

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LOS MÉTODOS: TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÁMPARA DE LUZ ULTRAVIOLETA.”

POR:

ALINA PATRICIA SÁNCHEZ TORRES

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título
de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
MOTORES**

2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el SRTA. ALINA PATRICIA SÁNCHEZ TORRES, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES.

**SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Latacunga, Febrero 14 del 2013

DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mí y porque juntos supimos salir adelante sin dejar de lado el inmenso amor que nos tenemos, siempre dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzados mis sueños, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y de mi vida, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo poder llegar al final. Por ustedes, por lo que valen, por el amor, la comprensión y la tolerancia que han tenido a lo largo de mi vida, sin ustedes tal vez no estaría donde estoy ahora porque por ustedes soy quien soy, una mujer de bien que sigue sus pasos.

A mis hermanos y mi novio por nunca dejarme sola y fomentar en mí el deseo de superación, y lucha.

Tal vez mis palabras son muy pocas para expresar todo lo que ustedes inspiran en mí, pero aun así no quiero que pasen por alto lo mucho que los amo, valoro, y respeto.

Alina Patricia Sánchez Torres.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero dar gracias a Dios por darme a unos padres maravillosos; a mi madre Elina por estar a mi lado incondicionalmente y enseñarme que todo es posible cuando nos proponemos lograrlo, que no hay ningún obstáculo que sea lo suficientemente grande para rendirnos y volver a intentar, a mi padre Fausto a pesar de todos mis desaciertos estuvo conmigo apoyándome y dándome fuerzas para nunca desertar, a mi hermano Santiago que es una bendición tenerlo y mi ejemplo a seguir, a mi hermanita Anahí que con su ternura me ayuda a sobrellevar los momentos difíciles de mi vida, a mi novio Fabián que supo entenderme y ser un pilar fundamental a pesar de todos los contratiempos que hemos tenido.

Gracias al Sr. Ing. José Luis López, a mi tutor de tesis Sgto. Marco Basantes por impartir sus conocimientos conmigo y hacer posible la realización de este proyecto.

Doy gracias a todas las personas que me han ayudado a lo largo de mi carrera y han puesto un granito de arena para cumplir mis sueños, Dios les pague y les colme de bendiciones por sus buenos corazones que me dieron tanto sin recibir nada a cambio.

Alina Patricia Sánchez Torres.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada.....	I
Certificación.....	II
Dedicatoria	III
Agradecimiento	IV
Índice de contenidos	IV
Índice de figuras	V
Índice de tablas	XI
Resumen.....	1
Summary.....	2

CAPÍTULO I

TEMA

Antecedentes	3
Justificación e Importancia	5
Objetivos	6
General	6
Específicos	6
Alcance	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Ensayos no destructivos.....	8
2.2 Defectología	8
2.2.1 Criterios del IIW	8
2.2.2 Defectología de uniones soldadas	9

2.2.2.1	Discontinuidad.....	10
2.2.2.2	Defecto.....	10
2.3	Clasificación de las discontinuidades.....	10
2.3.1	Discontinuidades inherentes.....	10
2.3.2	Discontinuidades de proceso.....	10
2.3.3	Discontinuidades por servicio.....	10
2.4	Estudio de las discontinuidades y defectos en los procesos de soldadura...	11
2.4.1	Porosidades.....	11
2.4.2	Fisuras.....	13
2.4.3	Falta de fusión.....	15
2.4.4	Exceso de penetración.....	17
2.5	Concavidades.....	17
2.5.1	Pueden ser internas o externas.....	17
2.5.1.1	Concavidad externa o falta de relleno.....	17
2.5.1.2	Concavidad interna.....	18
2.5.1.3	Socavaduras o mordeduras de bordes.....	18
2.5.1.4	Quemado.....	19
2.5.1.5	Salpicaduras.....	20
2.5.1.6	Inclusiones de escoria.....	20
2.5.1.7	Falta de continuidad del cordón.....	21
2.6	Erosiones y huellas.....	22
2.6.1	Exceso de rebajado.....	22
2.6.2	Huellas de amolado.....	22
2.6.3	Huellas de mecanizado.....	22
2.6.4	Martillazos, golpes en general.....	23
2.6.5	Restos de electrodos.....	23
2.7	Clasificación de los ensayos no destructivos.....	23
2.7.1	Visuales.....	24
2.7.2	Superficiales.....	24
2.7.3	Volumétricos.....	24
2.8	Inspección visual.....	26
2.8.1	Técnicas de inspección visual.....	27
2.8.1.1	Inspección visual directa.....	27

2.8.1.2 Inspección visual remota	27
2.9 Medios auxiliares de inspección	28
2.9.1 Espejos.....	29
2.9.2 Lentes de aumento.....	29
2.9.3 Cámaras de televisión	29
2.9.4 Fibroscopios	29
2.9.5 Equipos de registro	31
2.10 Tipos de exámenes visuales	31
2.11 Procesos de examen visual.....	32
2.11.1 Examen visual VT-1	32
2.11.2 Examen visual VT-2	32
2.11.3 Examen visual VT-3	32
2.11.4 Examen visual VT-4	33
2.12 Líquidos penetrantes	33
2.12.1 Fundamento del método.....	34
2.13 Clasificación de los líquidos penetrantes.....	35
2.14 Líquidos penetrantes	38
2.15 Métodos de aplicación del líquido penetrante	38
2.16 Tipos de reveladores	39
2.17 Penetrantes fluorescentes.....	40
2.18 Ventajas y desventajas de usar líquidos penetrantes	41
2.18.1 Ventajas de los líquidos penetrantes.....	41
2.18.2 Desventajas de los líquidos penetrantes	41
2.19 Partículas magnéticas	42
2.19.1 Clasificación de las técnicas de ensayo	42
2.20 Modos de magnetización.....	43
2.20.1 Bobina estática.....	44
2.20.2 Yugos	44
2.21 Aplicación de las partículas magnéticas.....	46
2.21.1 Características y técnicas de aplicación.....	46
2.22 Propiedades magnéticas	47
2.23 Visibilidad y contraste.....	48
2.24 Las Técnicas de aplicación	49

2.24.1 Técnica seca	49
2.24.2 Técnica húmeda	49
2.25 Tipos de defectos detectables	51
2.25.1 Efecto de la sobre magnetización	52
2.26 Ventajas y desventajas de usar partículas magnéticas	52
2.26.1 Ventajas de las partículas magnéticas	52
2.26.2 Desventajas de las partículas magnéticas	53
2.27 Estudio de normas de referencia para end en inspección de soldaduras en estructuras metálicas	53
2.27.1 Código ASME	53
2.28 Recomendaciones de la norma para aplicación de las técnicas de inspección de soldaduras con los métodos líquidos penetrantes y partículas magnéticas	54
2.28.1 Líquidos penetrantes	54
2.28.2 Partículas magnéticas	55
2.29 Estudio de norma ANSI-AWS D1.1	56
2.29.1 Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END	57
2.30 Estudio de norma AWS D1.3.....	57
2.30.1 Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a end. inspección visual.	57

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Elaboración de procedimiento de inspección tipo.	58
3.2 Esquema general de un procedimiento escrito	59
3.3 Elaboración de procedimiento de inspección visual VT.	62
3.4 Elaboración de procedimiento de inspección con líquidos penetrantes PT....	72
3.4.1 Proceso aplicación LP	76
3.5 Elaboración de procedimiento de inspección con partículas magnéticas.....	90
3.6 Aplicación del manual de procedimientos en probetas del laboratorio de materiales y procesos.	107

3.6.1 Aplicación de procedimiento en probetas tipo para ensayos con inspección visual VT.....	107
3.6.2 Aplicación de procedimiento en probetas tipo para ensayos con tintes penetrantes PT.....	110
3.6.3 Aplicación de procedimiento en probetas tipo para ensayos con partículas magnéticas MT.....	115

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	121
4.2 Recomendaciones.....	122
Glosario de términos.	123
Nomenclatura utilizada.....	125
Bibliografía	126
Anexos	129
Anexo a: “ante proyecto”	130
Anexo a1: “modelo de entrevista”	164
Anexo b: normas: ASME Y ASTM.....	167
Anexo c: formatos	178
Anexo d: hoja de vida del graduado	189

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Exceso de penetración.....	17
Figura 2.2 Concavidad externa	18
Figura 2.3 Concavidad interna	18
Figura 2.4 Mordeduras en la soldadura.....	19
Figura 2.5 Quemado de soldadura.....	19
Figura 2.6 Escorias en el cordón de soldadura	21
Figura 2.7 Falta de continuidad en el cordón	21
Figura 2.8 Instrumentos utilizados en inspección visual.....	27
Figura 2.9 Magnificador 50x.....	28
Figura 2.10 Cámara CCD.....	29
Figura 2.11 Funcionamiento del fibroscopio.....	30
Figura 2.12 Equipos de registro digital	31
Figura 2.13 Angulo de contacto entre superficie y líquido.....	34
Figura 2.14 Procedimiento de inspección por líquidos penetrantes	38
Figura 2.15 Magnetización longitudinal	43
Figura 2.16 Esquema de una bobina de magnetización	44
Figura 2.17 Yugo de patas articuladas.....	46

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Cepillos para la limpieza del cordón de soldadura	65
Figura 3.2 Limpieza inicial	65
Figura 3.3 Aplicación del penetrante	66
Figura 3.4 Remoción del exceso de penetrante	67
Figura 3.5 Aplicación del revelador	68
Figura 3.6 Inspección	76
Figura 3.7 Indicador de campo magnético	76
Figura 3. 8 Magnetización longitudinal	77

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Tipos de porosidades que se pueden representar en soldaduras.....	12
Tabla 2.2 Fisuras que se pueden presentar en las soldaduras	13
Tabla 2.3 Falta de fusión en las soldaduras.....	16
Tabla 2.4 Clasificación de los líquidos penetrantes según ASTM E-165	35
Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de método de MT por vía seca	49
Tabla 2.6 Ventajas y desventajas de método de MT por vía húmeda.....	50

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Lámpara de rayos UV MLK_35	75
Tabla 3.2 Tiempos de penetración para líquidos coloreados	78
Tabla 3.3 Tiempos de penetración para líquidos penetrantes fluorescentes lavables con agua	79
Tabla 3.4 Tiempos de penetración para líquidos penetrantes fluorescentes post emulsificables.....	80
Tabla 3.5 Selección del tipo de ensayo.....	96

RESUMEN

El presente proyecto de investigación nos permite implantar una guía técnica del ensayo no destructivo por líquidos penetrantes que nos permitirá detectar discontinuidades superficiales en todo tipo de material excepto los porosos, y con partículas magnéticas nos permitirá detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos en el Laboratorio de Materiales y Procesos con un equipo actualizado en el tema, especialmente con la implementación de la lámpara de luz negra.

La importancia del ensayo no destructivo es permitir un examen en superficies sin la destrucción de la junta soldada o el elemento porque no existe extracción de muestra.

Para desarrollar el trabajo de investigación planteado se ha desarrollado diferentes pruebas con las probetas basándose en normas ASME V, que nos permite desarrollar el ensayo respetando ciertos parámetros.

Por su parte el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes y partículas magnéticas son eficientes y técnicamente viables, en lo que respecta a la localización de discontinuidades en materiales ferromagnéticos.

La incorporación de la lámpara de luz negra, para los END contribuyó a analizar discontinuidades en soldaduras por medios visuales con líquidos fluorescentes generando en el laboratorio criterios de aceptación y rechazo en las juntas soldadas analizadas.

Queda demostrado en los resultados obtenidos, que es un medio confiable y que puede ser utilizado como medio de investigación y estudio para todos los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

SUMMARY

The present investigation project let us to implement a technical guide of non destructive assays by the use of penetrating liquids and magnetic particles at the Materials and Processes Laboratory using actualized equipment specialized for that work, especially with the implementation of a black light. These will allow us to evaluate Ferro magnetic surface defects, in this case for steel; to do this were made welded manometers.

The importance of the non destructive assay is to permit an exam in the surface without the destruction of the welded union or the element because there is not a sample extraction.

To develop the desired investigation work, were made different tests with the welded manometers taking into account the ASME V rules, that establishes procedures for the assays.

In other hand the non destructive assay by penetrating liquids and magnetic particles are efficient and viable, referent to find discontinuities in Ferro magnetic materials.

The implementation of a black light, for the END contributed to analyze discontinuities by visual form in welded unions using fluorescent liquids generating in the lab approval or negative criteria in the welded unions analyzed.

It show the obtained results, that is a trustable way and can be use as an investigation and study mode for all the students at the Aeronautical Technological Superior Institute

CAPÍTULO I

TEMA

Antecedentes ¹

La formación de elementos capaces de proporcionar un eficiente y adecuado mantenimiento de aviones en nuestra Fuerza Aérea, constituyó una necesidad imperiosa que impulso a la creación de una Escuela que impartiera la enseñanza de las técnicas aeronáuticas.

Es así que el 08 de noviembre de 1999, mediante Acuerdo Ministerial No. 3237 del Ministerio de Educación Pública, Cultura y Deportes, la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea se transforma en Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), constituyéndose de esta manera en un centro académico de formación tecnológica superior regida por las leyes y reglamentos de educación superior correspondiente y registrado en el CONESUP con el número 05-003 de fecha 20 de Septiembre del 2000. Para este entonces el ITSA abre sus puertas al personal civil para que ingresen a esta institución y se preparen tecnológicamente y así formar profesionales tecnólogos que cumplirán tareas calificadas en el campo de la aviación civil y militar.

En la actualidad el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico capacita a los jóvenes civiles y militares en las tecnologías de:

- ❖ Mecánica aeronáutica mención Aviones y Motores.
- ❖ Telemática.

¹ http://www.itsafae.edu.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=155

- ❖ Electrónica mención Instrumentación y Aviónica.
- ❖ Ciencias de la Seguridad mención Aérea y Terrestre.
- ❖ Logística y Transporte.
- ❖ Centro de Idiomas.

Todas estas especialidades están encaminadas a formar tecnólogos profesionales que cumplan tareas calificadas en el campo de la aviación.

Estas carreras únicas e innovadoras en el país tienen por objetivo enfrentar los nuevos retos de la actividad aeronáutica y tendencias del desarrollo de la sociedad moderna.

En virtud de lo mencionado, nace en primera instancia la creación en el bloque 42 de un Laboratorio de Materiales y Procesos el cual posee equipamiento para la evaluación no destructiva de materiales en diversas metodologías, tales como líquidos penetrantes y partículas magnéticas.

En el marco de la actividad académica, actualmente se realizan prácticas de “Ensayos No Destructivos” (END) para estudiantes, cuyo programa tiene como objetivo principal reforzar los conocimientos teóricos adquiridos durante la formación académica en un entorno adecuado, orientado inicialmente a la realización de ensayos, pruebas y procesos de evaluación a partes estructurales de soldadura y materiales, así como la mejora de procesos de soldadura y manufactura de uniones soldadas, haciéndolo posible a través de la incorporación de elementos de infraestructura y recursos adecuados para satisfacer las demandas ya existentes en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Determinando a los ensayos no destructivos como aquellos que nos permiten inspeccionar el 100 % de una muestra, obteniendo datos del estado total o parcial de la misma sin destruir ni alterar sus características.

Mantienen un nivel de calidad uniforme por aumento de la fiabilidad y prestigio del producto inspeccionado, de esta manera se previene sobre fallos y roturas que podrían ser origen de accidentes o pérdidas de operatividad en las instalaciones.

De esta manera el propósito primario de la inspección no destructiva es la detección de discontinuidades que puedan afectar la vida segura de una estructura o elemento mecánico cualquiera.

La inspección no destructiva se ha practicado por muchas décadas, en principio con progresos rápidos en la instrumentación, estimulada por los avances tecnológicos que ocurrieron sobre todo desde la Segunda Guerra Mundial y el esfuerzo subsiguiente de la defensa. En respuesta a ésta necesidad, se han desarrollado técnicas cada vez más sofisticadas.

Los campos de aplicación de los ENDs son muy variados e ideados para evaluar discontinuidades de distintos materiales, distintas características y distintas ubicaciones y formas de discontinuidades. En este trabajo se realizará un enfoque hacia aquellos ensayos que permitan evaluar la soldadura, y específicamente la aplicada en estructura metálica, es decir aquellos que permitan evidenciar discontinuidades provocadas en el proceso de soldadura.

Se requiere entonces de procedimientos bien definidos que, según códigos, resulten imprescindibles y que sean ejecutados por personal calificado en base a los códigos de referencia citados en los códigos de construcción.

Justificación e Importancia

En vista de que nuestra Institución no dispone de un sistema formal de Control de Calidad en inspección de soldadura estructural con END, es un requerimiento esencial el disponer de este sistema que conste de elementos como procedimientos de inspección, capacitación interna, certificación de equipos y personal.

Es importante generar este manual para aumentar la confiabilidad de la evaluación, obteniendo ensayos sobre las soldaduras en forma metódica, donde se registren los parámetros relevantes de cada uno y con ello se logre la reproducibilidad de dichas pruebas.

Respecto al beneficio general de este trabajo, es evidente que el manejo de normas y códigos, el estudio teórico y práctico de END, será un aporte más detallado y preciso en cuanto a la formación que el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico otorga, por lo que este proyecto forma parte de un complemento importante en la formación profesional de todos los estudiantes.

Objetivos

General

Elaborar un manual de procedimientos para la ejecución de ensayos no destructivos en los métodos: líquidos penetrantes, partículas magnéticas e implementación de una lámpara de luz ultravioleta.

Específicos

- Analizar los aspectos más importantes en lo que respecta a los distintos tipos de END aplicables en el campo de estructuras metálicas.
- Elaborar los procedimientos de inspección a efectuar en cada tipo de END en la evaluación de la soldadura de las estructuras metálicas, por medio de líquidos penetrantes y partículas magnéticas.
- Determinar para cada tipo de ensayo propuesto, los parámetros y valores admisibles, en cuanto a soldadura de estructura metálica se refiere.
- Evaluar los resultados obtenidos en cada uno de los procedimientos, verificando su apego a normas de referencia.
- Proveer al ITSA (Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico) de un manual de inspección con END que le permita realizar el control de calidad de soldadura estructural, de una forma estandarizada y organizada,

permitiéndole llevar un registro completo de cada actividad a realizarse, optimizando así tiempo, recursos, uso de personal y tratamiento de información.

Alcance

Este proyecto verá alcanzadas sus metas cuando, habiendo generado un manual con sus procedimientos de inspección no destructiva, se apliquen sobre la soldadura estructural, y dichas acciones den como resultado un proceso idóneo para evaluar y en casos respectivos, reparar una muestra de soldadura.

Este manual de inspección con END cumple con los requerimientos de códigos de construcción como ANSI-AWS y su evaluación responde a sus criterios de Aceptación-Rechazo, además sigue como referencia códigos como ASME V y ASTM que regulan el uso de ENDs, enfocado a ensayos de Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Partículas magnéticas, por lo que este estudio realizará los procedimientos para cada una de estas pruebas, a más de la implementación de una lámpara de luz ultravioleta en el Laboratorio de Materiales y Procesos ubicado en el bloque 42.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Ensayos No Destructivos²

Se denomina **ensayo no destructivo** (también llamado END, o en inglés NDT *non destructive testing*) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades: físicas, químicas, mecánicas o dimensionales (incluso magnéticas). Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como: ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los ensayos no destructivos suelen ser más baratos para el propietario de la muestra a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado.

2.2 Defectología³

2.2.1 Criterios del IIW

El Instituto Internacional de Soldadura es una organización que reúne varias entidades de distintos países que intentan regular, estandarizar, e incluso unificar

² <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

³ [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

los códigos que normen la soldadura, sus procedimientos, consumibles, equipamiento, personal, control de calidad, etc., con la finalidad de asegurar las estructuras soldadas y garantizar la capacidad de unión de la misma.

La Sociedad Americana de Soldadura se encuentra adscrita en el instituto internacional, y por ello, los códigos expedidos por AWS siempre mantienen una estrecha correlación con los códigos equivalentes IIW, con la principal diferencia que los primeros son de uso regular en el territorio de los Estados Unidos, mientras que los segundos se los utiliza en los países principales participantes en el IIW.

Por lo tanto, los criterios de aceptación y rechazo dados en las normas AWS resultan equivalentes a los logrados en consensos técnicos del IIW, donde la colaboración de la instancia estadounidense se direcciona estrechamente. Es decir, al cumplir los requerimientos de la norma ANSI-AWS D1.1 y D1.3.⁴

2.2.2. Defectología de uniones soldadas

Para garantizar la calidad de la unión soldada es importante que los elementos producidos sean sometidos a una exhaustiva inspección, a fin de determinar los defectos o discontinuidades que puedan existir y que podrán ocasionar su fallo.

La defectología de la soldadura establece que los tipos de discontinuidades que producen efectos negativos sobre las uniones rígidas y que según las especificaciones dadas por las normas (criterios de aceptación y de rechazo) pueden llegar a considerarse como defecto de soldadura.

Los dos términos discontinuidad y defecto ampliamente usados en la defectología se describen a continuación.

⁴ <http://es.scribd.com/doc/36900055/Norma-Soldadura-Aws-d1-1>
<http://es.scribd.com/doc/72172899/Codigo-Ansi-Aws-d1-3-Del-98-1>

2.2.2.1 Discontinuidad.- Es la alteración en la forma normal de un material y es denominada así hasta determinar el efecto que causa sobre el material o unión de soldadura estudiada.

