de aceros inoxidable austéniticos, aleaciones base titanio o níquel, es necesario restringir el contenido total de iones cloruro/fluoruro, el contenido total de cloro/flúor y el contenido de azufre.

El contenido de cloro debe limitarse al 1% en donde el uso potencial incluye las aplicaciones de aceros inoxidable austéniticos o titanio.

El contenido de azufre debe limitarse al 1% donde el uso potencial incluye las aplicaciones en aleaciones base níquel a elevadas temperaturas.

Todos los lotes de consumibles empleados para la inspección por líquidos penetrantes deben estar identificados y certificados.

Antes de emplear un nuevo consumible, este debe ser comprobado con las placas de sensibilidad y siguiendo este procedimiento.

Todos los proveedores de consumibles para líquidos penetrantes deben estar registrados en la lista de proveedores.

22. Calificación recalificación

La recalificación de procedimiento requiere de pruebas equivalentes contra un procedimiento generalmente aprobado. La equivalencia es determinada por comparación directa de comparadores de penetrantes o en pieza de prueba respectivamente, o por medio de ambos.

La calificación se requiere cuando:

Se hace un cambio en la técnica de inspección.

Se cambia la temperatura a la que se realiza la inspección.

Se emplea líquidos penetrantes de un nuevo proveedor.

Se cambia el consumible por otro del mismo proveedor.

Existe duda sobre la sensibilidad lote de consumible.

23. Reporte de inspección

Debe elaborarse un reporte de cada inspección efectuada. Este reporte debe incluir al menos la siguiente información.

Una figura, croquis dibujo de la(s) pieza(s) examinada(s) indicando la localización de las indicaciones obtenidas

La técnica, método y tipo de penetrante.

La descripción e identificación de la(s) pieza(s).

Tipo y proceso del material.

Acabado superficial.

Tiempo de penetración.

Identificación de loteo lotes de los consumibles empleados.

Nombre y nivel del técnico que realiza la inspección.

4.1 Formulario de reportaje de inspección



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL**

**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
INFORME DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES**

I. Información general	
Descripción de la pieza.....	
Proceso de la fabricación.....	No de informe
Acabado superficial.....	Fecha de inspección.....
Identificación.....	Cliente.....
Tipo de material.....	No de pieza.....
Dimensiones.....	
Direcciones	

II. Líquidos penetrantes	
Tipo de líquidos penetrantes.....	Marca de líquido penetrante.....
Tipo de iluminación.....	Clase
Técnica empleada.....	Color.....

III. Informe de la inspección	
Procedimiento de inspección.....	Revisión
Tiempo de penetración.....	Intensidad.....
Forma de remoción líquido.....	

IV. Evaluación
Documento de evaluación..... revisión.....
Observaciones
.....

Inspección.....	Evaluó.....
Nombre.....	Nombre.....

4.2 Costos mínimos de insumos y materias para la construcción del equipo.

Esta tabla enfoca la parte económica del proyecto el análisis de precios de referencia, la inversión que se realiza en adquisición de materiales, costos de kits de líquidos penetrantes

Tabla de Materiales , herramientas e insumos					
	Descripción	unidad	cantidad	Precio unitario	Costo total
1	Tubo rectangular de 6 m y chapa de y otros	m	2	500	500
2	Equipo portátil kit	m	1		
	a) Liquido do penetrante visible		1		
	b) Liquido revelador		2	2500	2500
	c) Liquido solvente o removedor		2		
4	Motor de 1.5 hp	pza.	1	880	880
Total, en Bs					3,800

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Conociendo la teoría es momento de demostrar en la práctica, la utilidad de ensayos no destructivos para desarrollar la capacidad técnica de inspección y reafirmar la teoría, se sustenta en la experiencia que se desarrolla.