2.2.2.2 Defecto.- Es una discontinuidad cuyo efecto sobre el material es negativo e inaceptable con respecto a las especificaciones de las normas, sin embargo si se establece que este efecto no sobrepasa dichas especificaciones entonces deja de ser defecto y simplemente será una discontinuidad.

2.3 Clasificación de las discontinuidades

Las discontinuidades pueden clasificarse según el momento en se producen, así se tiene:

2.3.1 Discontinuidades Inherentes.- Son aquellas que se producen en el momento de producción inicial del material en estado de fusión, un ejemplo podría ser la inclusión de silicio o alúmina en una plancha de acero debido a una desoxidación del acero con silicio o aluminio.

2.3.2 Discontinuidades de proceso.- Estas se producen en procesos posteriores a la fabricación del material o en procesos de terminado o acabado, como por ejemplo las inclusiones de escoria o las mordeduras presentes en la soldadura.

2.3.3 Discontinuidades por servicio.- Se producen ya sea por situaciones ambientales o de carga cuando el material, componente o elemento se encuentran ya en situación de trabajo. Estas discontinuidades incluyen las roturas por fatiga, picaduras debido a la corrosión etc.

Según el lugar donde se producen pueden ser internas o superficiales.

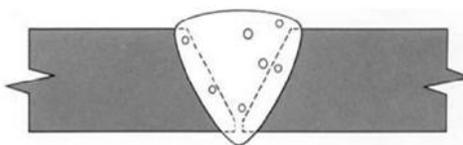
2.4 Estudio de las discontinuidades y defectos en los procesos de soldadura

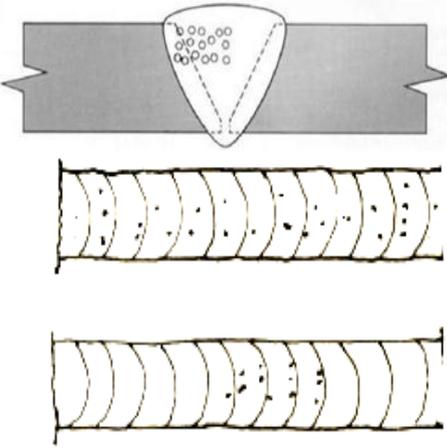
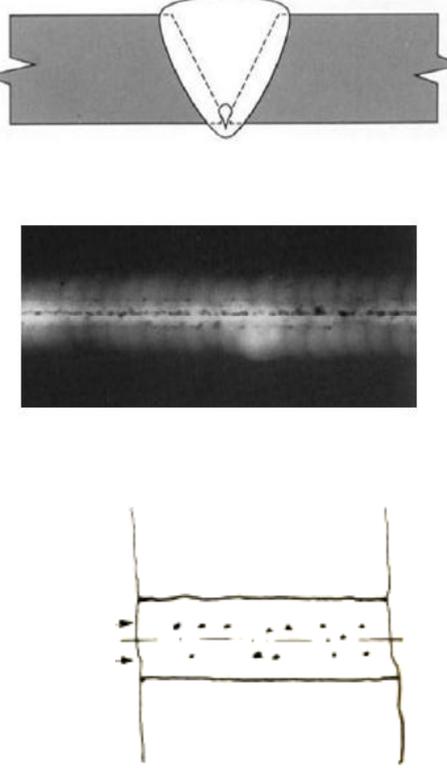
Cuando se realiza un cordón de soldadura, las discontinuidades pueden ser provocadas por diferentes factores tales como el voltaje, intensidad de corriente, humedad, posición de la soldadura, etc., obteniendo así diferentes formas de alteraciones en el cordón pudiendo ser estas aceptadas o rechazadas según lo determinen las normas correspondientes.

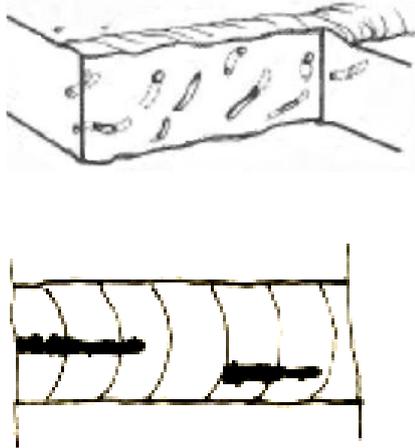
2.4.1 Porosidades

Las porosidades son discontinuidades que se presentan en el cordón de soldadura en el momento de la solidificación del metal depositado y debido a la formación de burbujas de gas que se introducen en el mismo. Suelen tener forma esférica y en algunos casos son alargadas. A continuación en la tabla 2.1 se detallan los distintos tipos de porosidades que se pueden representar con las respectivas causas que lo producen.

Tabla 2.1 Tipos de porosidades que se pueden representar en soldaduras por arco eléctrico, MIG, MAG

TIPO	CAUSA	FIGURA
Porosidad esférica	<ul style="list-style-type: none">- Inestabilidad del arco.- Oxidación de las partes.- Utilización de un electrodo húmedo.- Variación en la relación voltaje-amperaje velocidad, si es el caso de soldadura automática.	

<p>Nido de poros</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad excesiva en el revestimiento del electrodo. - Presencia de algún agente oxidante, incluso el mismo óxido generalmente presente en el bisel. 	
<p>Porosidad alineada</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mala preparación de la junta en la soldadura automática de alta velocidad (inadecuada separación de los biseles). - Mala regulación de las variables con respecto al tipo de fundente que se usa en procesos automáticos. - Radiográficamente se observa círculos alineados, negros, que pueden ir decreciendo o permanecer de igual diámetro. 	

<p>Porosidad alargada o vermicular</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se produce al enfriarse el material, a medida que una burbuja de gas está tratando de escapar. - Su presencia es más visible en aceros especiales como los inoxidables. - Su forma es alargada, de color gris y generalmente terminado en círculo. 	
---	--	--

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue

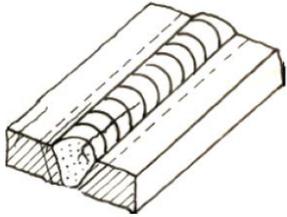
[http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

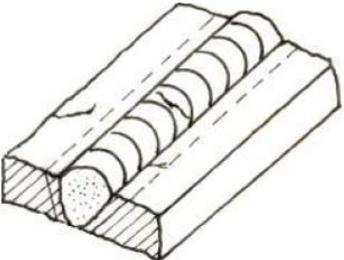
2.4.2 Fisuras

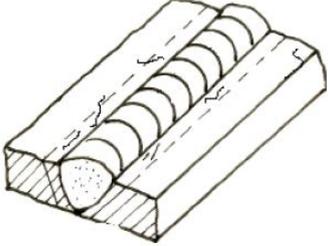
Las fisuras en las soldaduras se producen debido a la presencia de tensiones locales que en algún punto son superiores a la carga de ruptura del material.

Cuando las grietas o fisuras se producen durante o como resultado de la soldadura, la deformación aparente es pequeña. A continuación, en la tabla 2.2, se detallan los tipos de fisuras que se pueden presentar.

Tabla 2.2 Fisuras que se pueden presentar en las soldaduras

TIPO	CAUSA	FIGURA
<p>Fisuras longitudinales</p> <ul style="list-style-type: none"> a. De solidificación b. De licuación (inter-granular) 	<ul style="list-style-type: none"> - Enfriamiento brusco de la soldadura. - Falta de precalentamiento. - Soldadura de partes de 	

	<p>grandes espesores.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La fisuración en frío longitudinal es menos frecuente que la transversal. 	
<p>Fisuras transversales</p> <p>a. En Caliente</p> <p>b. En Frío</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen en aceros duros. - Material base con alto o bajo contenido de carbono. - Presencia de impurezas en el metal base. - Alta velocidad de enfriamiento. - Alto contenido de hidrogeno en la zona fundida. - Radiográficamente se presenta como una línea fina muy negra y recortada, de poca ondulación y transversal al cordón soldado. 	
<p>Fisuras de interrupción o arranque</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen en forma de estrella cambios de temperatura el momento de la soldadura. - Interrupción del 	

	<p>proceso de soldadura.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cambio brusco de temperatura del material 	
<p>Fisuras alrededor del cordón</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material base duro. - Material base de gran espesor - Falta de precalentamiento de material base - Liberación de hidrogeno en la soldadura. 	

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue

[http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.4.3 Falta de fusión

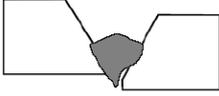
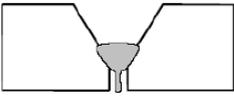
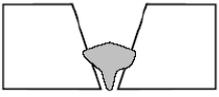
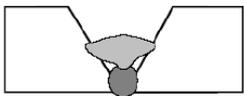
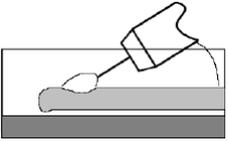
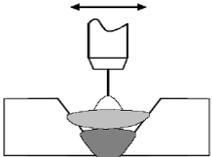
Este defecto se produce cuando no se ha llegado a fundir todo el metal base (es el metal a soldarse, tubos, ángulos, etc) en la raíz y falta metal de aportación (es el metal adicional que por fusión de adhiere al metal base) en la misma. El origen más frecuente es el disponer de un bisel inadecuado para el proceso de soldadura utilizado. En la tabla 2.3, se observa la falta de fusiones más comunes.

Entre las principales causas se puede encontrar:

- ❖ Baja intensidad de corriente lo que provoca deficiente aportación de calor del arco.
- ❖ Arco excesivamente largo.
- ❖ Excesiva velocidad de soldadura en la primera pasada.
- ❖ Excesiva altura del talón.

- ❖ Deficiente separación entre talones.
- ❖ Ángulo de bisel excesivamente agudo.
- ❖ Orientación de la antorcha inadecuada.

Tabla 2.3 Falta de fusión en las soldaduras

TIPO	CAUSA	FIGURA
Falta de fusión	- Junta mal alineada.	
	- Abertura de raíz muy pequeña.	
	- Ángulo de junta muy pequeño.	
	- Ángulo de junta muy abierto.	
	- Falta de fusión en el traslape del cordón.	
	- Antorcha muy inclinada	
	- Velocidad de avance y tasa de deposición altas	

Fuente: <http://solysol.com.es/data/documents/SoldaduraMIGMAG.pdf>

2.4.4 Exceso de penetración

Se producen por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biselos, los cuales son distribuidos en esas áreas. Este exceso de penetración produce una chorreadura interna de material la que puede retener escoria en su interior. Como se observa en la figura 2.1.

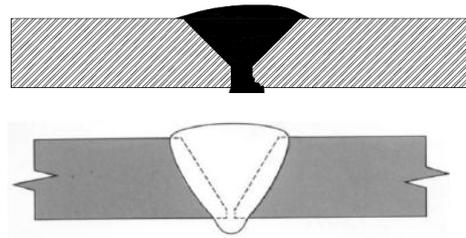


Figura 2.1 Exceso de penetración

Fuente: [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.5 Concavidades

Son discontinuidades conocidas también como sopladuras o carencia de material.

2.5.1 Pueden ser internas o externas

2.5.1.1 Concavidad externa o falta de relleno

Es una soldadura que tiene una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el cordón.

La figura 2.2 muestra una imagen radiográfica con una densidad de soldadura más oscura que la densidad de las piezas base, la cual se extiende a través del ancho completo de la imagen.

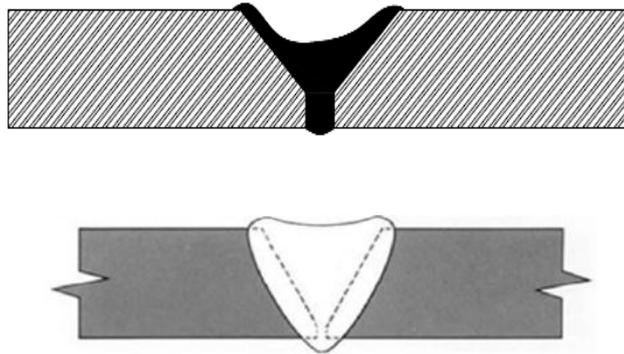


Figura 2.2 Concavidad externa

Fuente: [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.5.1.2 Concavidad interna

Se produce en la primera pasada del cordón de soldadura, el cual al enfriarse disminuye su espesor hasta ser menor que el de metal base, lo que genera un insuficiente refuerzo interno, como se indica en la figura 2.3.

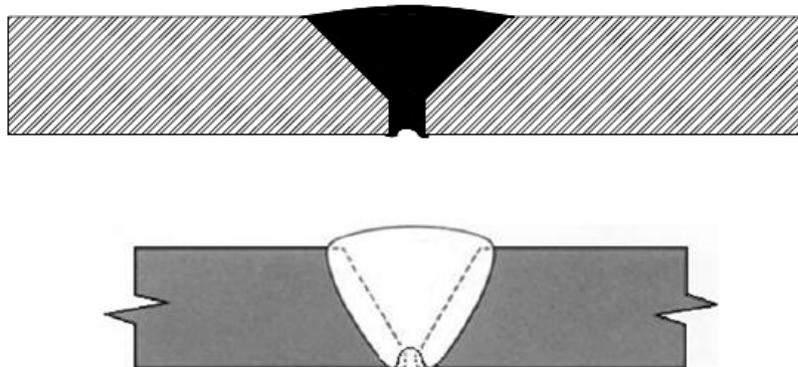


Figura 2.3 Concavidad Interna.

Fuente: [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.5.1.3 Socavaduras o mordeduras de bordes

Las mordeduras son concavidades que se forman junto al cordón de soldadura y que disminuyen la resistencia del material en esa área.

Las mordeduras pueden ser provocadas por muchas causas, como la mala calibración de los parámetros de soldadura, empleo de electrodos húmedos, alta velocidad de deposición, posiciones con arco largo o voltaje alto, soldadura con posición sobre cabeza, o mala posición de la antorcha figura 2.4.

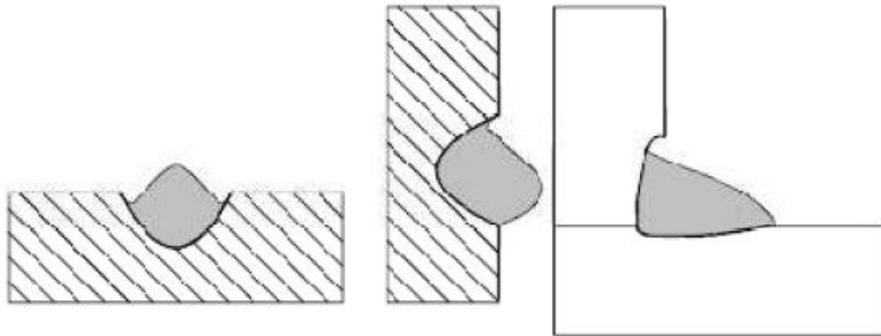


Figura 2.4 Mordeduras en la soldadura

Fuente:http://cengagesites.com/academic/assets/sites/3618_bower_weldbk2_ch03_1pp.pdf

2.5.1.4 Quemado

Es el resultado de la penetración excesiva, la cual provoca que el material de aporte penetre dentro de la soldadura soplandose.

Se puede producir por trabajo con corrientes elevadas, velocidades de avance lentas, manejo incorrecto de electrodo, y demás factores que generan un calor excesivo de la soldadura, llegando a producir incluso una destrucción completa de los biseles, como se aprecia en la figura 2.5.

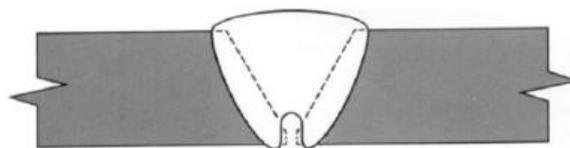


Figura 2.5 Quemado de soldadura

Fuente: [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.5.1.5 Salpicaduras

Las salpicaduras, son gotas de material fundido que no ingresan al charco de soldadura sino, que se solidifican en el contorno del cordón.

Las salpicaduras afectan a la apariencia de la soldadura y en caso de que el material este recubierto con pintura anticorrosiva, la deterioran.

Este efecto puede ser producido por una mala selección de electrodo, de los parámetros o la posición de la antorcha.

La calibración de los parámetros de soldadura también es muy importante para evitar las salpicaduras, pues el arco cortocircuito, genera mayor chisporroteo, razón por la cual se lo debe evitar y sustituir por el arco por pulsos. Una pequeña longitud libre del electrodo y una posición adecuada de la boquilla, también permitirán disminuir este efecto.

2.5.1.6 Inclusiones de escoria

Las inclusiones de escoria son los óxidos y otros sólidos que se encuentran en el interior de las soldaduras ya sean en forma alargada o globular.

Durante la deposición del metal de aporte y la posterior solidificación del metal, se producen reacciones químicas entre el metal fundido y los componentes del revestimiento del electrodo o con la escoria producida. Produciendo escoria en la superficie del cordón de soldadura como se aprecia en la figura 2.6.

Muchos de estos compuestos son no metálicos y muy poco solubles en el metal fundido, debido a la diferencia de densidades, estas inclusiones tienden a subir a la superficie del metal.

Las causas que pueden originar inclusiones de escoria son:

- ❖ Un bisel en “V” muy agudo y poco accesible.
- ❖ Socavaciones entre cordones.
- ❖ Cordones muy convexos.
- ❖ Falta de limpieza entre pasadas.
- ❖ Posición de soldadura.

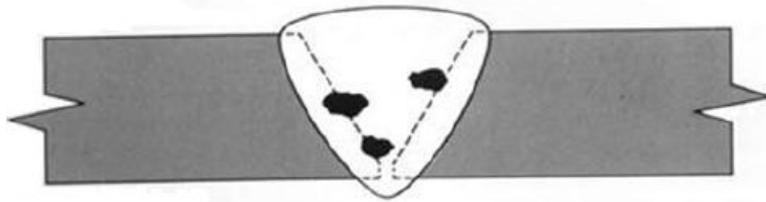


Figura 2.6 Escorias en el cordón de soldadura

Fuente: [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.5.1.7 Falta de continuidad del cordón

Se originan al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo ver figura 2.7

Su severidad es muy variable ya que, en los casos más severos, pueden considerarse auténticas faltas de fusión transversales, en tanto que en otras ocasiones, son simplemente surcos normales al eje del cordón.

Su aspecto radiográfico es el de una línea oscura oblicua, relativamente nítida.

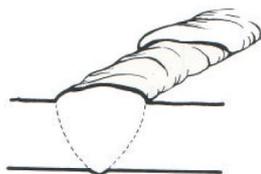


Figura 2.7 Falta de continuidad en el cordón

Fuente: [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)

2.6 Erosiones y huellas

Son un grupo de defectos que tienen un origen mecánico de erosión, deformación o arranque de material. Pueden dividirse en:

2.6.1 Exceso de rebajado

Producido durante el mecanizado, amolado excesivo del cordón, en consecuencia este queda ligeramente cóncavo.

La apariencia radiográfica se muestra como áreas ligeramente más oscuras que el campo adyacente, contornos difusos, difíciles de percibir y que siguen la trayectoria del cordón

2.6.2 Huellas de amolado ⁴

Surcos en la superficie del metal vacío del cordón, marcados por la muela abrasiva, procedimientos inadecuados.

Radiográficamente aparecen como sombras ligeramente oscuras, rectilíneas y paralelas.

2.6.3 Huellas de mecanizado ⁴

Erosiones producidas por herramientas que preparan la soldadura o por un imperfecto mecanizado de la misma.

En la radiografía aparecen como líneas ligeramente oscuras, dibujadas nítidamente y paralelas.

⁴ Miguel Villacres 2009

2.6.4 Martillazos, golpes en general

Son deformaciones locales producidas por choques de objetos contra el metal base o contra el cordón.

Radiográficamente los martillazos se señalan como arcos ligeramente oscuros, con un borde bien marcado, más denso, a partir del cual se difumina la mancha; granetazos como puntos, a manera de poros oscuros, etc.

2.6.5 Restos de electrodos

Cuando se suelda con equipos automáticos en atmósfera inerte y electrodo continuo, pueden quedar, al efectuar el cordón de penetración, los restos de alambre electrodo que sobresalen, a veces, varios centímetros de la base de la unión soldada.

En la radiografía, aparecen unos palitos de alambre claros que parten del eje del cordón.

También pueden aparecer restos de electrodos que han sido abandonados.

Por ejemplo, del interior de una tubería. En este caso sólo es un material superpuesto, fácilmente eliminado por no ser solidario con la unión.

2.7 Clasificación de los ensayos no destructivos ⁵

Los END son la aplicación práctica del conocimiento, para la detección y evaluación de discontinuidades y fallas de los materiales, pero también se puede llegar a estudiar la composición y las variaciones mismas de la estructura de los materiales usados.

⁵ http://www.csn.es/download/2008_Tercero_A_21.pdf

La clasificación más correcta se basa en los métodos de inspección por END que se asignan en cada caso, atendiendo a las características del componente a examinar (materiales, geometría, etc.), y a los objetivos que se pretenda cumplir, bien por los requisitos de calidad exigidos, o bien, por la defectología que se pretenda detectar (defecto postulado). Se agrupan en:

2.7.1 Visuales: El examen visual es la observación directa o indirecta de las superficies accesibles de soldaduras, materiales base, componentes o sistemas. Sólo se examina la porción más externa en busca de anomalías, condiciones superficiales, cambios en las características físicas u otras indicaciones que revelen el estado de la superficie de la parte examinada.

Por tanto, no se pueden sacar conclusiones de lo que ocurre internamente.

Sin embargo esta técnica, junto con la experiencia adquirida y el conocimiento general de materiales, puede llevar a requerir inspecciones adicionales que proporcionen más información sobre el estado real del componente.

2.7.2 Superficiales: Los exámenes superficiales son aquellos métodos que pueden proporcionar información no solo del estado de la superficie inspeccionada, sino en algunos casos alcanza una cierta profundidad por debajo de ella. Los métodos más extendidos como superficiales son los líquidos penetrantes y las partículas magnéticas.

2.7.3 Volumétricos: Los exámenes volumétricos son los que pueden proporcionar información sobre el espesor completo de la unión de soldadura que se examina. Los métodos utilizados como tales son el examen radiográfico y el examen ultrasónico. Dentro de este grupo también se podría incluir el método de examen por corrientes inducidas, al menos en algunas aplicaciones, como es el caso de la inspección de los tubos de los generadores de vapor, calderas y cambiadores de calor, que debido a su pequeño espesor permite examinar el volumen completo. Sin embargo, si se utiliza en el examen de otro tipo de probetas de mayor espesor.

Los END pueden ser agrupados en función del campo de energía o medio de prueba utilizada de la siguiente manera:

a) Métodos basados en la aplicación de Radiaciones Penetrantes

- Radiografía (Rayos X) – Xerografía
- Gammagrafía (Rayos Gamma) – Neurografía

b) Métodos basados en vibraciones mecánicas

- Ultrasonido
- Emisión acústica
- Análisis de vibraciones

c) Métodos basados en electricidad y magnetismo

- Partículas magnetizables
- Corrientes parásitas de Eddy
- Ensayos Eléctricos
- Magnetoscopia

d) Métodos Ópticos

- Examen visual (lentes, espejos, endoscopios)
- Transmisión de imágenes
- Réplicas

e) Métodos basados en energía térmica

- Termografía (lápices térmicos)
- Métodos infrarrojos

f) Métodos basados en transporte de materia

- Líquidos penetrantes
- Exudación de gases
- Partículas filtradas

g) Métodos basados en energía mecánica

- Dureza mecánica (resistencia)
- Rugosimetría
- Extensómetros eléctricos (medidores de deformación)
- Lacas frágiles
- Fotoelasticidad

Por su facilidad e idoneidad en la aplicación de este tema, se estudiarán ensayos no destructivos que puedan evaluar la calidad de la soldadura de elementos estructurales de acero, tales END son: Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Partículas magnéticas, y la aplicación o utilización de la Lámpara Ultravioleta.

2.8 Inspección Visual⁶

La inspección visual fue definitivamente el primer método no destructivo empleado por el hombre. Actualmente la inspección visual es el más importante procedimiento de prueba para la detección y evaluación de defectos. Se han desarrollado una gran cantidad de técnicas de investigación óptica avanzada para este propósito.

Para este ensayo, se utiliza instrumentos sencillos como galgas de medición, iluminación artificial, flexómetro, lentes de aumento, etc.

En la figura 2.8 se observa los instrumentos más utilizados en el método de inspección visual.

⁶ <http://sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>



Figura 2.8 Instrumentos utilizados en inspección visual

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

2.8.1 Técnicas de inspección visual

Existen dos formas para efectuar una inspección visual de un componente: visión directa y visión remota.

2.8.1.1 Inspección visual directa: Es aquella que se realiza sobre un objeto o superficie a una distancia accesible a los ojos del inspector sin necesidad de medios de aproximación.

Existen dos parámetros importantes a considerar, la distancia máxima a la que debe colocarse el observador y el ángulo de visión.

El uso de medios auxiliares en el examen visual directo es permitido por ASME cuando se realizan inspecciones del tipo VT-1 y VT-3. Dichos medios pueden ser lupas, espejos, lámparas, calibres, etc.

2.8.1.2 Inspección visual remota: Es la técnica que se utiliza cuando, por razones de inaccesibilidad de diversa índole (encontrarse sumergida, radiación, inaccesibilidad física, etc.), no es posible la observación directa del objeto o la superficie a examen. En este caso se utilizan medios auxiliares más complejos, dispositivos electrónicos u ópticos, que hacen más difícil la evaluación de las indicaciones.

Los medios auxiliares que se suelen utilizar en esta técnica son telescopios, prismáticos, endoscopios, fibroscopios, cámaras de TV. La norma para esta modalidad exige que la resolución del examen mediante medios remotos sea, al menos, equivalente a la que se obtendría por un examen visual directo. En este caso, para garantizar la correcta resolución, el código ASME requiere la verificación de los equipos.

2.9 Medios auxiliares de inspección

Los más utilizados en las inspecciones visuales son:

2.9.1 Espejos.- Normalmente constan de una parte que actúa como tal que va unida a un mango el cual puede ser rígido o flexible, para adoptar diferentes configuraciones según sea requerido en la inspección.

2.9.2 Lentes de aumento. Son lentes convergentes que permiten observar un objeto con más detalle que a simple vista. El efecto conseguido es poder colocar el objeto de observación a una distancia menor que el “punto próximo” (definido como la mínima distancia a la que se puede colocar el dicho objeto para poderlo apreciar con el máximo detalle). De esa forma se consigue ver con un ángulo mayor, y por tanto con más detalle. Figura 2.9.



Figura 2.9 Magnificador 50X

Fuente: http://tpmequipos.com/298480_Cuenta-Hilos.html

2.9.3 Cámaras de televisión. Son el principal medio auxiliar para inspección visual remota en áreas de difícil acceso. Los tipos de cámara de TV más utilizados son la de tubo o “vidicón”, que normalmente proporciona imágenes en blanco y negro, y la de captador de imagen, que proporciona imágenes en color.

Entre ambos tipos de cámaras existen diferencias, las cuales en algún caso ofrece a una técnica más ventajas, caso de la de tipo CCD, en el que su menor tamaño permite el examen visual en configuraciones y accesos muy pequeños. Además, existen otras ventajas de esta técnica, como que el CCD tiene más resistencia a las quemaduras producidas en la imagen y, también, a los golpes y a las vibraciones, más alta sensibilidad a los niveles bajos de luz y una mayor vida operativa.

Por otro lado, en ambos casos existen unos parámetros a tener en cuenta para la resolución de los sistemas, es el caso del ennegrecimiento de las lentes convencionales en ambientes radiactivos, que se solventa usando lentes de cuarzo no oscurecientes. Otro parámetro que afecta a la capacidad de visión del sistema es la iluminación. Por último, es muy importante tener en cuenta la resolución del equipo de TV o de grabación utilizado. Hoy en día, se están utilizando medios digitales que permiten su visualización en pantallas de ordenador cuya resolución es más elevada que las TV convencionales, ver figura 2.10.



Figura 2.10 Cámara CCD

Fuente:

<http://sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>

2.9.4 Fibroscopios. Son los medios auxiliares idóneos para exámenes remotos en áreas de difícil acceso. Su uso se da en tubos de pequeño diámetro, válvulas, turbinas, cambiadores de calor, etc.

Se suelen componer de un tubo rígido o flexible, que aloja un cable de fibra óptica (material compuesto de filamentos de vidrio de alta calidad obtenidos por procesos de trefilado, con un diámetro entre 0.1 y 0.01 mm, con una gran resistencia a la tracción y flexibilidad, y cuya principal propiedad es conducir la luz independientemente de la forma que tome la fibra).

En el extremo del tubo se fija una porta lámparas con una bombilla halógena, que ilumina el área de inspección. En la figura 2.11 se detalla gráficamente el funcionamiento del fibroscopio.

La inspección con fibroscopios puede hacerse bien mirando directamente a la zona a inspeccionar, o bien acoplando al dispositivo una cámara fotográfica o de vídeo. Independientemente del procedimiento, se suele incorporar un sistema de enfoque regulable a base de lentes.

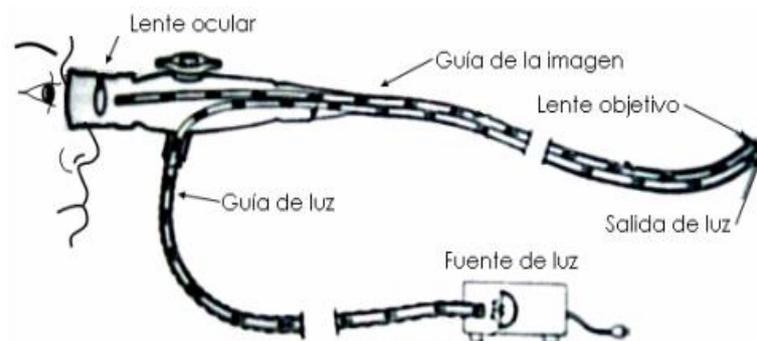


Figura 2.11 Funcionamiento del Fibroscopio

Fuente:

<http://sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>

2.9.5 Equipos de registro. Los datos de los VT se pueden registrar con cámaras fotográficas o mediante el uso de equipos de grabación analógicos o digitales.

Actualmente estos dispositivos vienen con cámaras digitales incorporadas. Ver figura 2.12.



Figura 2.12 Equipos de registro digital

Fuente:<http://sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>

2.10 Tipos de exámenes visuales

Los cuatro tipos de examen visual que determina el código ASME V/T-910 son:

1. Tipo VT-1. Se realizarán para determinar el estado general del componente.
2. Tipo VT-2. Se realizarán para determinar y localizar la evidencia de fugas en los componentes que retienen presión.
3. Tipo VT-3. Se realizarán para determinar el estado mecánico y estructural de los componentes y sus soportes.

4. Tipo VT-4. Se realizará para determinar el estado de operabilidad de los componentes o dispositivos (actualmente se acepta que este grupo quede englobado dentro del VT-3).

2.11 Procesos de examen visual

2.11.1 Examen visual VT-1

Se realizará este tipo de inspección para determinar el estado del componente, parte o superficie incluyendo la detección de grietas, desgaste, corrosión, erosión o cualquier daño físico de las superficies objeto del examen.

Para esta categoría de examen se pueden usar espejos que mejoren el ángulo de visión. También se pueden sustituirlos exámenes directos por medios auxiliares como telescopios, fibras ópticas, cámaras, lupas, etc. siempre que los mismos tengan una resolución equivalente a la obtenida por examen directo.

2.11.2 Examen visual VT-2

Este procedimiento se aplicará durante la ejecución de pruebas de presión funcionales o de sistemas, para localizar indicaciones de fugas en los componentes que retienen presión, o fugas anormales en los componentes con sistemas recolectores de fugas.

2.11.3 Examen visual VT-3

Se realizará un examen VT-3 para determinar el estado general mecánico y estructural de los componentes y sus soportes, incluyendo detección de partes sueltas, productos de corrosión anormal, desgastes, erosión, corrosión y pérdida de integridad de las conexiones soldadas y atornilladas. En esta inspección se aplicará, si es pertinente, la medición de huelgos, detección de desplazamientos y asentamientos, conexiones entre miembros estructurales portantes de carga, etc. En soportes e interiores de componentes, se puede realizar una inspección visual

remota, al objeto de determinar la integridad estructural, siempre que la resolución alcanzada por la técnica sea, al menos, equivalente a la de una inspección visual directa.

2.11.4 Examen visual VT-4

Este examen se realizará para la determinación del estado de operabilidad de componentes o dispositivos como amortiguadores hidráulicos o mecánicos, soportes de bombas, bombas, válvulas y soportes colgantes de carga constante o variable. El objeto del análisis es confirmar la adecuación funcional, verificación del montaje o libertad de marcha. Este examen puede requerir, eventualmente, desmontaje de componentes y/o pruebas de operabilidad.

2.12 Líquidos penetrantes ⁷

El fundamento del examen es poner en contacto un líquido penetrante con la superficie a inspeccionar, para que éste se introduzca por capilaridad en los defectos abiertos en la misma. Posteriormente se limpia el sobrante de penetrante y lo que está alojado en las discontinuidades o grietas se hace salir a la superficie por medio de un medio revelador, que actúa como un papel secante. El penetrante que impregna al revelador, al ser de color o fluorescencia, destacará claramente sobre éste, observándose de esa manera el defecto.

La finalidad del ensayo por líquidos penetrantes (PT) es la detección de defectos que afloran a la superficie como grietas, porosidad, labios abiertos, pliegues, defectos laminares, etc.

El ensayo se puede realizar sobre cualquier material no poroso, si bien en materiales ferromagnéticos es más conveniente realizar ensayo por partículas magnéticas (MT), ya que de ese modo se pueden obtener datos sobre grietas rellenas de óxido o defectos no abiertos a la superficie, pero cercana a ella (sub-

⁷ http://www.csn.es/download/2008_Tercero_A_21.pdf

superficiales). En el caso de materiales porosos la aplicación de PT no es apropiada, ya que los poros pueden enmascarar verdaderas indicaciones.

2.12.1 Fundamento del método ⁸

Al depositar una gota de líquido sobre la superficie tendremos un punto en el cual se pueden considerar aplicadas tres fuerzas debidas a la tensión superficial; una corresponde a la interface sólido-aire (σ_s), otra a la interface liquido-aire (σ_e), y la tercera a la interface líquido-sólido (σ_{es}), como se observa en la figura 2.13.

Si la gota no se extiende en la superficie existirá un equilibrio en las tres fuerzas y por lo tanto.

$$\sigma_s = \sigma_{es} + \sigma_e \cos \theta \quad (2.1)$$

El líquido en la superficie cuando $\sigma_s > \sigma_{es}$ para mantener el equilibrio $\cos \theta$ debe ser mayor que cero, es decir que el ángulo θ que forma la interface líquido-aire con la interface líquido-sólido debe ser menor que 90° . En caso contrario, si el líquido no moja la superficie θ será mayor que 90° .

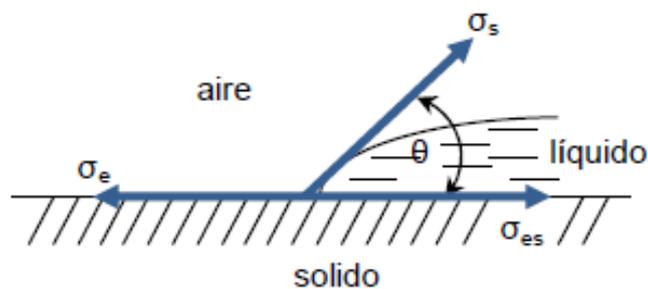


Figura 2.13 Ángulo de contacto entre superficie y líquido

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

⁸ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

El valor de σ_{es} no solo dependerá del líquido y del sólido en contacto sino también del estado superficial del sólido pudiendo además ser variado o disminuido mediante el agregado de aditivos al líquido.

La penetrabilidad de un líquido se puede calcular a partir de la tensión superficial y su viscosidad mediante la siguiente ecuación:

$$CP = \sqrt{\frac{\sigma}{2\eta}} \quad (2.2)$$

En donde:

CP = coeficiente de penetración

σ = tensión superficial

η = viscosidad

Una buena penetración se consigue con un líquido de elevada tensión superficial, pequeño ángulo de contacto (menor a 90°) y baja viscosidad.

2.13 Clasificación de los líquidos penetrantes

De acuerdo a la norma ASTM E-165, se clasifican como se indica en la siguiente tabla 2.4.

Tabla 2.4 Clasificación de los líquidos penetrantes según ASTM E-165

MÉTODO	TIPO	PROCESO	PIGMENTO	REMOCIÓN DEL PENETRANTE
A	1	A1	Fluorescente	Lavable con agua
	2	A2	Fluorescente	Post – emulsificable
	3	A3	Fluorescente	Removible con solvente
	1	B1	Coloreado	Lavable con agua

B	2	B2	Coloreado	Post – emulsificable
	3	B3	Coloreado	Removible con solvente

Fuente: <http://elmundodelacalidad.files.wordpress.com/2009/07/asme-sec-v-b-se-165-examen-con-liquidos-penetrantes.pdf>

- ❖ **Penetrantes lavables con agua:** Estos penetrantes son removidos de la superficie por un lavado directo con agua. La aplicación de una pulverización con agua forma una emulsión con el penetrante y esta es arrastrada por el flujo de agua. La temperatura del agua no debe exceder los 40° para evitar remover el penetrante de defectos abiertos y poco profundos.
- ❖ **Penetrantes removibles con solventes:** La remoción se la realiza mediante la aplicación de solvente sobre papel absorbente o trapos limpios, para la posterior limpieza de los componentes ensayados.

Los procesos de aplicación de los tintes penetrantes para los distintos métodos se indican en los siguientes diagramas.

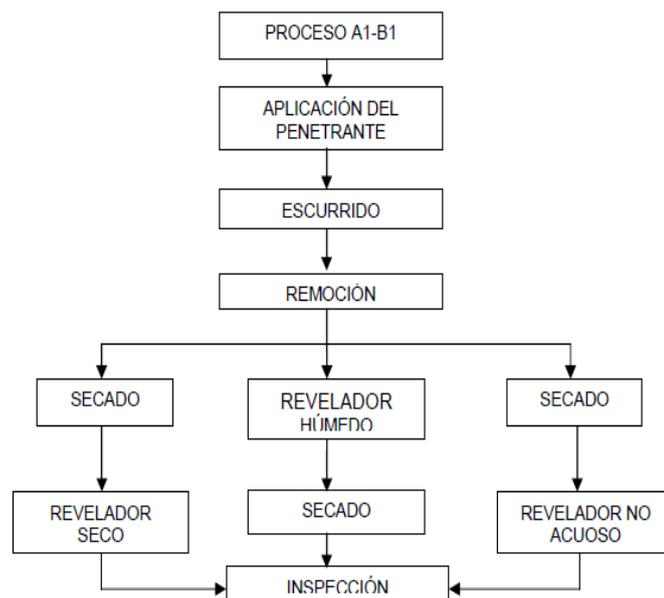


Diagrama 2.1 Método de aplicación de los procesos A1-B1

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

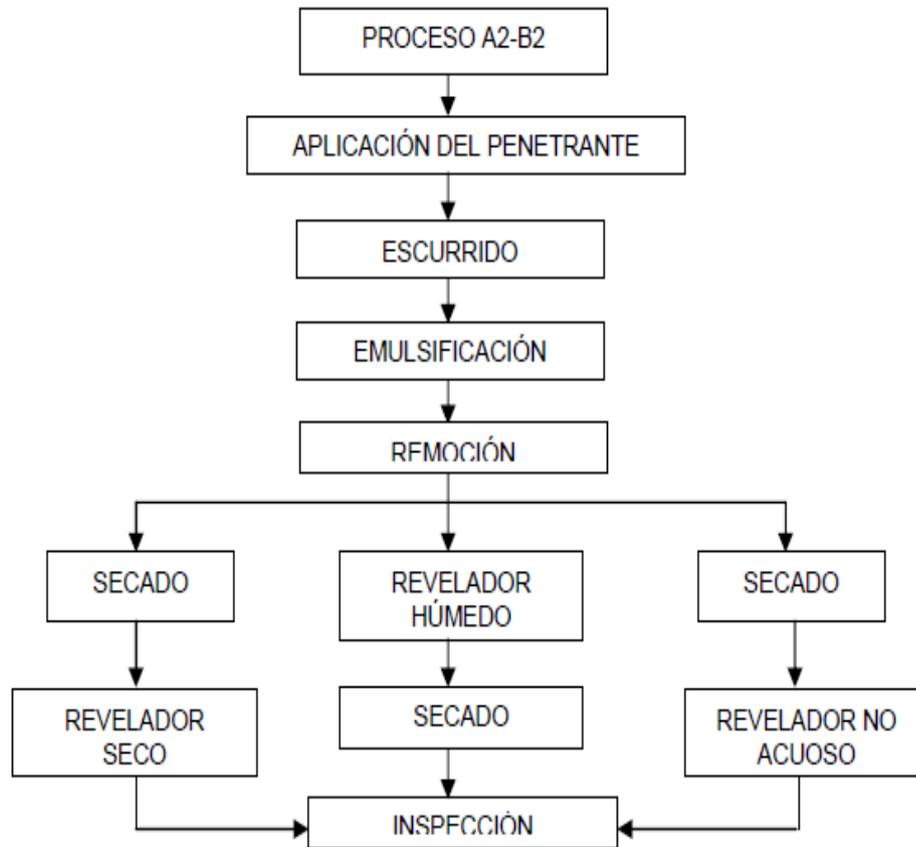


Diagrama 2.2 Método de aplicación de los procesos A2-B2
 Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>



Diagrama 2.3 Método de aplicación de los procesos A3-B3
 Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

2.14 Líquidos penetrantes

Para llevar a cabo la aplicación de líquidos penetrantes se debe seguir el siguiente orden que se detalla, en la figura 2.14.