El resultado que se obtiene del procedimiento anterior, permite decir que la inspección de unión de la soldadura de probetas, por medio de ensayo no destructivos de inspección por líquidos penetrantes, es óptimo debido a los puntos que a continuación se exponen:

1. Se desarrolló el banco estacionario didáctico para la inspección de probetas soldadas, es un equipo que tiene características y áreas de aplicación, es muy cómodo para desarrollar la inspección de probetas. Específicamente el banco estacionario se dará mayor uso en la Carrera Mecánica Industrial.
2. El método de inspección con líquidos penetrantes visibles removible con solvente, es un método relativamente económico, practico que no requiere tener ciertas habilidades para su ejecución y de gran confiabilidad, el cual permitió obtener resultados con fallas acerca de la integridad de las uniones soldadas de las probetas.
3. La capacidad y habilidad del aplicador no es tan exigente como pudiera resultar para otros Ensayos no destructivos.
4. Al realizar la inspección visual y posterior corroboración con líquidos penetrantes se obtiene las fallas como porosidad.

5. Se realizó la guía de inspección es uno de los requisitos, siguiendo las instrucciones bajo las normas aplicables. El documento es similar a los que se realiza las inspecciones reales, este es una guía de entrenamiento para el procedimiento.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar el banco estacionario para ensayos no destructivos aplicando el método de líquidos penetrantes, visibles y fluorescentes envasado en cilindros aerosol, el equipo tiene áreas de aplicación de procedimiento de inspección. Utilizar adecuadamente el banco estacionario como indica el guía de procedimiento, el exceso de penetrante que queda en bandeja de aplicación debe ser removido con un paño.

En el banco estacionario se realiza la inspección de probetas con las siguientes características, una probeta de cordón de soldadura 250 mm longitud y 150 mm de ancho como máximo, en el banco estacionario se desarrollará procedimientos de inspección de probetas soldadas didácticos.

1. El banco estacionario se debe usar para una adecuada aplicación e inspección de líquidos penetrantes, así mismo se debe usar según las características de procedimiento de aplicación.
2. Cumplimiento de los requisitos de la norma es obligatorio para el procedimiento de ejecución, se debe tener conocimiento la norma ASTM E-165, 22 en el cual indica el proceso de desarrollo para asegurar los resultados deseados en las probetas es necesario conocer.
3. Se recomienda la aplicación del líquido penetrante para probetas como máximo 1 pasada a lo largo del cordón de soldadura para evitar la sobre carga del líquido penetrante. Por un tiempo aproximado de 10 minutos. Todo esto para poder obtener buenos resultados en la aplicación del ensayo

4. El procedimiento de inspección de probeta en banco estacionario para observar cualquiera de las indicaciones falsa, el inspector debe conocer como: porosidad, fusión incompleta, fisuras, socavaciones, bajo relleno y grietas. Para identificar qué tipo de indicaciones se observa para dar los resultados finales de aceptación o rechazo de la probeta.

5. Para el procedimiento de aplicación de líquidos penetrantes, revelador y solvente removedor se recomienda utilizar guantes quirúrgicos en todo el desarrollo.

Referencias bibliográficas

1. American Society of Mechanical Engineers (ASME). Boilers and Pressure Vessel code. ANSI/ASME/BPV Sec. V. Nondestructive Examination. Article 6 and 23. New York. 1989.
2. American Society for Metals Handbook. Nondestructive Evaluation and Quality Control , 10 edition, Vol. 17. U.S.A. ASNT.
3. American Society for testing and Materials (ASTM). Standard Recommended Practice for Liquid Penetrant Inspection. Method. Standard E- 195-95.
4. American Society for Nondestructive Testing. Recommended Practice No. SNT-TC-1A, Edition 1992, U.S.A. ASNT.
5. Mc Master. Robert C. Nondestructive Testing. Handbook, (ASNT)Second Edition, Vol. 2. Liquid Penetrant Test. 1982.
6. Mc Kevey, Edw. Liquid Penetrat Method Level III, Study Guide U.S.A. American Society for Nondestructive Testing (ASNT), 1980.
7. Levejoy David, Chapman Hall, Penetrant Testing: A practical Guido Chapman Hall. Edition 1991.
8. García Cueto Alfonso R. Ensayos no destructivos por la técnica de Líquidos Penetrante 2A. Edition. México, IMEDE, 1992.
9. Dirección General de Normas. Método de inspección con Líquidos Penetrantes. Norma Oficial Mexicana B-133. México, 1987.
10. General Dynamics Corp. Liquid Penetrant Testing. PT-4-2, CT-6-2. Volumen I y II. 193

Anexos

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acción capilaridad. – Tendencia de ciertos líquidos a penetrar o emigrar en pequeñas aberturas como grietas o fisuras, cuando estos se aplican en la superficie de la pieza de prueba.