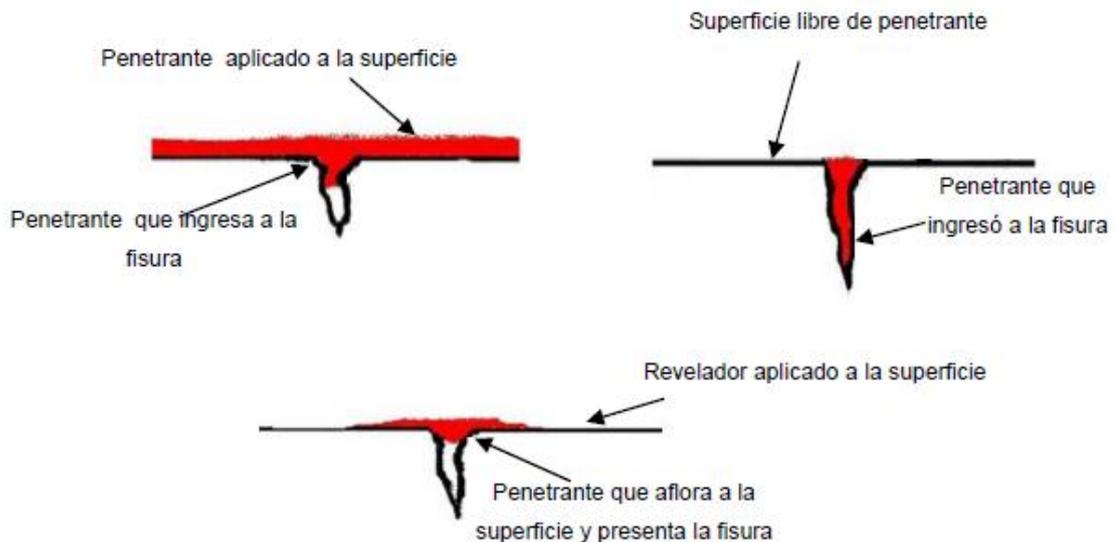


Figura 2.14 Procedimiento de inspección por líquidos penetrantes

Fuente: http://webkreator.com.mx/pipeisometric/liquidos_penetrantes.html

2.15 Métodos de aplicación del líquido penetrante⁹

Existen tres tipos de métodos de aplicación de líquidos, por inmersión, pulverización y mediante pinceles.

- ❖ Las probetas pequeñas o medianas pueden ser sumergidas en tanques contenedores de líquido penetrante durante el tiempo necesario para asegurar el mojado de toda la superficie expuesta; luego se deja escurrir en un bastidor apropiado durante el tiempo de penetración.
- ❖ El penetrante puede ser aplicado mediante pinceles o pulverizadores. Estas técnicas se aplican generalmente en probetas grandes que no pueden ser sumergidas en un tanque o bien en aquellos casos en que

⁹ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

solo se examina una zona determinada como sería el caso de examen de soldaduras en un tanque o una estructura.

2.16 Tipos de reveladores

Los reveladores absorben el líquido penetrante retenido en las fallas y lo concentra en la superficie permitiendo su visualización. En el caso de los líquidos de diferente color el revelador permite aumentar el contraste.

Los reveladores pueden ser secos, acuosos y no acuosos.

- ❖ **Revelado en seco:** El revelado consiste en polvo muy fino, que no se asienta, no se apelmaza. Su aplicación se la hace sumergiendo la probeta en el polvo, o bien espolvoreando el mismo sobre la superficie a examinar. El exceso se remueve golpeando ligeramente la probeta o bien soplando con aire seco a baja presión. Los reveladores secos pueden tener menor sensibilidad que los húmedos no acuosos, pero permiten una mejor definición de los defectos detectados. El revelador seco solo se usa para líquidos penetrantes fluorescentes.
- ❖ **Revelador acuoso:** El revelador acuoso es provisto en forma de polvo que se mezcla con agua para formar una suspensión. Debe ser cuidadosamente mezclado en las proporciones indicadas por el proveedor y controlado periódicamente para verificar que la concentración no haya variado.
- ❖ **Revelado húmedo no acuoso:** Consiste en un polvo suspendido en un líquido volátil y puede ser usado con todos los tipos de penetrantes y procesos. Este revelador tiene la más alta sensibilidad, se usa principalmente para el examen de zonas parciales. Antes de su aplicación el revelador debe ser agitado vigorosamente y pulverizado sobre la probeta. Se puede utilizar pulverizadores o aerosoles y se debe prestar

especial atención a que la probeta o zona a examinar este suficientemente fría antes de aplicar el revelador.

2.17 Penetrantes Fluorescentes ¹⁰

Los penetrantes fluorescentes se emplean para los mismos fines que los líquidos penetrantes, además que su método de aplicación es similar, siendo el único parámetro que se cambia el tipo de penetrante empleado.

La detección de discontinuidades se efectúa iluminando la superficie con una lámpara especial de mercurio productora de luz ultravioleta (luz negra), con un intervalo de longitudes de onda entre 365nm.

En los líquidos penetrantes fluorescentes se usan sustancias que absorben la radiación invisible de la luz negra, emitiendo al propio tiempo radiaciones de mayor longitud de onda en el rango visible del espectro, dando una luz brillante de color amarillo-verdoso.

Existe la posibilidad de usar otras sustancias cuya emisión de luz visible se produce en longitudes de onda correspondientes a otros colores (rojo o azulado por ejemplo) pero se prefiere el amarillo verdoso porque el ojo humano es más sensible a ese color.

Existen tres factores que determinan la perceptibilidad de una indicación cuando se aplican penetrantes fluorescentes, estos son:

- ❖ La cantidad de pigmento en la indicación.
- ❖ La respuesta del pigmento fluorescente en forma de luz visible emitida en relación con la energía suministrada como luz negra.
- ❖ La cantidad de energía actualmente suministrada al pigmento por la luz negra.

¹⁰ <http://www.dinatecnica.com.ar/>

2.18 Ventajas y desventajas de usar líquidos penetrantes

2.18.1 Ventajas de los líquidos penetrantes

- ❖ Se utilizan para una gran variedad de materiales.
- ❖ Su empleo es relativamente fácil.
- ❖ Son de bajo costo.
- ❖ La geometría de las probetas no representa un problema.
- ❖ Son portátiles; se pueden emplear en laboratorio y en campo.
- ❖ Son versátiles; se aplican varios tipos y métodos.
- ❖ Permiten cubrir un área muy grande en poco tiempo.
- ❖ La orientación, o forma de las grietas superficiales no representa problema alguno.
- ❖ Los inspectores se capacitan en poco tiempo.

2.18.2 Desventajas de los líquidos penetrantes

- ❖ Tienen graves limitaciones cuando se utilizan en materiales porosos.
- ❖ Se aplican sólo para defectos superficiales.
- ❖ La superficie de inspección debe estar limpia antes y después de la inspección.
- ❖ Se debe tener acceso directo a la superficie que se desea inspeccionar.
- ❖ Por si mismas, no proporcionan un registro permanente.
- ❖ En superficies rugosas se pueden obtener mediciones falsas.
- ❖ Los esfuerzos residuales afectan cerrando grietas e impidiendo la infiltración de los líquidos penetrantes.
- ❖ Debe haber compatibilidad química entre los líquidos y el material (corrosión).
- ❖ Requieren de un área de trabajo bien ventilada.
- ❖ Dependen de factores humanos, tanto para la aplicación misma, como su interpretación.
- ❖ Se debe cuidar la limpieza durante todo el proceso de preparación y aplicación para evitar contaminación de líquidos.

2.19 Partículas Magnéticas ^{11/12}

La inspección por Partículas Magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferro-magnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de polos cuando se genera o se induce un campo magnético en un material ferro-magnético; es decir, cuando la probeta presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, éste se deforma o produce polos.

Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

2.19.1 Clasificación de las técnicas de ensayo

a) Técnica del campo residual o remanente.

Se utiliza el campo magnético que retiene el material luego que se interrumpe la fuerza magnetizante.

Este magnetismo residual o remanente es siempre menor que el que existe cuando la corriente está fluyendo.

b) Técnica del campo continuo.

Consiste en efectuar la aplicación de las partículas magnéticas mientras se mantiene la fuerza magnetizante.

¹¹ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/PARTICULAS%20MAGNETICAS.pdf>

¹² http://www.csn.es/descarga/2008_Tercero_A_21.pdf

Por lo tanto un campo continuo es una técnica de ensayo más sensible que la del campo residual, o sea provee una mejor indicación.

Por ser mayor el flujo disperso y por ende la atracción sobre las partículas magnéticas.

2.20 Modos de magnetización

- ❖ Magnetización Circular.
- ❖ Magnetización Longitudinal.
- ❖ Magnetización por corrientes inducidas.
- ❖ Magnetización combinada circular y longitudinal.

Para el presente estudio se utilizará la magnetización longitudinal con ayuda de un Yugo Electromagnético.

❖ Magnetización Longitudinal

Se fundamenta en que la corriente eléctrica al pasar a través de una barra de cobre crea un campo magnético alrededor de la misma, sólo que se modifica la geometría de la barra formando una bobina con la misma.

La máxima intensidad del campo está sobre la superficie interior de la bobina, pues es donde hay mayor densidad de flujo.

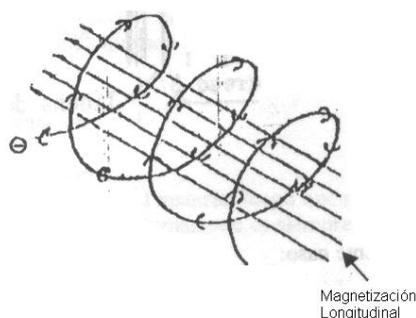


Figura 2.15 Magnetización Longitudinal

Fuente: <http://www.elmundodelaaviacion.com.ar/manuales-tecnicos/41-ensayos-no-destructivos/154-modos-de-magnetizacion>

2.20.1 Bobina estática

Generan un campo magnético con la dirección del eje de las espiras de la bobina.

En la figura 2.16 se aprecia una bobina de magnetización y una probeta circular en ensayo.

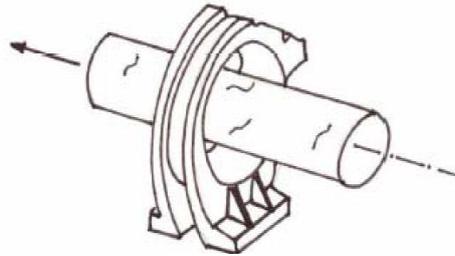


Figura 2.16 Esquema de una bobina de magnetización

Fuente:<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/PARTICULAS%20MAGNETICAS.pdf>

2.20.2 Yugos

Hay dos tipos básicos de yugos usados comúnmente para magnetizar imanes permanentes y electroimanes. Ambos se utilizan manualmente.

a) Yugos de imanes permanentes:

Se utilizan en aplicaciones donde no hay disponibles fuentes eléctricas o donde no está permitido arcos eléctricos (por ejemplo en atmósferas explosivas). Las limitaciones son:

- ❖ Grandes áreas de ciertas probetas no pueden ser magnetizadas con la intensidad suficiente para que las fisuras produzcan indicaciones.
- ❖ La densidad de flujo no puede ser variada.
- ❖ Si el imán es muy fuerte, es difícil despegarlo de la probeta.
- ❖ Las partículas se pueden adherir al imán con posibilidad de enmascarar indicaciones.

b) Yugos electromagnéticos

Consisten en un arrollamiento sobre un cuerpo en forma de “U” hecho de hierro blando (chapas al Silicio).

Sus bases pueden ser fijas o articuladas. Estas últimas sirven para variar la distancia de contacto y para adaptarse a diferentes geometrías de la probeta.

Una diferencia con los yugos permanentes es que los electroimanes pueden ser fácilmente encendidos o apagados lo que facilita separarlos de la probeta de ensayo.

El yugo puede estar diseñado para trabajar con C.C, C.A o ambas.

La densidad de flujo producida por C.C puede ser cambiada variando la intensidad de la corriente que fluye en la bobina; Cuando se trabaja con C.C, hay gran penetración del campo mientras que con C.A el campo magnético se concentra en la superficie de la probeta, dando muy buena sensibilidad para discontinuidades superficiales sobre una amplia zona.

En general, las discontinuidades a ser reveladas deberían estar entre los dos polos del yugo y orientadas perpendicularmente a la línea imaginaria que los conecta. Ver figura 2.17.

Se debe tener en cuenta que en la proximidad de los polos se producen escapes de campos magnéticos que producen una aglomeración excesiva de partículas.

Cuando se opera, la probeta de unión de soldadura, cierra el circuito del flujo magnético entre los polos producidos por el yugo (fuente del campo).

Los yugos que utilizan C.A para la magnetización tienen numerosas aplicaciones y pueden también utilizarse para desmagnetizar.

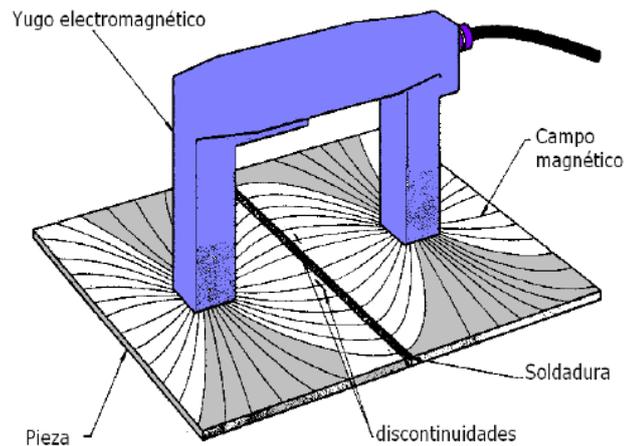


Figura 2.17 Yugo de patas articuladas

Fuente:

<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/PARTICULAS%20MAGNETICAS.pdf>

2.21 Aplicación de las partículas magnéticas

Las partículas magnéticas que, una vez magnetizada la probeta, han de ser aplicadas sobre su superficie para detectar los campos de fuga que se originan en las discontinuidades, pueden ser clasificadas, en primer lugar, teniendo en cuenta el medio que se utilice para su aplicación sobre la probeta: si el medio empleado es el aire, el método de aplicación se denomina "por vía seca", mientras que si se utiliza un líquido, se designará como "por vía húmeda", cualquiera que sea la naturaleza del líquido empleado para la dispersión de las partículas. Para favorecer su visibilidad y contraste, estas partículas podrán ser coloreadas e incluso fluorescentes.

2.21.1 Características y técnicas de aplicación

Las principales características que deben poseer son:

- ❖ Elevada permeabilidad (o sea usa ciclo de histéresis muy delgado).
- ❖ Tamaño y forma adecuada.
- ❖ Baja densidad.
- ❖ Elevada movilidad.

- ❖ Muy buena visibilidad o contraste.
- ❖ Inalterabilidad.

Comercialmente se presentan en dos variedades:

a) Para observar con Luz blanca.

- ❖ Grises.
- ❖ Rojas.
- ❖ Negras.
- ❖ Amarillas.
- ❖ Blancas.

b) Para observar con luz negra.

Para observar con luz negra de onda larga, las lámparas que se utilizan tienen un pico de radiación de 365 nm.

- ❖ Fluorescentes.
- ❖ Fluorescencia naranja.
- ❖ Fluorescencia amarillo-verdosa.

2.22 Propiedades magnéticas

La permeabilidad de las partículas empleadas en este método de ensayo, debe ser lo más alta posible. Cuanto mayor sea la permeabilidad más fácilmente capturarán las líneas de fuerza en los campos de fuga ocasionados por las discontinuidades que puedan estar presentes y, en su consecuencia, las indicaciones serán más claras y se producirán más rápidamente.

2.23 Visibilidad y contraste

Resulta evidente que estas dos propiedades, visibilidad y contraste, son de mayor importancia ya que de nada serviría el que se formen indicaciones rápidas, y nítidas si después no fuesen claramente perceptibles sobre la coloración de fondo de la superficie de la probeta.

Es por ello, que se fabrican partículas coloreadas sin que la capa de colorante afecte, al menos en forma decisiva, a sus características magnéticas. En la actualidad es posible encontrar en el mercado partículas magnéticas grises, negras, blancas, amarillas o rojas, permitiendo esta gama de colores un contraste adecuado y suficiente sobre la casi totalidad de las superficies que han de ser observadas.

En determinadas ocasiones, sobre todo en trabajos de gran responsabilidad, se puede recurrir a cubrir la superficie de la probeta con una pintura adecuada. Sin embargo, no es frecuente el tener que recurrir a este artificio ya que existen partículas magnéticas fluorescentes cuyas indicaciones al poder ser observadas en cámara oscura con luz negra, proporcionan una visibilidad y un contraste que pueden estimarse como óptimos; Por último y, por cuanto a estas partículas magnéticas se refiere, se ha de tener en cuenta que magnéticamente las partículas fluorescentes son las menos sensibles, pero esta desventaja es solo aparente ya que se encuentra ampliamente compensada por el hecho de que es suficiente un pequeño número de partículas sobre la discontinuidad para conseguir su visualización.

Las partículas gruesas presentan cierta tendencia a alinearse formando agrupaciones en forma de cadena que se deforman por la acción de las fuerzas de arrastre del líquido, pudiendo dar lugar a falsas indicaciones. En este sentido, cabe decir que, generalmente, como límite superior para el tamaño de las partículas se suele tomar el de 40 a 60 micras, mientras que no suele fijarse límite inferior para su tamaño.

2.24 Las técnicas de aplicación

2.24.1 Técnica seca.- Es más sensible para la detección de discontinuidades sub-superficiales, se la utiliza para piezas grandes de difícil manipulación y es adecuada para la detección con equipos de magnetización portátiles.

Es sumamente importante para esta técnica, que la superficie a inspeccionar esté limpia y seca.

Las partículas magnéticas a utilizar en esta técnica pueden ser para observar con luz blanca o con luz "negra".

Seleccionando el grano de las partículas magnéticas se preestablece el umbral de detección. En la tabla 2.5 tenemos las ventajas y desventajas al aplicar el método por vía seca.

Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de método de MT por vía Seca

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none">- Permite localizar con facilidad discontinuidades sub- superficiales.- Fácil de utilizar en probetas grandes con equipo portátil a pie de obra.- Buena movilidad de las partículas.- Más cómodo y más limpio que el método húmedo.	<ul style="list-style-type: none">- Menos sensible que el método húmedo para discontinuidades muy pequeñas.- Difícil de aplicar en probetas de geometría irregular.- Más lento que el método húmedo.- Difícil de automatizar.

Fuente:<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/PARTICULAS%20MAGNETIC AS.pdf>

2.24.2 Técnica Húmeda.- Las partículas se aplican en suspensión en aceite liviano, kerosene, agua u otro líquido con punto de ignición no inferior a 60°C.

Las partículas magnéticas para preparar el baño suelen venir en forma de polvo, pasta o concentrados líquidos. Los concentrados para diluir en agua traen incorporados, o en su defecto el fabricante suministra por separado, aditivos para reducir la sedimentación de las partículas, agentes humectantes, anti-espumantes y agentes anti-oxidantes de acuerdo a las necesidades del proceso.

Estos concentrados a su vez poseen un emulsionante que impide la coagulación de las partículas, incluso cuando aceites o contaminantes grasos estén presentes en el baño hasta una determinada proporción en volumen, especificada por el fabricante del producto.

También se comercializa el baño preparado en forma de aerosol, en dos variantes:

- ❖ Partículas rojas.
- ❖ Partículas fluorescentes.

Esta técnica es más sensible para la detección de discontinuidades superficiales; es más utilizada para ensayar probetas pequeñas o ser aplicada en procesos de automatización.

En la tabla 2.6 tenemos las ventajas y desventajas al aplicar el método por vía húmeda.

Tabla 2.6 Ventajas y desventajas de método de MT por vía Húmeda

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Es el método más sencillo para grietas superficiales. - Cubre con facilidad probetas grandes o irregulares. - El método más rápido para el 	<ul style="list-style-type: none"> - No detecta normalmente discontinuidades Sub-superficiales profundidades mayores a 1 mm. - Cuando se usa kerosén, existe

<p>control de grandes series de uniones de soldaduras pequeñas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las partículas tienen buena movilidad en la suspensión líquida. - Es fácil controlar la concentración de las partículas en la suspensión. - Fácil de recoger el líquido sobrante. - Fácil de automatizar. 	<p>riesgo de inflamación al producirse chispas en contactos defectuosos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es necesario de un circuito de circulación y agitación de la suspensión. - A veces presenta el problema de la limpieza de la superficie de probetas para eliminar las partículas adheridas que pueden actuar como abrasivos. - Es preciso controlar periódicamente la concentración de la suspensión y mantenerla dentro de los límites de utilización.
--	--

Fuente:<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/PARTICULAS%20MAGNETIC AS.pdf>

2.25 Tipos de defectos detectables

Con el método de ensayo de partículas magnéticas se podrán detectar aquellas discontinuidades que por su localización, orientación y profundidad, tamaño, originan un flujo de fuga magnética. Este flujo magnético atraerá las partículas magnéticas, dando lugar a indicaciones.

Una indicación es una acumulación de partículas magnéticas que sirve como evidencia de la existencia de un campo de fuga y requiere de una interpretación para determinar su significado.

2.25.1 Efecto de la sobre magnetización

Es, quizá, la causa más frecuente de aparición de indicaciones falsas. Si el campo magnético es suficientemente intenso, puede dar lugar a acumulaciones de partículas en cambios de sección o en el extremo de probetas magnetizadas longitudinalmente. Las indicaciones en zonas con desacuerdos precisan de una interpretación muy cuidadosa, ya que por un lado, son realmente zonas propicias a la aparición de grietas y, por otro, su simple configuración geométrica da lugar a campos de fuga que pueden originar indicaciones falsas.

En estos casos se puede hacer una correcta interpretación de tales indicaciones falsas, ya que en iguales condiciones de magnetización, todas las probetas iguales darán indicaciones en el mismo sitio.

Las indicaciones siempre pueden relacionarse con características constructivas o geométricas de la probeta, que dan lugar a la aparición de campos de fuga originados por el flujo magnético en su recorrido a través del material.

Estas indicaciones rara vez presentan apariencia similar a las reales para un observador experimentado.

Este problema se resuelve, generalmente, disminuyendo la intensidad del campo magnético hasta la desaparición de las indicaciones falsas. En el caso de existir una discontinuidad o grieta, la constitución de las líneas de fuerza es suficiente para dar lugar a un campo de fuga y a la consiguiente formación de una indicación propia de la discontinuidad o grieta.

2.26 Ventajas y desventajas de usar partículas magnéticas

2.26.1 Ventajas de las partículas magnéticas

- ❖ Se aplica a la inspección de probetas con geometría compleja.
- ❖ La técnica es relativamente portátil y de bajo costo.

- ❖ Es un método rápido y sencillo.
- ❖ Requiere poca capacitación.
- ❖ Es un método muy sensible a los defectos superficiales, o de poca profundidad.
- ❖ Se adapta a probetas pequeñas o grandes.
- ❖ Las indicaciones se producen inmediata y directamente en la superficie de la probeta inspeccionada, indicando el tamaño de los defectos

2.26.2 Desventajas de las partículas magnéticas

- ❖ Está limitada a la inspección de materiales ferro-magnéticos.
- ❖ Se debe tener acceso directo al componente que se desea inspeccionar.
- ❖ La intensidad de corriente eléctrica es proporcional al tamaño de la probeta, por tanto, las inspecciones de probetas grandes utilizan elevada corriente.
- ❖ En ocasiones es necesario desmagnetizar las probetas después de una inspección.
- ❖ Está limitada a la inspección de defectos superficiales, o casi superficiales.
- ❖ La rugosidad superficial puede ser causa de problemas.
- ❖ Los acabados superficiales o recubrimientos deben ser removidos antes de la inspección.
- ❖ La técnica es sensible a la orientación relativa entre el defecto y el campo magnético.

2.27 Estudio de normas de referencia para END e inspección de soldaduras en estructuras metálicas

2.27.1 Código ASME V ¹³

El código contiene los requerimientos y los métodos para pruebas no destructivas, que son requerimientos de otras secciones del código ASME que hacen referencia a ASME V. Estos métodos de pruebas no destructivas son utilizados

¹³ <http://search.4shared.com/postDownload/2JIZTHUv/2010-ASME-Section-V.html>

para detectar discontinuidades superficiales o internas, en los materiales, soldaduras y partes o componentes fabricados.

Estos incluyen pruebas radiográficas, por ultrasonidos, por líquidos penetrantes, por partículas magnéticas, por corrientes de Eddy, por inspección visual y por emisiones acústicas.

Es decir, ASME V reglamenta exclusivamente a los métodos de END y sus parámetros, para que estos puedan, a su vez, evaluar las áreas de interés en la parte mecánica.

2.28 Recomendaciones de la norma para aplicación de las técnicas de inspección de soldaduras con los métodos líquidos penetrantes y partículas magnéticas

2.28.1 Líquidos Penetrantes

ASME V trata, en sus artículos 6 y 24 específicamente la inspección no destructiva por medio de líquidos penetrantes. Ver anexo B1

En forma similar a los métodos anteriores, ASME V como código de referencia, regula al método y sus estándares, para cuando otras secciones del código los evoquen.

Dentro del artículo 6, se describen los pasos necesarios en el procedimiento de inspección, como son: el procedimiento inicial y su revisión. Se describen los materiales a utilizarse en la inspección, la no existencia de contaminantes y previene la alerta de ventilación para evacuar los vapores tóxicos del ambiente del personal.

Además indica los requerimientos de preparación de la superficie a inspeccionar, de la prueba, interpretación y evaluación.

El artículo 24 trata el uso de sulfuros en productos de petróleo, reglamentándolo en el uso como END de líquido penetrante. Ver anexo B2.

2.28.2 Partículas Magnéticas

ASME V trata, en sus artículos 7 y 25 específicamente la inspección no destructiva por medio de líquidos penetrantes. Ver anexo B3.

La inspección con partículas magnéticas puede ser usada para detectar fracturas o fisuras del material y otras discontinuidades cercanas a la superficie de materiales ferro-magnéticos.

Los tipos de discontinuidades que pueden ser detectadas por este método son grietas, mordeduras, costuras, rechupes, y laminaciones.

En principio, este método implica una magnetización del área a ser examinada, y la aplicación de partículas ferromagnéticas (el medio de inspección) a la superficie.

De la misma forma, esta sección del código, dentro del artículo 7, se describen los pasos necesarios en el procedimiento de inspección, como son: el procedimiento inicial y su revisión. Se describen los materiales a utilizarse en la inspección, la no existencia de contaminantes y previene la alerta de ventilación para evacuar los vapores tóxicos del ambiente del personal.

Además indica los requerimientos de preparación de la superficie a inspeccionar, de la prueba, interpretación y evaluación.

El artículo 25 trata sobre las técnicas a aplicarse en la inspección con partículas magnéticas. Ver anexo B4.

2.29 Estudio de Norma ANSI-AWS D1.1 ¹⁴

Este código contiene los requerimientos para fabricantes de planta y montaje de estructura de acero soldada. Cuando este código esté estipulado en documentos contractuales, el estricto apego a todos los artículos del código será requerido, excepto aquellos documentos del contrato que modifiquen expresamente o los excluya. Ver anexo B5.

Las secciones de este código son las siguientes:

1. Requerimientos generales. Contiene información básica del alcance y limitaciones del código y responsabilidades de las partes involucradas en la fabricación de estructuras de acero.

2. Diseño de juntas soldadas Contiene requerimientos para el diseño de juntas soldadas compuestas por elementos con secciones tubulares y no tubulares.

3. Precalificación. Contiene los WPS's precalificados a utilizar.¹⁵

4. Calificación. Contiene los requerimientos para la calificación de WPS's que no se encuentran en el punto anterior, como también los procedimientos para calificación del desempeño del personal de acuerdo a los procedimientos de este código.

5. Fabricación. Contiene requerimientos generales de fabricación en planta y montaje aplicables a estructura de acero soldada regida por este código, incluido los requerimientos de material metálico base, insumos de soldadura (consumibles), técnicas de soldadura, detalles de soldadura, preparación del material y ensamblaje, reparación de la soldadura, y otros requerimientos.

¹⁴ <http://es.scribd.com/doc/36900055/Norma-Soldadura-Aws-d1-1>

¹⁵ <http://www.emagister.com/manual/web/cursogratis/frame?idCentro=57953030052957564866666952674548&idCurso=1000317814>

6. Inspección. Contiene los criterios para la calificación y las responsabilidades del inspector, criterios de aceptación para soldadura de producción, y procedimientos estándar para inspección visual y END.

2.29.1 Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END

Para ensayos no destructivos se describen los criterios de aceptación para indicaciones en cada tipo de ensayos.

2.30 Estudio de Norma AWS D1.3. ¹⁶

Este código cubre la soldadura de arco de aceros estructurales, incluyendo los miembros conformados en frío (de aquí en adelante designados colectivamente hoja de acero) que sean menores o iguales a 3/16" en su espesor. (0.188" ó 4.8 mm.). Ver anexo B6.

2.30.1 Criterios de aceptación-rechazo descritos en la norma, aplicables a END. Inspección visual.

Una soldadura será aceptable por la inspección visual, si los criterios siguientes se resuelven:

- ❖ La soldadura no tendrá ninguna grieta
- ❖ La soldadura tendrá refuerzo mínimo de 1/32 pulg. (1 mm) para todo el surco y punto del arco.
- ❖ La profundidad de socavamiento no es un tema de la inspección y no necesita ser medida. Los quemones son inaceptables.
- ❖ La superficie del cordón debe ser plana o ligeramente convexa.
- ❖ Este código no contempla inspección de soldadura con END diferentes a inspección visual.

¹⁶ <http://es.scribd.com/doc/72172899/Codigo-Ansi-Aws-d1-3-Del-98-1>

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LOS MÉTODOS: TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÁMPARA DE LUZ ULTRAVIOLETA”

3.1 Elaboración de procedimiento de inspección TIPO ^{17/} ¹⁸

Un procedimiento de ensayo no destructivo es el método más adecuado para describir sistemáticamente las etapas y secuencia de ejecución del ensayo. El uso de un procedimiento escrito, es una garantía de que el ensayo va ejecutarse de la misma manera cada vez que éste sea realizado.

En el presente capítulo se desarrollan los procedimientos de inspección no destructiva aplicados a las soldaduras en estructura metálica, empleando los métodos de: partículas magnéticas y líquidos penetrantes. Estos procedimientos son utilizados en el trabajo experimental de diferentes juntas soldadas para verificar su validez y aplicación.

Es importante señalar que los procedimientos son desarrollados en base a las normas y criterios anteriormente mencionados.

¹⁷ <http://www.ychiformas.com/prueba2/index/ISO90012000.pdf>

¹⁸ <http://www.sistendca.com/documento.html>

3.2 Esquema general de un procedimiento escrito

Un procedimiento de inspección mediante el uso de los ensayos no destructivos contiene los siguientes puntos:

Tema

Se refiere al método de ensayo no destructivo utilizado, la técnica particular de inspección a emplearse en cierta probeta, material o cordón de soldadura.

Objetivos

Se refiere a los objetivos generales y particulares del procedimiento. Los generales se refieren al objetivo del ensayo. Mientras que los particulares se refiere a la técnica a utilizar, dimensiones y tipo de probeta a ensayar, etc.

Alcance

Define lo que el ensayo va a evaluar y sus limitantes, los materiales, las dimensiones, sitios de soldadura donde se realiza este procedimiento, etc.

Información General

En este punto se indica la información del cordón de soldadura a ensayar, como su proceso de soldadura, configuración, estado actual, dimensiones, identificación, etc. así como la extensión del ensayo a aplicarse, la cual puede ser parcial o total, y la sensibilidad deseada del método. También se debe añadir una definición del ensayo utilizado, así como su terminología.

Documentos de referencia

Se refiere a todos los documentos que apoyen al ensayo e inspección, los cuales pueden ser: normas, códigos, criterios o recomendaciones, utilizados para preparar el procedimiento de inspección.

Personal – Responsabilidades

En este punto se debe determinar la preparación del personal a operar y trabajar en el desarrollo del ensayo no destructivo, el mismo que debe tener su calificación y certificación correspondiente. Además se detalla las responsabilidades de cada uno.

Equipos y materiales

Se debe indicar todo el equipo y materiales a emplearse en el ensayo, como: instrumentos, accesorios, etc. Los cuales deben tener sus respectivas especificaciones del fabricante e identificaciones.

Procesos

Se debe mencionar la secuencia del ensayo y la técnica del mismo, en forma detallada, desde el inicio hasta el final del ensayo, de tal manera que se logren los objetivos planteados en este procedimiento.

Normas de aceptación rechazo

En este punto se mencionan todas las normas y criterios a emplearse para la evaluación de los resultados del ensayo, las cuales servirán para determinar si las indicaciones encontradas deben considerarse como defectos y de esta manera poder dictaminar su aceptación o rechazo. Para este conjunto de procedimientos los códigos que dictaminen los criterios de aceptación son AWS D1.1. Ver anexo B5.

Informe

Toda información que se obtenga en el transcurso de la inspección debe ser registrada para ser entregada al solicitante del servicio. Este informe debe contener entre otros aspectos lo siguiente:

- ❖ Fecha y lugar de inspección.
- ❖ Identificación y referencias de la pieza.
- ❖ Técnica empleada.
- ❖ Equipos y materiales empleados.
- ❖ Resultados del ensayo.
- ❖ Firmas de responsabilidad

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección Visual - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página 1 de 10

3.3 Elaboración de procedimiento de Inspección Visual VT

Objetivo

- ❖ El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección visual en juntas soldadas de elementos estructurales.
- ❖ Este método permite detectar las discontinuidades superficiales en un cordón de soldadura, para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

Alcance

La inspección visual de soldadura en estructura metálica se realizará en todo tipo de cordones de soldadura accesibles que apliquen el código AWS D1.1., con la ayuda de accesorios como galgas, iluminación artificial, lentes de aumento, etc. Ver anexo B7.

Información General

El fundamento del método de Inspección Visual se encuentra explicado principalmente en códigos de la AWS, ASME V art 9. Ver anexo B8.

El estado superficial del cordón de soldadura a inspeccionar es como se presenta luego de ejecutar un procedimiento calificado de soldadura realizado por un soldador calificado.

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección	Fecha: 03-01-2013
	Visual - Estructuras	Página 2 de 10

Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V Art. 9.
- AWS D1.1.

Personal

El personal que evalúa inspección visual de las juntas soldadas, así como el supervisor del ensayo debe ser calificado nivel II o III en Inspección Visual. Mientras que la persona que realice el ensayo y registre los datos debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior. De acuerdo a la norma ANSI/ASNT CP-189.¹⁹ Ver anexo B9.

Equipos y materiales

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- ❖ Flexómetro.
- ❖ Galga de medición de soldadura.
- ❖ Luz artificial (linternas/lámparas).
- ❖ Cámara fotográfica.

¹⁹ http://www.isotec.com.co/portal2/uploads/media/Requisitos_para_certificacion_Niveles_I_y_II.pdf

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección	Fecha: 03-01-2013
	Visual - Estructuras	Página 3 de 10

- ❖ Elementos de protección.
- ❖ Criterios de aceptación – rechazo del código aplicado.
- ❖ Guía/plano de referencia de nomenclatura de soldadura.

Proceso

- ❖ El primer paso es limpiar la superficie a inspeccionar, debido a que la superficie de los cordones de soldadura de la junta tienden a ser rugosas.

Esta limpieza se realiza con cepillo de alambre, incluso para longitudes mayores se utiliza cepillo circular de alambre suave accionado por esmeriladoras, a más de disolventes si el cordón contuviere grasas o pinturas que impidan la inspección. El objetivo de esta limpieza es mejorar la visibilidad de defectos presentes en la soldadura.

- ❖ A continuación se verifica características geométricas de la soldadura respecto al diseño de la junta, como ancho del cordón, presentación, perfil de la soldadura que debe ser plano o ligeramente convexo y nunca cóncavo, dentro de las posibilidades comprobar la correcta penetración y, también es usual comprobar la existencia de los cordones de soldadura, que en general, los operarios suelen olvidar. Ver figura 3.0. y 3.1

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección	Fecha: 03-01-2013
	Visual - Estructuras	Página 4 de 10

1. Reconocimiento del diseño de unión de soldadura

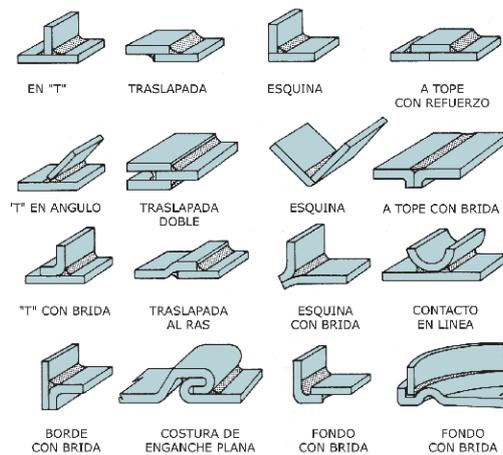


Figura 3.1 Diseño de unión de soldadura

Fuente: <http://dc128.4shared.com/doc/45EbcGS6/preview.html>

2. Identificación del tipo de soldadura

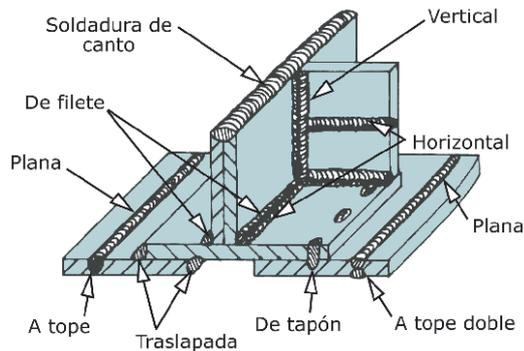


Figura 3.2 Tipo de soldadura

Fuente: <http://dc128.4shared.com/doc/45EbcGS6/preview.html>

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección Visual - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página 5 de 10

- ❖ Se marcan las zonas problemáticas, midiendo su longitud con una regla, calibrador u otro instrumento de medición e indicando, según el criterio del inspector de soldadura las zonas a reforzar o a reparar con la simbología propuesta en el informe – registro.
- ❖ En la figura 3.3 se detallan los defectos en el cordón de soldadura más comunes.

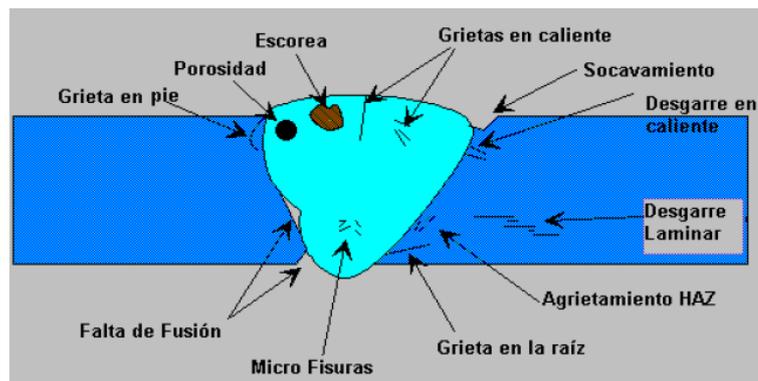
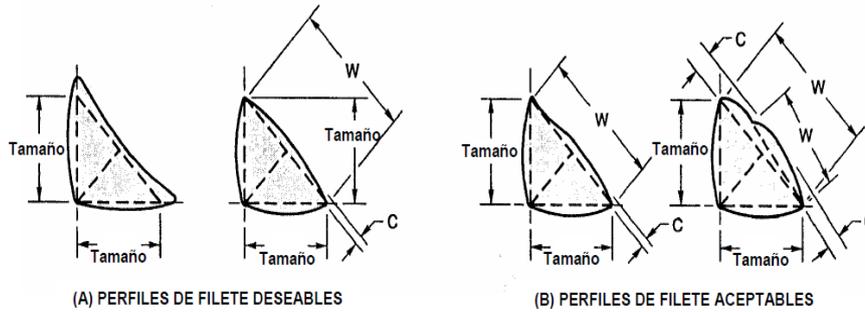


Figura 3.3 Zonas de soldadura que presentan problemas
 Fuente: <http://dc128.4shared.com/doc/45EbcGS6/preview.html>

- ❖ El inspector verifica los perfiles de soldadura si son aceptables o no, de acuerdo a las observaciones que se realizan como se observa en las figuras 3.4, 3.5, 3.6 respectivamente.

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección	Fecha: 03-01-2013
	Visual - Estructuras	Página 6 de 10



Nota: la convexidad de una soldadura C, o la superficie individual del cordón con dimensión W, no deberán exceder el valor de la siguiente tabla:

Ancho de la cara de la soldadura o superficie individual del cordón, W	Convexidad máxima, C
W menor o igual a 8 mm	2 mm
W mayor de 8 mm a W menor de 25 mm	3 mm
W igual o mayor de 25 mm	5 mm

Figura 3.4 Perfiles de filete deseables y aceptables

Fuente: <http://www.aws.org/mwf/attachments/28/54428/AWSD1.12002TABLA6.1.p>
df

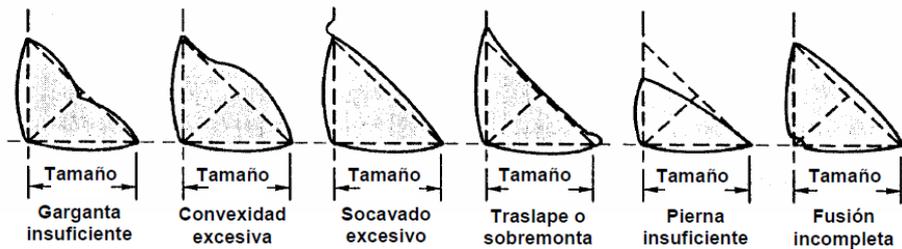
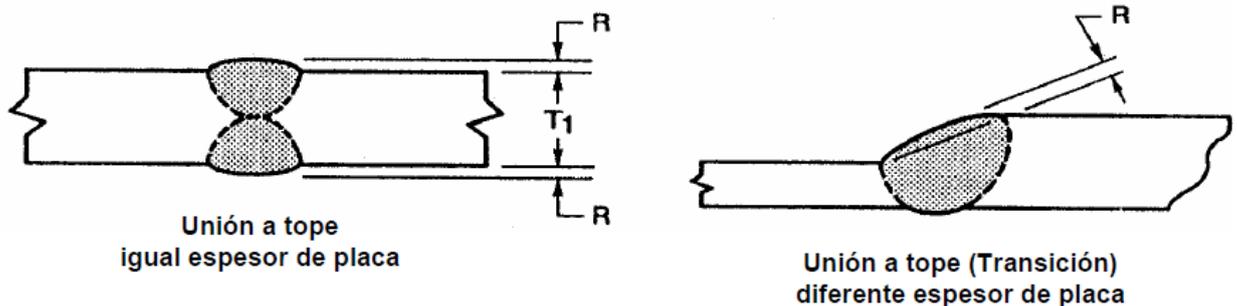


Figura 3.5 Perfiles de filete inaceptables

Fuente: <http://www.aws.org/mwf/attachments/28/54428/AWSD1.12002TABLA6.1.p>
df

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección	Fecha: 03-01-2013
	Visual - Estructuras	Página 7 de 10



Nota: el refuerzo R, no deberá de exceder de 3 mm

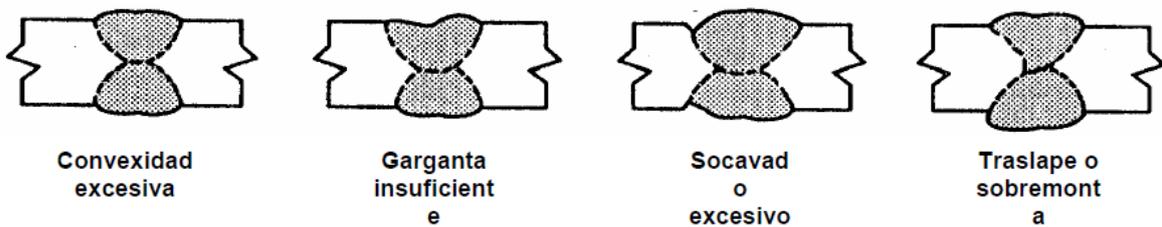


Figura 3.6 Perfil aceptable en soldadura de ranura en unión a tope

Fuente: <http://www.aws.org/mwf/attachments/28/54428/AWSD1.12002TABLA6.1.pdf>

❖ Finalmente se registran estos datos en el informe de inspección visual, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones.