Acción solvente. - Disolución de un fluido o sólido otro material.

Adaptación a la oscuridad. - Ajuste del ojo humano cuando pasa de un lugar iluminado a un lugar oscuro.

Autoemulsificante. - Propiedad de un líquido penetrante de combinarse satisfactoriamente, con agua, ya sea en forma de emulsión o de solución, para permitir su remoción de una superficie por lavado con agua.

Bloque de comparación de prueba. - Bloque de metal agrietado internacionalmente, de dos áreas separadas pero adyacentes, para la aplicación de penetrantes diferentes de modo que pueda obtenerse una comparación directa.

Contraste. - Diferencia de visibilidad o coloración entre los componentes que están siendo inspeccionados con líquidos penetrantes y las indicaciones de discontinuidad.

Defecto. - Discontinuidad que interfiere con la utilidad de material.

Discontinuidad. - Cualquier interrupción en la estructura física normal o configuración de una pieza como grieta, fisuras, traslapes, inclusiones, porosidad, etc. Una discontinuidad pueda o no dañar la utilidad de la pieza.

Emulsificador. - Agente líquido que se combina con un líquido penetrante insoluble en agua y suministra a la penetrante solubilidad, facilitando con ello su remoción con agua.

Enjuague. - Proceso de remover el líquido penetrante de la superficie de una pieza por medio de un lavado o inmersión en otro líquido. También es comúnmente llamado lavado.

Filtro de la luz ultravioleta. - filtro que transmite luz ultravioleta (3,600 a 4,000 Angstroms de longitud de onda) suprimiendo a la vez la transmisión de la luz visible.

Fluido desengrasante. - Agente empleado para eliminar aceite y grasa de la superficie antes la inspección con penetrante fluorescente.

Fondo fluorescente. - Residuos fluorescente observado sobre la superficie de la pieza durante la inspección con penetrante fluorescentes.

Indicación. - Marca que denota la presencia de una discontinuidad. En la inspección con líquido penetrante es la presencia o sangrado detectable del penetrante en las discontinuidades.

Indicación no relevante. - Presencia visible de discontinuidades con líquidos penetrantes y que no son defectos dañinos con consecuencia posteriores.

Indicación relevante. - Presencia visible de discontinuidades con líquidos penetrantes que es importante y debe ser tomado en cuenta para su evaluación.

Interpretación. - Es el proceso de juzgar una indicación de discontinuidad, la causa y naturaleza real de esta.

Limpieza. – Significa que la superficie de prueba debe estar libre de contaminantes sólidos o líquidos.

Limpiador. - Solvente volátil empleado para limpiar la superficie antes de aplicar el penetrante. El limpiador sirve también como solvente removedor.

Luz ultravioleta. - Luz cercana al rango de la longitud de onda de los rayos ultravioleta, justo más abajo que la visible (3,600 a 4,000 Angstroms).

Penetrante. - Líquido que posee la capacidad de penetrar en pequeñas aberturas, características que hace que este sea especialmente adecuado para usarse en la detección de discontinuidades superficiales del material.

Penetrante lavable con agua. - Penetrante que contiene agentes emulsificantes y que le permita ser removido fácilmente con agua.

Penetrante fluorescente. - Líquido altamente penetrante usado en la realización de pruebas con penetrantes líquidos, caracterizado por su habilidad de florecer bajo luz ultravioleta.

Penetrante visible. - Líquido altamente penetrante e intensamente visible, que da un máximo contraste en el revelador blanco cuando se usa en la detección de discontinuidades superficiales.

ASME ARTICULO 6 SECCIÓN V ED. 22

ARTICULO 6

Examinación por líquidos penetrantes

T-600 INTRODUCCIÓN.

La examinación por el método de líquidos penetrantes es un medio efectivo para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie en metales no porosos, así como otros materiales. Las discontinuidades típicas detectables por este método son las grietas, las costuras, los traslapes, traslapes en frío, laminaciones y porosidades.

En principio, un líquido penetrante es aplicado a la superficie que va ser examinada se deja que entre en la discontinuidad. Todo el exceso de penetrante es posteriormente removido, la parte es secada y se aplica un revelador. La función del revelador son la de extraer el penetrante de las discontinuidades y la de proporcionar un fondo de contraste que mejora la visibilidad de las indicaciones producidas por el penetrante. los colorantes en los penetrantes pueden ser de colores contrastes (visibles bajo la luz blanca), o fluorescente (visibles bajo luz ultravioleta).

T-610 ALCANCE.

Cuando se especifica por la sección del código de referencia, se deben emplear las técnicas de líquidos penetrantes descritas en este artículo. En general, este artículo está en conformidad con la norma SE-165, Método para la inspección por liquido penetrantes, en donde se proporcionan detalles adicionales a ser considerados en los procedimientos específicos a emplear.

Cuando este artículo es especificado por una sección del código de referencia, el método de líquido penetrantes descritas en este artículo debe ser empleado es este artículo se pueden encontrar en el apéndice A, glosario de términos, empleados en la examinación no destructiva, o en SE-270

T-620 REQUISITOS GENERALES

T-621 Procedimientos

T-621.1 Procedimiento inicial

La examinación por líquidos penetrantes debe ser efectuado de acuerdo con un procedimiento. Este procedimiento debe contener Al menos la siguiente información

- a) Los materiales, formas o tamaños a ser examinados y la extensión de la examinación
- b) El tipo número o letra designado si está disponible de cada penetrante, removedor de penetrante, emulsificantes ante y revelador.
- c) Los detalles del proceso para la limpieza previa a la inspección y el secado incluyen los materiales hacer empleados y el tiempo mínimo para permitir el secado.
- d) Los detalles del proceso para la Aplicación del penetrante, el tiempo que debe permanecer el penetrante el penetrante sobre la superficie (tiempo de penetración), y la temperatura de la superficie y del penetrante durante la examinación si se está fuera del rango de 60 a 125 °F.
- e) Los detalles del proceso para remoción del exceso de penetrante de la superficie ir para el secado de la superficie antes de la aplicación del revelador.
- f) Los detalles del proceso para la aplicación del revelador y el tiempo de revelado antes de la interpretación.
- g) Los detalles del proceso para la limpieza posterior ala examinación

T-621.2 Revisión del procedimiento

Se puede requerir una revisión de procedimiento Cuando

- a) Siempre que exista un cambio a sustitución del tipo, familia o grupo de los materiales penetrantes (incluyendo los reveladores, emulsificadores, etc.), o en las técnicas del procesado.
- b) Siempre que se realice un cambio o sustitución del tipo de los materiales o el proceso de pre limpieza.
- c) Por cualquier cambio en algún en alguna etapa del proceso que prueba cerrar las aperturas superficiales de las discontinuidades tejar depósitos que interfieran, tales como el uso de granallado o el tratamiento con ácido.

T-622 Técnicas

Se debe emplear tanto una técnica de penetrante de color contrastante o una técnica de penetrante fluorescente. Para cada técnica, se debe emplear uno de los tres tipos siguientes de sistemas de penetrantes.

- a) Lavable con agua.
- b) Postemulsificable.

- c) Removible con solvente

T-623 Materiales penetrantes

El término materiales penetrantes como se usa en un artículo se entiende que incluye a todos los penetrantes, solventes o agentes de limpieza, reveladores, etc que se usan en el proceso de examinación.

T-624 Restricciones técnicas

La examinación con penetrantes fluorescentes no debe ser posterior a una examinación con penetrantes de color contraste. No se permite la combinación de materiales penetrantes de diferentes familias. El repetir la prueba con penetrantes lavables con agua puede causar la pérdida de indicaciones marginales debido a la contaminación.

T-625 Control de contaminantes

El usuario de este artículo debe obtener la certificación del contenido de contaminantes de todos los materiales de líquido penetrante usados en aleaciones base níquel acero inoxidable austénicos y titanio. Estos certificados deben incluir el número de lote del fabricante del penetrante y el resultado obtenido de las pruebas de acuerdo con los incisos (a) y (b) citado a continuación. Estos registros deben ser mantenidos como requiere la sección de código de referencia.