- a. **Prohibición de Grietas.** Cualquier grieta es inaceptable independientemente de su tamaño y localización.
- b. **Fusión Metal Base / Soldadura.** Deberá existir fusión completa entre capas adyacentes de metal de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección Visual - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página 8 de 10

- c. **Sección Transversal del Cráter.** Todos los cráteres deberán ser rellenados hasta proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de soldaduras de filete intermitentes más allá de su longitud efectiva.
- d. **Tiempo de Inspección.** La inspección visual de soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. El criterio de aceptabilidad para aceros, deberá estar basado sobre una inspección visual realizada en no menos de 48 hrs. Después de la terminación de la soldadura.
- e. **Socavado.** Para materiales menores de 25 mm de espesor, el socavado no deberá exceder de 1 mm, excepto que un máximo de 2 mm es permitido para una longitud acumulada de 50 mm en cualquier longitud de 300 mm. Para materiales iguales o mayores que 25 mm de espesor, el socavado no deberá de exceder de 2 mm en cualquier longitud de soldadura.

En miembros primarios, el socavado no será mayor que 0.25 mm de profundidad cuando la soldadura es transversal a los esfuerzos de tensión bajo cualquier condición de diseño de carga. Para todos los otros casos, el socavado no será mayor que 1 mm.

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección Visual - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página 9 de 10

- f. **Porosidad.** Soldaduras de ranura en uniones de penetración completa transversales a la dirección de los esfuerzos de tensión calculados, no deberán tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de ranura y filete, la suma de porosidad tubular visible de un diámetro de 1 mm o mayor, no deberá exceder de 10 mm en cualquier longitud de soldadura de 25 mm y no deberá de exceder de 19 mm en cualquier longitud de soldadura de 300 mm.

La frecuencia de porosidad tubular en soldaduras de filete, no deberá de exceder de una en cada 100 mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá de exceder de 2.5 mm.

Normas de aceptación y rechazo

Las normas aplicables al método de Inspección Visual ASME V, respecto a la aplicación del método y ANSI-AWS D1.1. para los criterios de aceptación o rechazo. Ver anexo B8.

Informe

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el formato FORM-ENDVT-01. Este formato debe contener la siguiente información: datos generales, tales como estudiante que lo solicita, lugar, fecha, etc. Ver anexo C1

Identificación de la junta soldada, esquema, materiales, condiciones de trabajo y resultados. Este informe debe ser firmado por el supervisor del ensayo.

	ITSA	PR: ENDVT01
	Procedimiento escrito para Inspección Visual - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página 10 de 10

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

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 1 de 25

3.4 Elaboración de procedimiento de inspección con Líquidos Penetrantes PT

Objetivo

El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección mediante líquidos penetrantes de juntas soldadas de elementos en estructura metálica.

Alcance

Este método permite detectar las discontinuidades que se encuentren abiertas a la superficie en cordones de soldadura de estructura metálica que aplique el código AWS D1.1., en fases de construcción de planta y de montaje, tales como fisuras, poros, etc. Para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

El estado de la superficie de cordón de soldadura debe ser tal como se presenta luego de la aplicación del procedimiento pre-calificado de soldadura, libre de recubrimientos y escoria.

Información General

- ❖ El fundamento del método de líquidos penetrantes se encuentra en la información teórica de inspección por líquidos penetrantes como ASME V art 6. Ver anexo B1.
- ❖ Las superficies del cordón de soldadura estarán de acuerdo a los requerimientos de las normas de construcción AWS D1.1.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 2 de 25

- ❖ En este procedimiento emplea la técnica B3. Esta técnica utiliza los penetrantes coloreados lavables con solvente.

Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V art 6
- AWS D1.1.

Personal

El personal que evaluará las juntas soldadas a ensayar por líquidos penetrantes, así como supervisar el ensayo debe ser calificado nivel II o III, según la norma ANSI/ASNT CP-189. Mientras que la persona que realice el ensayo y registre datos debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior. ^{20/21}

Equipos y materiales

Todos los equipos utilizados en el método de líquidos penetrantes varían desde simples aerosoles hasta equipos semi-automatizados, automatizados.

A continuación se describen los equipos más comunes

²⁰ http://www.cinde.ca/courses/CGSB_Certification_Requirements.pdf

²¹ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 3 de 25

- ❖ **Líquidos:** al aplicarse la técnica B3, se emplearán solvente, líquido penetrante coloreado, revelador y limpiador, todos de la misma marca y de compatibilidad asegurada por el fabricante.
- ❖ **Accesorios:** se debe utilizar equipo para limpieza previa del cordón de soldadura y adicionalmente equipo y vestimenta industrial para realizar esta actividad tal como pantalla protectora, guantes, zapatos con punta de acero, overall de tela resistente.

Para la limpieza inicial se utilizará amoladoras portátiles y cepillos circulares de alambre suave. Para las limpiezas incluidas dentro del ensayo, se utilizará tela cruda de algodón 100%. Adicionalmente se utiliza una cámara fotográfica para registrar los resultados del ensayo.

- ❖ **Fuentes de luz ultravioleta:** En los procedimientos A1, A2, A3 mencionados en el capítulo 2, la visualización de discontinuidades debe realizarse bajo una iluminación de luz UV debido a que los productos fluorescentes de los líquidos penetrantes se visualizan con la máxima eficacia cuando son irradiados con una longitud de onda de 365nm.

El equipo de luz negra, comúnmente llamada luz de Wood, está constituido fundamentalmente de una lámpara a vapor de mercurio con un filtro de vidrio al plomo. En el anexo C4 se detallan los parámetros antes de encender la lámpara de luz UV.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 4 de 25

Dicho filtro cumple la misión de dejar pasar solo la radiación luminosa de una longitud de onda comprendida entre 320nm a 400nm, esta radiación es la más conveniente para activar el fenómeno de fluorescencia de los LP.

Razón por la cual fue de vital importancia implementar en el laboratorio la lámpara de rayos UV que tiene las siguientes características:²² Ver tabla 3.1.

Tabla 3.1. Lámpara de rayos UV MLK_35

MODELO	CARACTERISTICAS
 <p>MLK-35 versión estándar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Encendido previo calentamiento de cinco a diez minutos. • Funciona aún bajo luz solar directa • Rango de inspección de hasta 9,1 m • Intensidad 4800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Fuente: http://www.spectroline.com/pdf/2012_Industrial_Brochure_Spanish.pdf

- ❖ **Documentos:** Los criterios de Aceptación – Rechazo del código aplicado, y las guías o planos que contengan la información de la identificación de la soldadura y su nomenclatura de ubicación.

²² http://www.spectroline.com/pdf/2012_Industrial_Brochure_Spanish.pdf

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 5 de 25

3.4.1 Proceso aplicación LP.

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes es como se menciona a continuación:

- ❖ Limpieza de la superficie a inspeccionar, ésta se realiza con cepillo de alambre o con un cepillo circular de alambre suave y una amoladora portátil, figura 3.7, para que el cordón de soldadura quede libre de pintura, escoria, óxido, concreto, etc.



Figura 3.7 Cepillos para la limpieza del cordón de soldadura

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/46326337/Catalogo-Cepillos-Alambre-Pferd>

- ❖ Limpieza con solvente, figura 3.8, ésta se realiza con el paño de tela empapado de materiales solventes (cleaner, alcohol, tiñer, etc), retirando así residuos que no han sido retirados.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 6 de 25

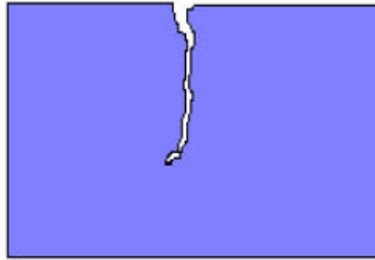


Figura 3.8 Limpieza inicial

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

- ❖ Aplicación del penetrante, ver figura 3.9, se aplica sobre la superficie del cordón de soldadura, el tiempo de permanencia del penetrante es de cinco minutos como mínimo, dependiendo de lo indicado por el fabricante.

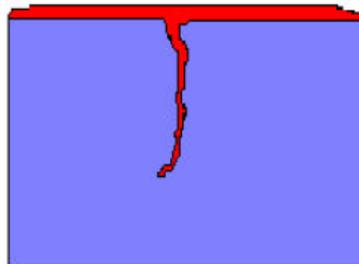


Figura 3.9 Aplicación del penetrante

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

Es necesario obtener una película muy fina y uniforme en toda la superficie de interés, luego dejar transcurrir un tiempo prudente de penetración dependiendo de la temperatura de ensayo (16 °C y 52°C), tipo de discontinuidad y material.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 7 de 25

En las tablas 3.2, 3.3, 3.4, se describen los tiempos de penetración para diferentes tipos de penetrantes, según el tipo de defecto.

Tabla 3.2 Tiempos de penetración para líquidos coloreados

TIPO DE DEFECTO	TIEMPO DE PENETRACIÓN (min)
Fisuras de Tratamiento Térmico	2
Fisuras de Amolado	10
Fisuras de Fatiga	10
En Plásticos	1-5
En Cerámicos	1-5
En Herramientas de Corte	1-10
En Forjados	20
En Soldaduras	10-20
Solapado en Frio de Fundiciones en Matriz	10-20
Porosidades en Cerámicos	3-10
En Fundiciones en Matriz	3-10
Solapados en Forja	20

Fuente: <http://www.sistendca.com/documento.html>

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 8 de 25

Tabla 3.2 Tiempos de penetración para líquidos penetrantes fluorescentes lavables con agua

MATERIAL	CONFORMADO	TIPO DE DEFECTO	TIEMPO DE PENETRACIÓN (min)
Aluminio	Fundiciones	Porosidad	5-15
		Cerrado en frío	5-15
	Forjados	Solapados	30
	Soldaduras	Falta de Unión	30
		Porosidad	30
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	30
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	15
		Cerrado en frío	15
	Forjados	Solapados	30
	Soldaduras	Falta de Unión	30
		Porosidad	30
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	30
Aceros Inoxidables	Fundiciones	Porosidad	30
		Cerrado en frío	30
	Forjados	Solapados	60
	Soldaduras	Falta de Unión	60
		Porosidad	60
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	30
Latón y Bronce	Fundiciones	Porosidad	10
		Cerrado en frío	10
	Forjados	Solapados	30

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 9 de 25

	Partes Bronceadas	Falta de Unión	15
		Porosidad	15
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	30
Plásticos	Todos los conformados	Fisuras	5-30
Vidrios	Todos los conformados	Fisuras	5-30
Herramientas con puntas de carburo	-----	Falta de Unión	30
		Porosidad	30
		Fisuras de Amolado	10
Tinta y aleación para altas temperaturas	-----	Todas	Uso solamente con penetrantes post emulsificables

Fuente: <http://www.sistendca.com/documento.html>

Tabla 3.3 Tiempos de penetración para líquidos penetrantes fluorescentes post emulsificables

MATERIAL	CONFORMADO	TIPO DE DEFECTO	TIEMPO DE PENETRACIÓN (min)
Aluminio	Fundiciones	Porosidad	5
		Cerrado en frío	5
	Forjados	Solapados	10
	Soldaduras	Falta de Unión	5
		Porosidad	5

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 10 de 25

	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	10
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	5
		Cerrado en frío	5
	Forjados	Solapados	10
	Soldaduras	Falta de Unión	10
		Porosidad	10
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	10
Aceros Inoxidables	Fundiciones	Porosidad	10
		Cerrado en frío	10
	Forjados	Solapados	10
	Soldaduras	Falta de Unión	20
		Porosidad	20
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	20
Latón y Bronce	Fundiciones	Porosidad	5
		Cerrado en frío	5
	Forjados	Solapados	10
	Partes Bronceadas	Falta de Unión	10
		Porosidad	10
	Todos los conformados	Fisuras de Fatiga	10
Plásticos	Todos los conformados	Fisuras	2

	ITSA	PR: ENDPT01
		Fecha: 03-01-2013
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Página: 11 de 25

Vidrios	Todos los conformados	Fisuras	5
Herramientas con puntas de carburo	-----	Falta de Unión	5
		Porosidad	5
		Fisuras de Amolado	20
Tinta y aleación para altas temperaturas	-----	Todas	20-30

Fuente: <http://www.sistendca.com/documento.html>

- ❖ Remoción del exceso de penetrante, figura 3.9, esto se realiza con el paño de tela seco y su objetivo es retirar la mayor cantidad de penetrante en exceso posible.



Figura 3.9 Remoción del exceso de penetrante

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 12 de 25

Se entiende como exceso de LP todo líquido que no se ha introducido en los defectos y que permanece sobrante sobre la probeta a inspeccionar.

Esta etapa es crítica y de su correcta realización dependerá el resultado final de la inspección. Si no se ha eliminado perfectamente el LP de la superficie, en la inspección final aparecerán manchas de penetrante que producirán indicaciones falsas e incluso, el enmascaramiento de los defectos y discontinuidades. El resultado de esta etapa debe ser evaluado bajo luz blanca para penetrantes coloreados y bajo luz ultravioleta para fluorescentes.

Según la técnica empleada, dicha remoción puede hacerse de tres maneras:

1. Lavado con agua.
 2. Aplicando emulsionante y posterior lavado con agua.
 3. Mediante solventes.
- ❖ Limpieza del penetrante, esto se realiza con el paño de tela humedecido moderadamente con limpiador para remover el penetrante de la superficie de la soldadura, sin remover el penetrante del interior de las posibles discontinuidades tales como fisuras, poros o mordeduras.
 - ❖ Revelado, se aplica el revelador sobre el cordón de soldadura a una distancia de 25 a 30 cm. con una capa fina regulada de acuerdo a la experiencia previa del inspector. Ver figura 3.10.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 13 de 25

El revelado es la operación que hace visible la posición del defecto y debe ser efectuada tan pronto como sea posible, luego de la remoción del LP y el secado del material.



Figura 3.10 Aplicación del revelador

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

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. La aplicación del revelador puede ser en forma seca o en forma acuosa pulverizada en una suspensión alcohólica, que una vez evaporada, deja una fina capa de polvo.

El tiempo de revelado depende del tipo de penetración del revelador y del defecto o discontinuidad, pero deberá permitirse además el tiempo suficiente para que se formen las indicaciones.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 14 de 25

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

Durante la preparación de una probeta a inspeccionar y después de aplicar reveladores húmedos, es necesario secar dicha probeta o eliminar el remanente antes de usar un revelador seco.

- ❖ Se deja actuar el revelador por cinco minutos y se realiza la inspección visual para obtener una indicación adecuada y observar el penetrante que ha ingresado en el interior de la discontinuidad. Figura 3.11.

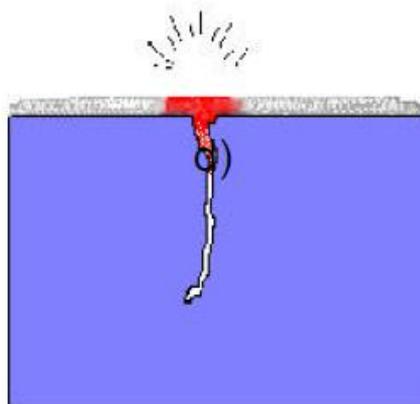


Figura 3.11 Inspección

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

- ❖ Marcado de las discontinuidades: Se marca y se registra las discontinuidades obtenidas con la simbología sugerida en el informe-registro y la nomenclatura de soldadura.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 15 de 25

3.4.2 Proceso aplicación LP fluorescentes.

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes fluorescentes es como se menciona a continuación:

- ❖ Limpieza de la superficie a inspeccionar, ésta se realiza con cepillo de alambre o con un cepillo circular de alambre suave y una amoladora portátil para que el cordón de soldadura quede libre de pintura, escoria, óxido, concreto, etc.
- ❖ Limpieza con solvente, ésta se realiza con el paño de tela empapado de limpiador (cleaner, alcohol, tñer, etc), retirando así residuos que no han sido retirados.
- ❖ Aplicación del penetrante, se aplica sobre la superficie del cordón de soldadura, figura 3.12, y el tiempo de permanencia del penetrante es de cinco minutos como mínimo, dependiendo de lo indicado por el fabricante. El líquido entra en las discontinuidades de la probeta, gracias al fenómeno de capilaridad.²³

²³ <http://www.dinatecnica.com.ar/archivos/1276627619Hoja%20de%20Datos%20-%20L%C3%ADquidos%20penetrantes%20fluorescentes%20removibles%20con%20agua.pdf>

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 16 de 25

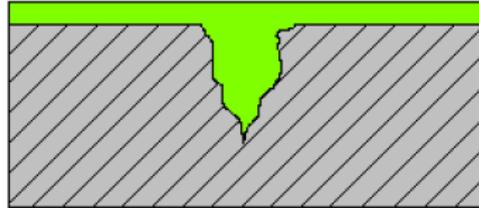


Figura 3.12 Aplicación del penetrante fluorescente

Fuente:

<http://www.dinatecnica.com.ar/archivos/1276627619Hoja%20de%20Datos%20-%20L%C3%ADquidos%20penetrantes%20fluorescentes%20removibles%20con%20agua.pdf>

- ❖ Luego de 10 o 15 minutos, remover el penetrante de la superficie con agua sin presión o bien, con un trapo humedecido. Figura 3.13.

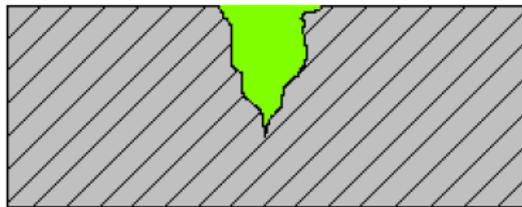


Figura 3.13 Remoción del penetrante

Fuente:

<http://www.dinatecnica.com.ar/archivos/1276627619Hoja%20de%20Datos%20-%20L%C3%ADquidos%20penetrantes%20fluorescentes%20removibles%20con%20agua.pdf>

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 17 de 25

- ❖ Aplicar el revelador para que absorba el penetrante que entró en las discontinuidades, formando indicaciones fluorescentes, sobre el fondo blanco. Ver figura 3.14

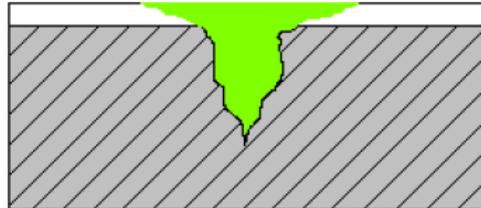


Figura 3.14 Aplicación del revelador

Fuente:

<http://www.dinatecnica.com.ar/archivos/1276627619Hoja%20de%20Datos%20-%20L%C3%ADquidos%20penetrantes%20fluorescentes%20removibles%20con%20agua.pdf>

- ❖ Utilizar una luz UV (ultravioleta) de, por lo menos, 1000 microwatts/cm² para iluminar la superficie sobre la que se realizó el ensayo para poder ver las indicaciones que nos da la lámpara.
1. La lámpara tiene que encenderse para calentamiento al menos 5 minutos antes de comenzar la observación.
 2. Se mide la intensidad de luz se realiza usando un radiómetro el cual es un instrumento que traduce la energía luminosa en una corriente eléctrica. Algunos radiómetros tienen la capacidad de medir tanto la luz blanca y UV, mientras que otros requieren un sensor separado para cada medición.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 18 de 25

La zona de detección siempre debe mantenerse limpia y libre de materiales que pueden reducir la luz que llega al sensor.



Figura 3.15 Medidor de intensidad de luz negra

Fuente: Laboratorio END del bloque 42

3. Para la observación de las probetas la norma ASTM E 165-02 establece que la intensidad luminosa que tiene que dar la lámpara es como mínimo 1000 microwatts/cm² y a 30 cm. sobre la pieza inspeccionada en tanto a la intensidad de luz visible debe ser máxima de 20 lux en la misma.