- a) Cuando se examinan aleaciones base níquel todos los materiales deben ser analizados individualmente en un contenido de azufre como se indica a continuación:
 1. Una muestra individual de los materiales penetrantes, a excepción de los limpiadores debe prepararse para análisis calentados 50 gramos del material en una caja de petre de 150 mm de diámetro y a una temperatura de entre 194 y 212°F durante 60 minutos.

Precaución: Debe existir una ventilación adecuada para disipar los vapores emitidos.

2. El análisis de los residuos debe ser el siguiente: si el residuo es menor de 0.0025 g el material es aceptable sin necesidad de otro tipo de análisis: Si los residuos son de 0.0025 gr más, el procedimiento escrito en T-625 (a) (1) debe ser repetido y el residuo debe analizarse de acuerdo con ASTM D 129 o ASTM D 1552. Alternativamente, el material puede descomponerse de acuerdo con ASTM D 129 y analizarse de acuerdo con ASTM 516, método B el contenido de azufre no debe exceder del 1% en peso del residuo.
3. Una muestra individual del material limpiador/removedor, se debe preparar para análisis calentando 100 g del material en una caja de Petri con un diámetro nominal de 150 mm a una temperatura entre 194 y 212 °F durante 60 minutos.

Precaución: Debe existir una ventanilla adecuada para disipar los vapores emitidos.

4. El análisis del residuo deberá ser realizado como sigue: si el residuo es menor a 0,0025 g el material es aceptable sin necesidad de otro tipo de análisis. Si el residuo es de 0.0025 g o más, el procedimiento de T-625 (a) (3) se debe repetir y de residuos se analiza de acuerdo con ASTM D 129 o ASTM D 1552, alternativamente, el material puede descomponerse de acuerdo con ASTM D 129 y analizarse de acuerdo con ASTM D 516 método B. El contenido de azufre no debe exceder de 1% en el peso residuo.
- b) Cuando se examina materiales de aceros inoxidable austénicos o titanio, todos los materiales deben ser analizados individualmente en su contenido de color de cloro y flúor como se indica a continuación.
1. Una muestra individual de los materiales penetrantes a excepción de los limpiadores debe prepararse para analizar calentando 50 g de Petri de 150 mm de diámetro a una temperatura entre 194 y 212 °F durante 60 minutos.

Precaución: Debe existir una ventilación adecuada para disipar los vapores emitidos.

2. El análisis de los residuos debe ser el siguiente: si el residuo es menor de 0,0025 g el material es aceptable sin necesidad de otro tipo de análisis si los residuos son de 0,0025 gramos o más el procedimiento discreto en T-625 (a) (1) debe ser repetido y el residuo debe analizarse de acuerdo con ASTM 808 o SE 165 anexo 2 para el contenido de cloro y según SE 165 anexo 3 para el contenido de fluoruro. El contenido de cloro más el contenido de flúor no debe exceder el 1% en el peso de residuo.

3. Una muestra individual del material limpiador/removedor, se debe preparar para analizar calentando 100 g de material en una caja de Petri con un diámetro nominal de 150 mm a una temperatura entre 194 y 212 °F durante 60 minutos

Precaución: Debe existir una ventilación adecuada para disipar los vapores emitidos

4. Se debe efectuar el análisis de residuo como se indica a continuación: Si el residuo es menor a 0,005 g de material es aceptable sin necesidad de otro tipo de análisis. Si el residuo es de 0,005 g o más el procedimiento de T-625 (a) (3) se debe repetir y el residuo se analiza de acuerdo con ASTM D 800 o SE 165 anexo 2 para el cloro y SE 65 anexo 3 para el Flúor el contenido de cloro más el contenido del flúor no debe exceder de 1% en peso de residuo.

T-626 Preparación de la superficie

- a) En general se puede obtener resultados satisfactorios cuando la superficie de la parte está en la condición de soldadura, rolado fundición o forjado puede ser necesario la preparación de la superficie por esmerilado, maquinado otros métodos cuando existan irregularidades superficiales que puedan enmascarar las indicaciones de discontinuidades

Precauciones: El acondicionamiento previo de la superficie para la examinación puede afectar los resultados, ver art.24, SE-165 anexo 1, para las precauciones generales en el acondicionamiento de la superficie.

- b) Antes de cualquier examinación por líquidos penetrantes, la superficie a ser examinado ir a las áreas comprendidas a una pulgada cada lado, deben estar secas y libres de suciedad, grasa, oxido, fundente de soldadura, botas de soldadura, aceite y cualquier otro material extraño que pueda tapar las aperturas superficiales e interferir con la inspección.
- c) Los agentes de limpieza comunes que pueden ser empleados son los detergentes, solventes orgánicos, soluciones desincrustantes y removedores de pintura. Los métodos de desengrasados y la limpieza ultrasónica también puede ser empleados.
- d) Los solventes de limpieza deben cumplir los requisitos de T-625 el método de limpieza empleado es una parte importante del proceso de examinación.

T-627 Secado después de la preparación

Después de la limpieza, el secado de las superficies a ser examinadas deberá realizarse mediante evaporación normal o con corrientes de aire caliente como sea adecuad. Se debe establecer un periodo mínimo de tiempo para asegurar que las soluciones limpiadoras se han evaporado antes de la aplicación de penetrante.

T-640 Examinación

T-641 Técnicas para temperatura estándar

Como una técnica estándar, la temperatura del penetrante y de la superficie a procesar, no debe ser inferior a 60 °F ni superior a 125 °F durante el período de examinación. Se permite el calentamiento o el enfriamiento local para mantener la temperatura dentro del ámbito a 60 a 125 °F durante la examinación. Cuando no sea práctico cumplir con estas limitaciones de temperatura, se puede usar otros tiempos y temperaturas, demostrando que los procedimientos están calificados como se especifica en T-647.

T-642 Aplicación del penetrante

- a) El penetrante puede ser aplicado por cualquier medio adecuado tal como la inmersión por brocha o rociado. Si el penetrante es aplicado por rociado empleando aparatos compresores de aire, se deberá colocar filtros del lado de presión cercanos a la salida de aire para evitar la contaminación del penetrante con aceite, agua, suciedad o sedimentos que se pueden juntar en la línea de aire.
- b) El tiempo de penetración es crítico. El tiempo mínimo de penetración debe ser el recomendado en SE 165 tabla 2, o como se califica por demostración para su aplicación específicas.

T-643 Remoción del exceso de penetrante

Después de que ha transcurrido el tiempo de penetración, cualquier exceso de penetrante que permanezca en la superficie debe ser removido, teniendo cuidado de minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades.

T-643. 1 Penetrante lavable con agua. - El exceso de los penetrantes lavables con agua debe ser removido con Rocío de agua; la presión del agua no debe exceder de 50 psí y la temperatura de agua no debe exceder de 110 °F.

T-643.2 Penetrante postemulsificables. - Con los penetrantes postemulsificables, el emulsificador debe ser aplicado por rociado o inmersión. El tiempo de multiplicación es crítico y rígido por la rugosidad superficial y el tipo de discontinuidades buscadas. Este no debe exceder de 5 minutos excepto que otros tiempos sean calificados por pruebas reales. Después de la emulsificación, la mezcla deberá ser removida por medio de Rocío de agua usando el mismo procedimiento que para los penetrantes removibles por agua.

T-643.3 Penetrantes removibles con solvente. - El exceso de los penetrantes removibles por solvente debes retirarse por medio del frotado con paño o papel absorbente, repitiendo la operación hasta que la mayoría de las trazas del penetrante hayan sido removidos. Los residuos remanentes deben ser removidos mediante un frotando suave de la superficie con tela o papel absorbente humedecido con solvente. Se debe tener especial cuidado para evitar el uso del exceso de solvente y minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades. **Está prohibido inundar la superficie con solvente después de aplicación del penetrante y antes de la aplicación.**

T-644 Secado después de la remoción del exceso de penetrante

- a) Para los penetrantes lavables con agua o los postemultiplicables, las superficies pueden ser secadas con material absorbente limpio o empleando circulación de aire tibio, la temperatura de la superficie no deberá ser superior a los 125°F.
- b) Para la técnica de penetrantes removible con solvente, las superficies pueden secarse por evaporación normal, por frotando o con circulación de aire.