4. La longitud de onda tiene que ser de 365 nm (nanómetros), que equivale a 3650 Å (Angstrom) que corresponde a la zona del espectro electromagnético situada entre la luz violeta y la ultravioleta, que se conoce como luz negra. Ver figura 3.16.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 19 de 25

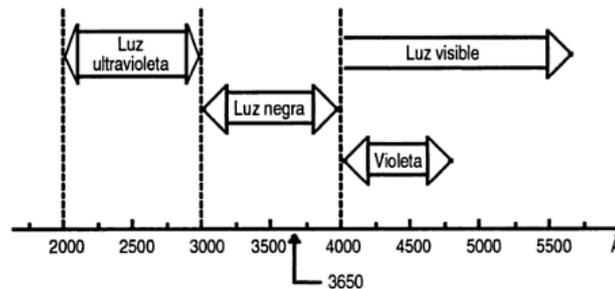


Figura 3.16 La zona de luz negra es la utilizada para los procesos de líquidos penetrantes y partículas magnéticas fluorescentes.

Fuente:

<http://books.google.com.ec/books?id=A3yDbxpP0JsC&pg=PA132&lpg=PA132&dq=PORQUE+UTILIZO+LAS+NORMAS+ASTM+EN+ENSAYOS+NO+DESTRUCTIVOS&source=bl&ots=BtgmwYX2kM&sig=sXDYgTljenLnxzQmt-KqVDJkQnQ&hl=es&sa=X&ei=L7TTUK7-AYS29QSQioDICA&ved=0CFMQ6AEwBA#v=onepage&q=PORQUE%20UTILIZO%20LAS%20NORMAS%20ASTM%20EN%20ENSAYOS%20NO%20DESTRUCTIVOS&f=false>

5. La superficie a inspeccionar debe realizarse en una zona oscura en la que la luz ambiente sea en lo posible inferior o igual a 20 Lx.
6. Revisar periódicamente el filtro de vidrio (Kopp 41 este código varía de acuerdo al modelo de la lámpara), es muy importante ya que elimina las longitudes de onda ultravioleta que pueden tener efectos perjudiciales para el operador y que comienzan alrededor de los 3200 Å.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 20 de 25

El filtro debe sustituirse inmediatamente si se agrieta o rompe y debe limpiarse con frecuencia porque la intensidad de luz emitida puede quedar muy disminuida por el polvo, suciedad o grasa. Ver figura 3.17

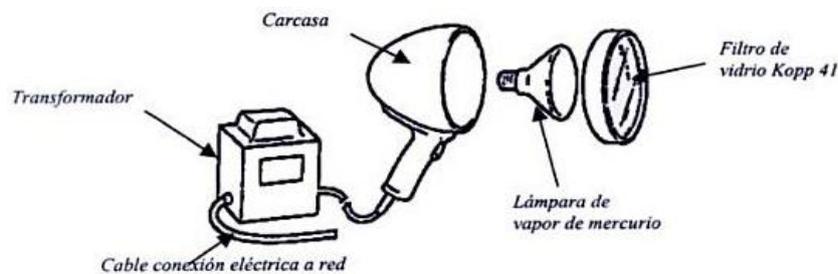


Figura 3.17 Partes principales de la Lámpara de luz negra.

Fuente:

<http://books.google.com.ec/books?id=A3yDbxpP0JsC&pg=PA132&lpg=PA132&dq=PORQUE+UTILIZO+LAS+NORMAS+ASTM+EN+ENSAYOS+NO+DESTRUCTIVOS&source=bl&ots=BtgmwYX2kM&sig=sXDYgTljenLnzQmt-KqVDJkQnQ&hl=es&sa=X&ei=L7TTUK7-AYS29QSQioDICA&ved=0CFMQ6AEwBA#v=onepage&q=PORQUE%20UTILIZO%20LAS%20NORMAS%20ASTM%20EN%20ENSAYOS%20NO%20DESTRUCTIVOS&f=false>

- En la práctica hay que tener en cuenta que la intensidad total que suministra la lámpara no se consigue hasta que se haya calentado lo suficiente requiriendo no menos de diez minutos.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 21 de 25

8. Si por algún motivo la lámpara se desconecta necesita de al menos diez minutos para enfriarse, por esta razón es preferible dejar la lámpara encendida durante todo el tiempo que dure el ensayo, y además porque la vida útil de la lámpara (suele ser de unas 1.000 horas) se acorta en función de las veces que se apaga o enciende.
 9. Se procurara que la tensión de la fuente no aumente o disminuya de suceder esto provocaría graves daños en la lámpara.
- ❖ **RESUMEN:** Para obtener una buena sensibilidad, se debe mantener un nivel de luz ambiental lo más bajo posible, inferior a 20 Lx y el de la luz negra, al menos 1.000 mW/cm^2 , medidos sobre la superficie de la probeta a inspeccionar y a una distancia de 30 cm. Ver figura 3.18



Figura 3.18 Utilización de luz negra

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 22 de 25

- ❖ Los polvos del revelador que se usan no son tóxicos, pero en espacios reducidos pueden ser perjudiciales para la salud, así que se deberá tomar las precauciones necesarias.
- ❖ Los líquidos penetrantes tienen una acción secante sobre la piel, causando una sensación desagradable, se recomienda en todo momento usar guantes industriales de látex para los ensayos.

Interpretación de las indicaciones y evaluación

- ❖ **Interpretación de indicaciones.-** Una vez transcurrido el tiempo de revelado, se procede a la inspección de los posibles defectos o discontinuidades de las juntas soldadas de interés. La inspección se la realizara antes de que el penetrante comience a exudar sobre el revelador hasta el punto de ocasionar la pérdida de definición.

La capa fina del revelador que ha quedado sobre la superficie, absorberá el LP retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible.

Las indicaciones podrán ser observadas ya sea por contraste o por fluorescencia según la técnica empleada y teniendo en cuenta las siguientes consideraciones de iluminación.

- a. **Para líquidos fluorescentes.-** El área de inspección debe ser oscurecida. La intensidad de luz ultravioleta debe ser como mínimo ($1000\mu W/cm^2$) la

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 23 de 25

superficie de la junta soldada, y deberá verificarse regularmente una vez cada ocho horas. Otras condiciones para tener en cuenta son:

- ❖ El operador debe permanecer al menos cinco minutos en el área oscurecida para adaptar su visión antes de comenzar la inspección.
- ❖ La lámpara deberá ser calentada al menos diez minutos antes de ser utilizada.
- ❖ La luz blanca no debe exceder los 20 lux en el área de inspección.

b. Para LP.- La iluminación debe ser de 420 lux a 840 lux.

Para la interpretación de las indicaciones, se debe tener claro que tipo de indicaciones se pueden presentar en el ensayo:

- ❖ Indicaciones reales. Son indicaciones que muestran defectos indeseables.
- ❖ Indicaciones relevantes. Son indicaciones reales que están por fuera de las especificaciones permitidas.
- ❖ Indicaciones no relevantes. Son indicaciones debidas a la retención de LP por características de la probeta, las cuales son aceptables aunque excedan las dimensiones permitidas.
- ❖ Indicaciones Falsas. Son el resultado de alguna forma de contaminación por gotas caídas sobre la probeta, marca de dedos, etc. Estas indicaciones no pueden referirse a ningún tipo de discontinuidad.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 24 de 25

Para llevar a cabo una correcta interpretación de las indicaciones del inspector se puede valer de instrumentos que aumentan la capacidad de visión (magnificador de 10x).

Dicho inspector deberá determinar indicaciones falsas, relevantes y no relevantes de acuerdo al plan de especificadores.

Evaluación

La evaluación consiste en analizar todas las indicaciones que no son aceptables. Esto con el fin de determinar si dichas indicaciones son:

- ❖ Realmente inaceptables.
- ❖ Falsas.
- ❖ Que aparecieron por error o descuido.
- ❖ Reales pero no relevantes.
- ❖ Aceptables después de una minuciosa inspección.

Los métodos más comunes de evaluación incluyen.

- ❖ Limpiar el área de indicación con cepillo o trapo con solvente.
- ❖ Cubrir el área con revelador seco o revelador no acuoso.
- ❖ Redimensionar bajo una iluminación adecuada para el tipo de LP.

En ciertos casos las indicaciones se pueden presentar más largas.

	ITSA	PR: ENDPT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Líquidos Penetrantes PT - Estructuras	Fecha: 03-01-2013
		Página: 25 de 25

Guía de selección del proceso a seguir

Tabla 3.4 Selección del tipo de ensayo

PROBLEMA	PROCESO TIPO I Y TIPO II
Alta producción de artículos pequeños	A
Alta producción de artículos grandes	B
Alta sensibilidad para discontinuidades finas	B
Discontinuidades superficiales, rayones, etc. Deben detectarse	B
Artículos con rugosidad superficial	A
Artículos con rugosidad superficial media	A-B
Detección de fugas	A-B

Fuente: <http://www.sistendca.com/documento.html>

Normas de aceptación y rechazo

La norma de aceptación rechazó para la inspección con líquidos penetrantes es la norma AWS D1.1. y el ensayo debe realizarse conforme ASTM E433-71²⁴. Ver Anexo B10.

En el formato FORM-ENDPT-01 de presentación, se detallarán todos los equipos y materiales utilizados con sus respectivas características, el formato de práctica se presenta en el anexo C2.

²⁴ <http://es.scribd.com/doc/85483875/E433>

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 1 de 10

3.5 Elaboración de procedimiento de inspección con Partículas Magnéticas

25

Objetivo

- ❖ El presente documento tiene la finalidad de establecer las condiciones y requerimientos necesarios para realizar una correcta inspección mediante partículas magnéticas en juntas soldadas de elementos estructurales.
- ❖ Detectar las discontinuidades superficiales y sub superficiales en un cordón de soldadura mediante este método, para de esta manera analizarlas y evaluarlas.

Alcance

Se utiliza inspección por Partículas Magnetizables en cordones de soldadura de estructura metálica que aplique la norma AWS D1.1., realizado en fase de fabricación de planta y en montaje que tengan un acabado superficial tal como se presenta después de soldar con procedimientos y soldadores calificados, libre de recubrimientos y cuya accesibilidad permita la aplicación del campo magnético, las partículas magnetizables, sean estas en vía seca o en vía húmeda, y puedan ser iluminadas con luz visible o luz negra.

²⁵ http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.php

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 2 de 10

Información General

- ❖ El fundamento del método de partículas magnetizables aplica equipos y normas de referencia como ASME V art 7, ver anexo B3 y ASTM SE-709 ver anexo B4.
- ❖ El estado superficial del cordón de soldadura a inspeccionar es como se presenta luego de ejecutar un procedimiento calificado de soldadura, libre de recubrimientos.
- ❖ En este ensayo, se va a utilizar un equipo de yugo de articulaciones móviles, es recomendable utilizar uno de articulaciones fijas cuando las juntas soldadas a inspeccionar son de geometrías planas.

Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ASME V-2010: subsección A, Art 7; subsección B Art 25
- AWS D1.1

Personal

El personal que va a evaluar la inspección por partículas magnéticas de las juntas soldadas, así como a supervisar el ensayo, debe ser calificado nivel II o III.

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 3 de 10

Mientras que la persona que realice el ensayo debe ser calificado nivel I con la supervisión de un nivel superior.

Equipos y materiales

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizará un yugo magnético de patas fijas, por la facilidad que éste presenta para la inspección de juntas soldadas, además por la portabilidad del mismo, los códigos reguladores así lo indican.

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

a) Equipo de magnetización.

- ❖ Yugo de articulaciones móviles (fuerza portante especificada en el proceso).

b) Medios de aplicación.

- ❖ Espolvoreador tipo pera.
- ❖ Brocha/atomizador.

c) Partículas magnéticas.

- ❖ Partículas vía seca o vía húmeda.

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 4 de 10

d) Elementos de limpieza.

- ❖ Paños, solventes, cepillos de alambre suave, etc.

e) Elementos de protección.

- ❖ Mandil, overol, guantes, pantalla protectora, zapatos industriales, gafas de protección UV, etc.

f) Accesorios.

- ❖ Cámara fotográfica.
- ❖ Revelador (Como elemento de contraste).

g) Documentación.

- ❖ Criterios de aceptación – rechazo del código aplicable.
- ❖ Guía/planos de referencia de nomenclatura y ubicación de soldadura.

Proceso

- ❖ El primer paso es limpiar la superficie a ensayar, debido a que la superficie de los cordones de soldadura de la junta tienden a acumular suciedad y escoria en sus rugosidades. Esta limpieza se debe realizar con escobillas o con cepillo de alambre suave, incluso para longitudes mayores se debe utilizar cepillo circular de alambre suave accionado por esmeriladoras. El objetivo de esta limpieza es mejorar la movilidad de las partículas magnéticas.

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 5 de 10

- ❖ A continuación se realiza la magnetización del cordón de soldadura, figura 3.21 mediante el yugo de articulaciones móviles. La técnica a utilizarse es la continua, por lo tanto se aplica el campo y las partículas simultáneamente sobre el área inspeccionar. Si la soldadura es de gran tamaño (longitudes mayores a 30cm), se la ha de inspeccionar por partes. Es importante que las articulaciones del yugo entren en contacto con la superficie metálica para lograr una magnetización eficiente.

²⁶**Indicador de Campo Magnético.-** Se lo utiliza para saber el magnetismo residual que queda en la pieza después de la magnetización, para medir la intensidad de un campo tangencial a la superficie del objeto de prueba magnetizado.



Figura 3.19 Indicador de campo magnético

Fuente: <http://www.westerninstruments.com/portmpiacc.php>

²⁷**Indicador Tipo Pastel.-** Es un disco de material altamente permeable dividido en cuatro, seis, u ocho secciones de material no ferromagnético.

²⁶ <http://www.westerninstruments.com/portmpiacc.php>

²⁷ <http://www.mx.magnaflux.com/EquiposyAccesorios/Inspecci%C3%B3nporPart%C3%ADculaMagn%C3%A9tica/AccesoriosparaPart%C3%ADculaMagn%C3%A9tica/FieldIndicators/tabid/1765/Default.aspx>

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 6 de 10

El medidor se coloca en el lado de arriba de la probeta de cobre y la pieza de ensayo magnetizada. Luego se aplican las partículas y se elimina el exceso, indicando la orientación del campo magnético.

Se utiliza principalmente en superficies planas, tales como soldaduras o piezas de acero fundido que se usa polvo seco con un yugo. La galga pastel no se recomienda para piezas de precisión con formas complejas, para aplicaciones en método húmedo, o para probar la magnitud de campo. El medidor se debe desmagnetizar entre lecturas.

Las ventajas de la galga de pastel: es fácil de usar y se puede utilizar indefinidamente sin deterioro. La galga pastel tiene varias desventajas, que incluyen: retiene algo de magnetismo residual la indicación prevalecerá después de la eliminación de la fuente de la magnetización, que sólo se puede utilizar en áreas relativamente planas, y no puede utilizarse de manera fiable para la determinación de campos equilibrados en magnetización multidireccional.

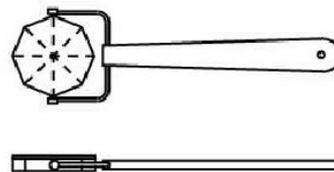


Figura 3.20 Indicador tipo pastel

Fuente: <http://www.mx.magnaflux.com/EquiposyAccesorios/InspeccionporParticulaMagnetica/AccesoriosparaParticulaMagnetica/FieldIndicators/tabid/1765/Default.aspx>

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 7 de 10

- ❖ La fuerza portante del yugo debe cumplir lo estipulado por la norma ASTM SE-709. Esta norma indica que un yugo de corriente alterna debe ser capaz de levantar un peso de 4.5 kg en la posición más abierta en la que vaya a ser utilizada, mientras que para los yugos de corriente continua sugiere un peso de 18,1 kg.

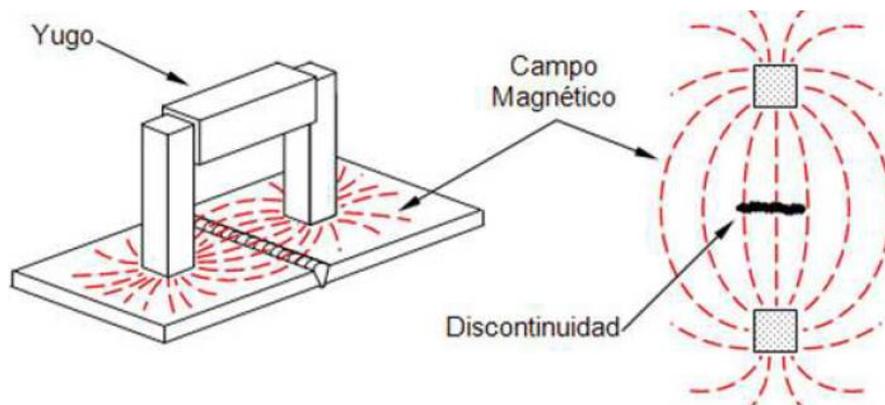


Figura 3.21 Magnetización longitudinal

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

- ❖ Posteriormente se aplica las partículas magnéticas en forma directa sobre la superficie a inspeccionar mediante el uso del espolvoreador de partículas secas, mientras que se utilizará un aerosol o pulverizador para partículas húmedas.

Si hay una pequeña discontinuidad el campo magnético de la pieza de trabajo, establece un polo norte magnético en un lado de dicha discontinuidad y un polo sur en el otro extremo; las partículas magnéticas

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 8 de 10

son atraídas por estos polos marcando así la discontinuidad y permaneciendo sobre ella. En la Figura 3.22 se puede apreciar la variación del campo magnético cuando se presentan discontinuidades superficiales, mientras que en la Figura 3.23 se observa la variación del campo cuando se presentan grietas sub superficiales.

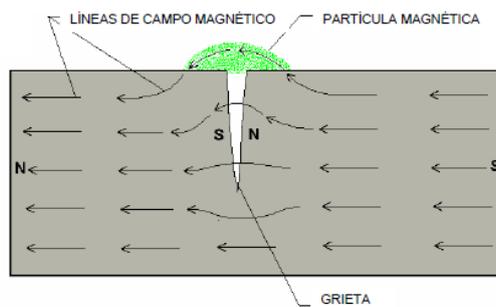


Figura 3.22 Variación del campo magnético en grietas superficiales

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

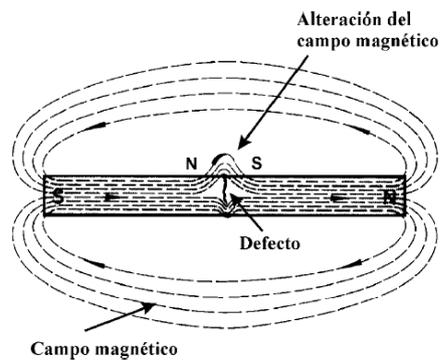


Figura 3.23 Variación del campo magnético en grietas sub superficiales

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 9 de 10

- ❖ La observación de las acumulaciones de partículas (magnetograma) se puede realizar con luz ordinaria (uso de partículas coloreadas) o con luz UV (partículas fluorescentes).

El examen a la luz ordinaria se hace mirando directamente o con un magnificador mínimo de 10x, las agrupaciones significativas alrededor de zonas de riesgo de aparición de defectos. El examen con luz UV se hace iluminando con lámparas de vapor o mercurio. En los casos en que interesa conservar una réplica de un magnetograma concreto, se usan técnicas fotográficas u otras que reproducen las agrupaciones de partículas generadas, como son la copia en papel secante o en láminas adhesivas.

- ❖ Dependiendo del caso se deja transcurrir el tiempo de acción de las partículas, para entonces interpretar y evaluar las indicaciones obtenidas.
- ❖ El siguiente paso es remover la totalidad de las partículas utilizadas, para obtener una superficie limpia y además reutilizar estas partículas en el siguiente ensayo.
- ❖ **Desmagnetización:** Es la operación inversa a la magnetización inicial y consiste en la aplicación de un campo magnético de signo opuesto al inicial, que elimine la magnetización remanente de la junta soldada inspeccionada. Este proceso es necesario, en primer lugar para facilitar la limpieza de las partículas magnéticas una vez terminado el ensayo, pero hay otras razones que exigen el carácter no magnético de la junta soldada (probeta), como son: evitar interferencias con instrumentos electrónicos,

	ITSA	PR: ENDMT01
	Procedimiento escrito para Inspección con Partículas Magnéticas – Estructuras Soldadas	Fecha: 03-01-2013
		Página: 10 de 10

interferencias en procesos de mecanizado con arranque de viruta, dificultades de aplicación de tratamientos superficiales como anodizado o pintura.

Normas de aceptación y rechazo

Las normas aplicables al método de partículas magnéticas son: ASTM SE-709 Ver Anexo B4 y ASME V art 7 para la aplicación del método y ANSI-AWS D1.1. para los criterios de aceptación o rechazo.

Informe

Todos los datos y resultados obtenidos durante el ensayo deben ser registrados en el formato FORM-ENDMT-01. Este informe debe contener la siguiente información: datos generales, tales como laboratorio donde se realiza el ensayo, cliente que lo solicita, lugar, fecha, etc. Identificación de la probeta, esquema de la probeta, equipos y materiales, condiciones de trabajo y resultados. Este informe debe ser firmado por el operador y el supervisor del ensayo. Ver anexo C3

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

3.6 Aplicación del manual de procedimientos en probetas del Laboratorio de Materiales y Procesos.

Se aplicará cada uno de los procedimientos generados en el capítulo anterior en dos probetas de soldadura marcadas con identificación P1 y P2 respectivamente, con el fin de contrastar los resultados arrojados con la inspección por cada método de Ensayos no Destructivos aplicable y entre sí.

Esta aplicación seguirá una estructura similar para cada procedimiento, de la misma forma los pasos seguidos y especificaciones de cada parámetro.

3.6.1 Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Inspección Visual VT

Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ❖ ASME V-2010 : subsección A, Art 9
- ❖ AWS D1.1

Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación y rechazo sobre las juntas soldadas en el ensayo es calificado nivel II ASNT.

SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137

Srta. Alina Patricia Sánchez T.

Equipos y materiales

A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- ❖ Flexómetro
- ❖ Luz artificial (reflector)
- ❖ Cámara fotográfica, Magnificador mínimo, etc.
- ❖ Elementos de protección

Proceso

- ❖ Se limpió la superficie del cordón de soldadura de las probetas con materiales solventes (cleaner, alcohol, tiñer, etc).
- ❖ A continuación se verificó características geométricas de la soldadura respecto al diseño de la junta, como ancho del cordón, presentación, perfil de la soldadura, siendo éste ligeramente convexo.
- ❖ Al no encontrarse indicaciones relevantes, no fue necesario marcar la probeta ni registrar datos de posibles discontinuidades.

	ITSA INFORME DE INSPECCIÓN VISUAL		FORM- ENDVT-01							
Datos Generales			1 de 1							
1.- Laboratorio: Materiales y Procesos		2.- Estudiante: Alina Patricia Sánchez T								
3.- Fecha: 08/02/2012		4.- Informe No. 01								
Identificación de la soldadura										
5.- Descripción: Soldadura Tipo MIG para 2 mm de espesor		6.- Identificación de la probeta: P1								
7.- Material: Aluminio T6		8.- Estado del cordón de soldadura:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Aceptable:</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>Reparable:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reprueba:</td> <td></td> </tr> </table>	Aceptable:	✓	Reparable:		Reprueba:	
Aceptable:	✓									
Reparable:										
Reprueba:										
9.- Esquema del cordón de soldadura										
										
10.- Equipos y Materiales:										
Accesorios:										
Brochas, Paños, Flexómetro, cámara fotográfica.										
Registro										
11. Indicación: Se verifica la posición del cordón y el nivel de aceptación.										
12. Posición cordón de soldadura		Horizontal:	Horizontal/Circular							
		Vertical:	-----							

13. Nivel de aceptación o rechazo	Acceptable:	Se observa que el cordón de soldadura es aceptable.
	Reparable:	
	Reprueba:	
Nota: P : porosidad FP : Falta de Penetración FF : Falta de Fusión E y R : Esmerilar y rellenar, otras.		
Resultados:		
14.- Observaciones: El cordón presenta rugosidad normal y no presenta discontinuidades visibles	15.- Evaluación: Presentación y acabado correcto	
16.- Estudiante: Alina Patricia Sánchez T.		Firma:
17.- Supervisor:	SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137	Firma:
18.- Nivel:	Nivel II	

3.6.2 Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Tintas Penetrantes PT

Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ❖ ASME V-2010 : subsección A, Art 6; subsección B Art 24
- ❖ ANSI - AWS D1.1

Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas a ensayar, así como supervisar el ensayo es calificado nivel II ASNT

SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137

Srta. Alina Patricia Sánchez T.

Equipos y materiales

Líquidos: al aplicar la técnica B3, se empleará solvente, líquido penetrante coloreado, revelador y limpiador.

Accesorios: se utilizó equipo para limpieza previa del cordón de soldadura y adicionalmente equipo y vestimenta industrial para realizar esta actividad tal como, guantes, overall de tela resistente. Para la limpieza inicial se utilizó cepillos de alambre adecuados para esta limpieza y con una dureza no mayor a la soldadura y metal base, permitiendo retirar escoria, restos de chisporroteo, etc.

Para las limpiezas intermedias dentro del ensayo, se utilizó tela cruda de algodón. Se utilizó cámara fotográfica digital para registrar los resultados del ensayo.

Proceso

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes se la realizó mediante estos pasos:

- ❖ Limpieza de la superficie a inspeccionarse, se la realizó con el cepillo de alambre para el cordón de soldadura, retirando todo material diferente al metal base y de aporte en el cordón de soldadura
- ❖ Limpieza con solvente, ésta se realizó con el paño de tela empapado de materiales solventes (cleaner, alcohol, tiñer, etc), asegurando la eliminación de toda la pintura.
- ❖ Aplicación del penetrante, el cual se aplica sobre la superficie del cordón de soldadura, se dio una pasada de fluido constante, cubriendo todo el cordón de tinte coloreado verdoso, el tiempo de permanencia del penetrante fue mayor de cinco minutos.
- ❖ Eliminación del exceso de penetrante se realizó con más paño de tela y se retiró la mayor cantidad de penetrante posible.
- ❖ Limpieza del penetrante, esto se realizó con el paño de tela humedecido con materiales solventes (cleaner, alcohol, tiñer, etc) para remover el

penetrante de la superficie inmediata de la soldadura sin remover el penetrante del interior de posibles discontinuidades.

- ❖ Revelado, se aplicó el revelador sobre el cordón de soldadura libre de excesos de penetrante, asegurando la cobertura del cordón de soldadura y estrechas zonas adyacentes con revelador. Se deja actuar el revelador por cinco minutos para obtener una indicación adecuada.
- ❖ Se aplicó el procedimiento mencionado en el inciso 3.4.2.
- ❖ Inspección y evaluación, el penetrante que ha ingresado en el interior de la discontinuidad tintura el revelador con su color, es por eso que se ha realizado varias revisiones durante los cinco minutos de revelado, observando la evolución del proceso químico.
- ❖ Marcado de las discontinuidades: como no se encontró discontinuidades relevantes, no fue necesario marcar en la probeta.

	ITSA INFORME DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	FORM- ENDPT-01	
Datos Generales		1 de 1	
1.- Laboratorio: Materiales y Procesos	2.- Estudiante: Alina Patricia Sánchez T		
3.- Fecha: 08/02/2012	4.- Informe No. 01		
Identificación de la soldadura			
5.- Descripción: Soldadura Tipo MIG para 5 mm de espesor	6.- Identificación de la probeta: <p style="text-align: center;">P2</p>		
7.- Material: <p style="text-align: center;">Aluminio T6</p>	8.- Estado del cordón de soldadura:	Aceptable: Reparable: Reprueba:	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9.- Esquema del cordón de soldadura			
			



10.- Equipos y Materiales:		
Líquidos:		
<u>Limpiador/Removedor:</u> ✓ Magnaflux Spotcheck SKC-S Cleaner/Remover	<u>Penetrante:</u> ✓ ZL-27A PENETRANT P/N: 01-3187-79	
<u>Revelador:</u> ✓ ZP-9F DEVELOPER P/N: 01-3354-79	Otros: No se aplicó ningún otro tipo de limpiador o removedor.	
Accesorios:		
Brochas, Paños, Cepillos de alambre, cámara fotográfica.		
Medición de :	Luz Blanca: 20 lux	
	Luz UV: 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
Registro		
11. Indicación: Se verifica la posición del cordón y el nivel de aceptación.		
12. Posición cordón de soldadura	Horizontal:	Horizontal
	Vertical:	-----
13. Nivel de aceptación o rechazo	Aceptable:	Por medio de PT
	Reparable:	
	Reprueba:	
Nota: P: porosidad FP: Falta de Penetración FF: Falta de Fusión E y R:		

Esmerilar y rellenar, otras.		
Resultados:		
14.- Observaciones: La probeta analizada no presenta discontinuidad relevante en el cordón de soldadura.	15.- Evaluación: El procedimiento por soldadura MIG realizado en la probeta presento condiciones aceptables en su cordón de suelda horizontal y no presenta mayores discontinuidades.	
16.- Estudiante: Alina Patricia Sánchez T.		Firma:
17.- Supervisor:	SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137	Firma:
18.- Nivel:	Nivel II	

3.6.3 Aplicación de Procedimiento en probetas tipo para ensayos con Partículas Magnéticas MT

Normas de referencia

Las normas y códigos de referencia a utilizarse en el presente ensayo son los siguientes:

- ❖ ASME V-2010 : subsección A, Art 7; subsección B Art 25
- ❖ ANSI-AWS D 1.1.

Personal

La persona a emitir los criterios de aceptación rechazo sobre las juntas soldadas en el ensayo es calificado nivel II ASNT.

- ❖ SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137
- ❖ Srta. Alina Patricia Sánchez T.

Equipos y materiales

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizó un yugo de articulaciones fijas. A continuación un listado de elementos necesarios para el procedimiento de inspección:

- a) Equipo de magnetización
 - Yugo de articulaciones móviles.

- b) Medios de aplicación
 - Espolvoreador
 - Brocha

- c) Partículas magnéticas
 - Partículas secas Magnaflux

- d) Elementos de limpieza
 - Paños, solventes, etc.

- e) Elementos de protección
 - Overol, guantes, pantalla protectora, zapatos industriales.

- f) Accesorios
 - Cámara fotográfica

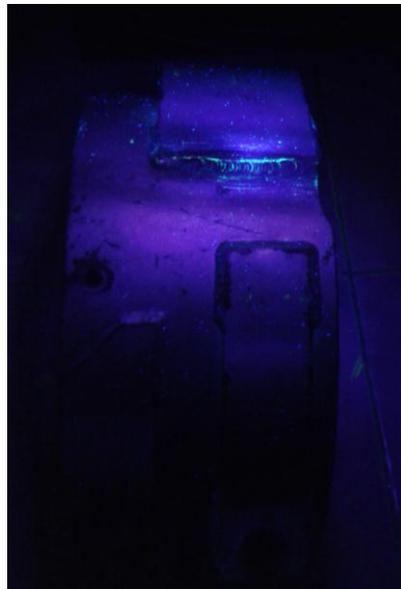
- g) Documentación
ANSI-AWS D1.1.

Proceso

- ❖ Se limpió la superficie de ensayo. El objetivo de esta limpieza es mejorar la movilidad de las partículas magnéticas.
- ❖ Se comprobó la magnetización de la probeta por medio del yugo magnético con el indicador de campo magnético.

- ❖ A continuación se realizó la magnetización del cordón de soldadura mediante el yugo de articulaciones móviles. Se aplicó el campo y las partículas simultáneamente sobre el área de inspección.
- ❖ Se aplicó las partículas magnéticas en forma directa sobre la superficie a inspeccionar mediante el uso del espolvoreador (brocha) de partículas secas.
- ❖ Se permitió transcurrir cinco minutos, tiempo de acción y transporte de las partículas, para visualizar, interpretar y evaluar las indicaciones obtenidas.
- ❖ Como no se encontró indicaciones relevantes, no fue necesario marcar la probeta.
- ❖ Finalmente se limpió y se desmagnetizó las probetas, alejando el campo magnético del yugo, colocado en la misma dirección del campo residual

	ITSA INFORME DE INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS		FORM- ENDMT-01	
Datos Generales			1 de 1	
1.- Laboratorio: Materiales y Procesos	2.- Estudiante: Alina Patricia Sánchez T.			
3.- Fecha: 08/02/2012	4.- Informe No. 01			
Identificación de la soldadura				
5.- Descripción: Soldadura Tipo MIG para 5 mm de espesor		6.- Identificación de la probeta: <p style="text-align: center;">P2</p>		
7.- Material: Acero ASTM A36	8.- Estado del cordón de soldadura:	Aceptable:	✓	
		Reparable:		
		Reprueba:		
9.- Esquema del cordón de soldadura				
				



10.- Equipos y Materiales:

Equipo:

- ❖ Yugo magnético de articulaciones móviles.
- ❖ Partículas secas Magnaflux® 8A RED

Accesorios:

Brochas, Paños, Cepillos de alambre, cámara fotográfica.

Medición de:

Luz Blanca: 20 lux

Luz UV: 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Registro

11. Indicación: Se verifica la posición del cordón y el nivel de aceptación.

Horizontal:

Horizontal

12. Posición cordón de soldadura	Vertical:	-----
13. Nivel de aceptación o rechazo	Aceptable:	Por medio de MT
	Reparable:	
	Reprueba:	
Nota: P : porosidad FP : Falta de Penetración FF : Falta de Fusión E y R : Esmerilar y rellenar, otras.		
Resultados:		
14.- Observaciones: Las partículas se acumulan en la frontera soldadura-metal base	15.- Evaluación: La soldadura no tiene discontinuidades superficiales ni sub superficiales.	
16.- Estudiante: Alina Patricia Sánchez T.	Firma:	
17.- Supervisor:	SGOS. TEC. AVC. MARCO BASANTES LIC. DAC 2137	Firma:
18.- Nivel:	Nivel II	

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- ❖ El sistema de inspección desarrollado, apoya al inspector en la correcta ejecución de los Ensayos No Destructivos aplicables a soldadura de estructura metálica, tomando en cuenta, en su desarrollo, regulaciones establecidas por normas de soldadura como ANSI-AWS D1.1., guiando los pasos a seguir y los datos útiles a recolectar, para así ofrecer de manera óptima un servicio de calidad.

- ❖ Los procedimientos planteados en este trabajo permiten al estudiante manejar la información producida por las pruebas no destructivas de forma fácil y estandarizada, asegurar la calidad de la soldadura de estructura metálica, optimizando así sus procesos de producción, reparando apropiadamente las posibles fallas detectadas, y evaluando los puntos críticos en su sistema de producción.

- ❖ El estricto cumplimiento de estos procedimientos, permitirán a mediano plazo el adiestramiento de los estudiantes en END.

4.2 Recomendaciones

- ❖ Mediante los ensayos realizados a los cordones de soldadura, se puede verificar que los métodos de inspección superficiales no reflejaron ninguna discontinuidad, lo que evidencia que estos ensayos tienen una limitación importante que deberá ser tomada en cuenta el momento de escoger el método más adecuado de inspección en cada caso.
- ❖ Es necesario para el funcionamiento del laboratorio de Materiales y procesos adquirir equipo moderno y contar en su equipo de trabajo con personal de planta Capacitado, Calificado y Certificado y por ende, con experiencia previa en Ensayos No Destructivos, pues de esta manera, se aprovechará mejor el tiempo, y su capacitación será justificada y aprovechada por el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ITSA.
- ❖ El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ITSA. debería impulsar, con el apoyo de colegios profesionales y otras relaciones públicas, la vigencia y aplicación de (al menos) normas locales, que exijan técnicamente, el uso del servicio de inspección de soldadura en estructura metálica de edificaciones civiles, con lo que se justifica la razón social de la institución con la comunidad.
- ❖ Se recomienda que a futuro, el laboratorio del bloque 42 implemente nuevas técnicas de END como análisis de vibraciones para estructuras dinámicas, termografía, y ensayo de fugas, orientadas a otros campos diferentes a estructuras metálicas.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Procedimiento.- Es un método de ejecución o pasos a seguir, en forma secuenciada y sistemática, en la consecución de un fin. El conjunto de procedimientos con un mismo fin, se denomina sistema.

Control de Calidad.- Son todos los mecanismos, acciones, herramientas que realizamos para detectar la presencia de errores. La función del control de calidad existe primordialmente como una organización de servicio, para conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que la producción alcance estas especificaciones. Como tal, la función consiste en la recolección y análisis de grandes cantidades de datos que después se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada.

Discontinuidad.- Falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.

Una discontinuidad es la interrupción de la estructura típica (o esperada) de una junta soldada. En este sentido, se puede considerar a la discontinuidad como la falta de homogeneidad de la materia física, mecánica o metalúrgica, de la soldadura. La existencia de discontinuidades en una junta soldada no significa necesariamente que ésta sea defectuosa. Esta condición depende del uso que se le dará a la junta, y dicha discontinuidad se caracteriza mediante la medida y comparación de las propiedades observadas contra niveles de aceptación establecidos en un código de diseño. Por lo tanto, se considera una junta soldada defectuosa cuando contiene discontinuidades que no cumplen con los requisitos necesarios.

Defecto.- Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular al realizar un ensayo no destructivo, se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.

Solidificación.- Proceso desde el estado fundido (líquido) a un estado sólido. Es un importante proceso en la soldadura ya que muchos metales respectivamente con el material de aporte son susceptibles a cambios de temperatura y afectaciones en su estructura molecular.

Biselado.- El biselado o corte en bisel, generalmente es un proceso preparatorio para posteriores soldaduras. Es el cual al material en contacto de soldadura se le da un cierto ángulo, el cual alojara el material de aporte del electrodo.

Inclusiones.- Es un defecto que produce severo debilitamiento de la soldadura; ocurren cuando un material sólido, desigual al que se suelda, se incluye por accidente en el metal del electrodo.

Socavaciones.- Se produce cuando una parte de la unión no está llena por completo con el cordón de soldadura. La socavación reduce el área transversal de la pieza de trabajo, la resistencia de una unión socavada es mucho menor que la de una soldadura correcta.

NOMENCLATURA UTILIZADA

NDT: Non Destructive Test (Ensayos No Destructivos)

END: Ensayos no destructivos

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)

AWS: American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)

ASME: American Society of Mechanicals Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)

IIW: International Institute of Welding (Instituto Internacional de Soldadura)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales)

ASNT: American Society for Nondestructive Testing (Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos)

WPS: Welding Procedure Specification (Especificación de procedimiento de soldaduras)

X: Rango focal

CCD: Sensor de captación de luz que ingresa a la cámara

VT: Inspección Visual

PT: Líquidos penetrantes

MT: Partículas magnéticas

σ_s : Interface solido-aire

σ_l : Interface líquido-aire

σ_{sl} : Interface: líquido-solido

CP: Coeficiente de penetración

σ : Tensión Superficial

η : Viscosidad

nm: nanómetros

CC: Corriente continúa

CA: Corriente alterna

ENDVT01: Ensayos no destructivos por inspección visual (Visual Test)

P1: Probeta 1

BIBLIOGRAFÍA

- AWS D1.1-2004 - Requisitos para las calificaciones y las responsabilidades del inspector, los criterios de aceptación para las discontinuidades, y los procedimientos para NDT.
- ASME Sec. V, Art. 9 - Table T-921 requirements of a visual examination procedure.
- ANSI/ASNT CP-189 - ASNT Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel (ANSI/ASNT CP-189-2011) & ASNT Std. Topical Outlines for Qualification of NDT Personnel (ANSI/ASNT CP-105-2011)
- ASME Sec. V, Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE – 165
- ASME SE-165-02 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination (Método Estándard para Examinación con Líquido Penetrante)
- ASTM E433 - Standard Reference Photographs for Liquid Penetrant Inspection
- ASME Sec. V - Art. 7 Examinación Partículas Magneticas, SE - 709
- ASTM E 709 - Standard Guide for Magnetic Particle Testing
- ASTM E125 - Form of ASTM test methods
- Manual de Ensayos No Destructivos, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos
- http://www.itsafae.edu.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=155
- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>
- [http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)
- <http://solysol.com.es/data/documents/SoldaduraMIGMAG.pdf>
- http://cengagesites.com/academic/assets/sites/3618_bower_welddb2_ch03_1pp.pdf
- http://www.csn.es/descarga/2008_Tercero_A_21.pdf
- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>
- http://tpmequipos.com/298480_Cuenta-Hilos.html

- <http://sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>
- <http://elmundodelacalidad.files.wordpress.com/2009/07/asme-sec-v-b-se-165-examen-con-liquidos-penetrantes.pdf>
- <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>
- <http://www.dinatecnica.com.ar/>
- <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/PARTICULAS%20MAGNETICAS.pdf>
- <http://www.emagister.com/manual/web/cursogratis/frame?idCentro=57953030052957564866666952674548&idCurso=1000317814>
- <http://www.ychiformas.com/prueba2/index/ISO90012000.pdf>
- <http://dc128.4shared.com/doc/45EbcGS6/preview.html>
- http://www.isotec.com.co/portal2/uploads/media/Requisitos_para_certificacion_Niveles_I_y_II.pdf
- https://www.google.com.ec/#hl=es&tbo=d&scient=psy-ab&q=ASTM+E+709&oq=ASTM+E+709&gs_l=serp.3..35i39j0l2j0i7i30.3068.30768.0.31037.1.1.0.0.0.0.257.257.21.1.0...0.0...1c.1.2.serp.AW7Mg0mJpM&pbx=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.r_cp.r_qf.&fp=f8af18abcd8ebbcd&biw=1366&bih=630
- <http://books.google.com.ec/books?id=A3yDbxpP0JsC&pg=PA132&lpg=PA132&dq=PORQUE+UTILIZO+LAS+NORMAS+ASTM+EN+ENSAYOS+NOD+ESTRUCTIVOS&source=bl&ots=BtgmwYX2kM&sig=sXDYgTlIjenLnXzQmt-KqVDJkQnQ&hl=es&sa=X&ei=L7TTUK7-AYS29QSQioDICA&ved=0CFMQ6AEwBA#v=onepage&q=PORQUE%20UTILIZO%20LAS%20NORMAS%20ASTM%20EN%20ENSAYOS%20NO%20DESTRUCTIVOS&f=false>
- <http://www.dinatecnica.com.ar/archivos/1276627619Hoja%20de%20Datos%20-%20L%C3%ADquidos%20penetrantes%20fluorescentes%20removibles%20con%20agua.pdf>
- <http://www.westerninstruments.com/portmpiac.php>

- <http://www.mx.magnaflux.com/EquiposyAccesorios/Inspecci%C3%B3nporPart%C3%ADculaMagn%C3%A9tica/AccesoriosparaPart%C3%ADculaMagn%C3%A9tica/FieldIndicators/tabid/1765/Default.aspx>
- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>
- <http://cstools.asme.org/csconnect/pdf/R091981.pdf>