T-645 Revelado

El revelador debe ser aplicado después de la remoción del exceso del penetrante, tan pronto como sea posible; el intervalo de tiempo no debe exceder del establecido en el procedimiento. El espesor insuficiente de la capa de revelador puede que no es extraer al penetrante fuera de las

discontinuidades, inversamente, el espesor excesivo de la capa de revelador puede enmascarse las indicaciones.

En la inspección con penetrantes visibles se deben utilizar solo reveladores húmedos. Con penetrantes fluorescentes, se podrán utilizar reveladores húmedos o secos.

T-645.1 Aplicación de los reveladores secos. - los reveladores secos deben aplicarse solamente a la superficie secas empleando una brocha suave, un cedazo o colador manual de hule, una pistola de polvos, o cualquier otro medio que ocasiona que el polvo se disperse sobre toda la superficie a ser examinada.

T-645.2 Aplicación de los reveladores secos húmedos. - Antes de aplicar un revelador húmedo en suspensión a una superficie, el revelador debe ser agitado para asegurar la dispersión adecuada de las partículas en suspensión.

- a) Aplicación de Reveladores en Suspensión Acuoso. Los reveladores en suspensión acuosa se pueden aplicar a las superficies húmedas o secas éste debe ser aplicado por inmersión, brocha, rociado o cualquier otro medio de forma que forme una capa delgada en toda la superficie a ser examinada. El tiempo de secado puede ser disminuido usando aire tibio, que proporcione a la superficie de la parte a ser inspeccionada una temperatura que no sea mayor a 125 °F, no se permite el salpicado de revelador.
- b) Aplicación de los Reveladores No Acuosos. Los reveladores no acuosos deben aplicarse solamente a superficies secas, éste debe ser aplicado por rociado, excepto cuando la seguridad o el acceso restringido no solo permitan; bajo estas condiciones, el revelador se puede aplicar con brocha. El secado debe ser por evaporación normal.

T-646 Interpretación

Es difícil evaluar el tamaño real el tipo de discontinuidades si el penetrante se difunde excesivamente en el revelador. Consecuentemente, la superficie debe ser observada cuidadosamente durante la aplicación del revelador para monitorear el desarrollo de las indicaciones que tienden a sangrar intensamente. La interpretación final debe efectuarse después de permitir que la penetrante sangre de 7 a 30 minutos. Se permite periodos más largos si el

sangrado no altera los resultados de la examinación punto si la superficie a inspeccionar largos si el sangrado no altera los resultados de la examinación. Si la superficie a examinar es demasiado grande para efectuar la examinación completa dentro del tiempo prescrito, la superficie deberá ser examinada por secciones.

T-646.1 Penetrantes de color visible. - Con un penetrante de color visible el revelador debe formar una capa blanca razonablemente uniforme. Las indicaciones de las superficiales son indicadas por el sangrado del penetrante.

T-646.2 Penetrantes fluorescentes. - con los penetrantes fluorescentes, el proceso es esencialmente el mismo que en T-646.1, con la excepción de que la examinación es efectuada empleando luz ultravioleta llamada luz negra. La examinación debe efectuarse como se indica a continuación.

- a) Se debe efectuar en un área oscurecida.
- b) El examinador debe estar en el área oscura por lo menos 5 minutos antes de efectuar la examinación para permitir que sus ojos se adapten a la visión en la oscuridad. Si el examinador emplea lentes, estos no deben ser fotosensibles.
- c) Deberá permitirse el calentamiento de la lámpara de la luz negra por lo menos cinco minutos antes de su uso o de la medición de la intensidad de la luz ultravioleta emitida.
- d) La intensidad de la luz negra debe medirse con un medidor de la luz negra. La intensidad de la luz ultravioleta debe ser de un mínimo de 1000um/cm². La intensidad de la lámpara de luz negra se debe medir por lo menos una vez cada 8 horas y cada vez se cambie la estación de trabajo.

T- 647 Procedimiento para temperatura no normalizado

T-647.1 General. - Cuando no sea practico conducir una examinación por líquidos penetrantes a una temperatura entre 60 y 125 °F, el procedimiento de examinación a la temperatura inferior o superior propuesta requiere calificación. Esta requiere del uso de un bloque de aluminio agrietado mediante temple, el cual en este artículo ha sido designado como bloque comparador de líquido penetrante.

T-647.2 Comparador de líquido penetrante. - los bloques de comparación de líquidos penetrantes deben ser hechos con aluminio ASTM B 209, tipo 2024 o SB 211, tipo 2024, de 3/8" de espesores y pueden tener unas dimensiones en la superficie de 2x 3". Al centro de cada cara, en un área aproximada de 1 pulgada de diámetro se debe marcar con un crayón indicador de temperatura de 950 °F. el área marcada debe ser calentado con una antorcha, un mechero de buses o sistema similar hasta una temperatura entre 950 y 975 °F la muestra debe entonces ser templado inmediatamente en agua fría producirá una red de grietas fines en cada cara.

El bloque debe entonces ser secado por calentamiento hasta una temperatura aproximado de 300 °F. Después de enfriarse, el bloque debe ser cortado en dos mitades; para su identificación en procesos subsecuentes una mitad será designado como bloque A y la otra como bloque B. la figura T-647.2 ilustre los bloques de comparación A y B, se puede hacer bloques separados de 2x3" calentamiento y templado como se describió anteriormente. Pueden emplearse dos bloques de comparación que tengan figuras de fracturas muy semejantes. Los bloques deben ser marcados como A y B.

T-647.3 Aplicación del comparador

- a) Si se desea calificar a un procedimiento de examinación por líquidos penetrantes a una temperatura menor a 60 °F, el procedimiento propuesto debe ser aplicación al bloque B después de que el bloque y todos los materiales han sido enfriado y mantenidos a la temperatura de examinación propuesta hasta que la comparación se haya terminado. Un procedimiento normalizado que previamente ha demostrado su habilidad de uso (calificado), se debe aplicar al bloque A en el ámbito de temperatura entre 60 y 125 °F. se deben comparara las indicaciones de las grietas entre los bloques A y B. Si las indicaciones obtenidas en el bloque A durante la examinación entre 60 y 125 °F, el procedimiento se debe considerar calificado para su uso.
- b) Si la temperatura propuesta para la examinación es superior a 125 °F, el Bloque B debe ser mantenido a esta temperatura durante la examinación. Las indicaciones de las grietas se deben comparar como se indica en T-647.3 (A) cuando el bloque B está a la temperatura propuesta y el bloque A esta entre 60 y 125 °F.
- c) Un procedimiento calificado a una temperatura menor que 60 °F está calificado desde esta temperatura hasta 60 °F.

- d) Para calificar un procedimiento a una temperatura superior a 125 °F, el procedimiento debe establecer los límites de temperatura superior e inferior y el procedimiento se debe calificar a estas temperaturas.
- e) Como una alternativa a los requisitos de (a) y (b) cuando se usa un penetrante de color contraste, se permite que se use un solo bloque para la temperatura normalizada y la no normalizada y hacer la comparación por fotografía.
 - 1. Cuando se emplean un bloque sencillo de comparación y la de técnica de fotografía, se deben aplicar los detalles del procesamiento (que sean aplicables) descritos en a y b. El bloque debe ser perfectamente limpiado entre los dos procesamientos. Las fotografías se deben tomar después del procesamiento a la temperatura no normalizada y después a la temperatura normalizada. Las indicaciones de las grietas deben ser comparadas entre las dos fotografías. Se debe aplicar el mismo criterio de calificación de (a).
 - 2. Se deben emplear técnicas idénticas de fotografía para hacer las fotos de comparación.

T-650 Evaluación

- a) Todas las indicaciones deben ser evaluadas en los términos de las normas de aceptación de la sección de referencia del código.
- b) Las discontinuidades en la superficie serán indicadas por el sangrado del líquido penetrante: sin embargo, las irregularidades localizadas en la superficie debidas a marcar de maquinado u otras condiciones de la superficie pueden producir falsas indicaciones.
- c) Grandes áreas de fluorescencia o de pigmentos que pueden enmascarar las indicaciones de discontinuidades son inaceptables, y tales áreas deberán ser limpiadas y reexaminadas.

