

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CAPACITACIÓN DE NDI
PARA LOS MÉTODOS: TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT FOTÓMETRO,
INDICADOR DE FLUJO MAGNÉTICO Y PIE GAGE”**

POR:

VALBERDE AMAGUA CRISTIAN FERNANDO

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

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
AVIONES**

2012

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el SR. VALBERDE AMAGUA CRISTIAN FERNANDO, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES.

TLGO. CEDILLO ULISES
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, 19 de Noviembre del 2012

DEDICATORIA

El presente Proyecto de Grado dedico a Dios por darme la oportunidad de vivir y estar a mi lado en cada paso que doy, por la sabiduría e inteligencia para afrontar y alcanzar mis metas y por haber puesto en mi camino a las personas que han sido mi pilar y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre por no dejar de apoyarme y creer en mí, sus consejos, valores y ejemplo de superación me han permitido culminar mi carrera. A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha infundado. ¡Haré lo imposible!

A mis abuelos Segundo y Olimpia por su amor y su apoyo para salir adelante. A mis tías Azucena, Mariana y Margarita por sus enseñanzas, consejos para ser una persona de bien.

A mis hermanos Erika y Jhonatan por estar conmigo en la salud y enfermedad, alegrías y disgustos, por muchos obstáculos que tenga el camino siempre llegaremos a nuestra meta.

A mi hijo Christopher, su sonrisa me demuestra el valor de la vida, es la dicha más grande que Dios me ha dado.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

Valberde Amagua Cristian Fernando

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios por sus bendiciones y por guiar mi camino en esta noble Institución quien por medio de sus maestros me brindo sólidos conocimientos académicos para ponerlos en práctica en mi vida profesional. A mis padres y hermanos por creer siempre en mí y en mis capacidades para seguir adelante. A mis abuelos Segundo y Olimpia, a mis tías Azucena, Mariana y Margarita por apoyarme en mis estudios.

A mi director de trabajo de graduación Tlgo. Ulises Cedillo por su tiempo y paciencia que me brindó a lo largo de este trabajo de graduación, al Sgop. Javier Shulca por aportar con sus conocimientos para optimizar la realización de este trabajo.

A mis compañeros quienes me apoyaron cuando más lo necesitaba, con quienes nos formamos entre risas y preocupaciones, aportando cada uno con un grano de arena a nuestra formación personal y académica.

Valberde Amagua Cristian Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	1
SUMMARY	2

CAPÍTULO I

TEMA

1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación e Importancia	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 General.....	5
1.3.2 Específicos	5
1.4 Alcance.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Ensayos No Destructivos	6
2.1.1 Ventajas	6
2.1.2 Limitaciones	6
2.1.3 Beneficios de los NDT en Mantenimiento.....	7

2.1.4 Razones para Seleccionar un Método de NDT	7
2.1.5 Niveles de Calificación y Certificación	7
2.1.5.1 Aprendiz o Asistente.....	7
2.1.5.2 Nivel I NDT	8
2.1.5.3 Nivel II NDT	8
2.1.5.4 Nivel III NDT	8
2.2 Métodos de Inspección de NDT según ASNT	9
2.3 Clasificación de los Métodos NDT.....	9
2.3.1 Técnicas de Inspección Superficial	9
2.4 Método de Líquidos Penetrantes.....	10
2.4.1 Descripción del Método	10
2.4.2 Aplicaciones del Método.....	11
2.4.3 Ventajas y Limitaciones del Método	12
2.4.3.1 Ventajas	12
2.4.3.2 Limitaciones	12
2.4.4 Clasificación de los Tintes Penetrantes.....	13
2.4.4.1 Tipos.....	13
2.4.4.1.1 Examinación con Penetrantes Fluorescentes	13
2.4.4.1.2 Examinación con Penetrantes Visibles.....	14
2.4.4.2 Método	14
2.4.4.2.1 Método A: Lavables con Agua.....	14
2.4.4.2.2 Método B: Post-Emulsificables Lipofílico	15
2.4.4.2.3 Método C: Removible con Solventes.....	15
2.4.4.2.4 Método D: Post-Emulsificables Hidrofílico	15
2.4.5 Tipos de Materiales	15
2.4.5.1 Materiales	15
2.4.5.2 Penetrantes	16
2.4.5.2.1 Post-Emulsificable	16
2.4.5.2.2 Penetrantes Lavables con Agua.....	16
2.4.5.2.3 Penetrantes Removibles con Solvente.....	16
2.4.5.3 Emulsificadores	17
2.4.5.3.1 Emulsificador Lipofílico	17
2.4.5.3.2 Emulsificador Hidrofílico	17
2.4.5.4 Removedor con Solvente	17

2.4.5.5 Reveladores	18
2.4.5.5.2 Reveladores Acuosa.....	18
2.4.5.5.3 Reveladores Húmedos No Acuosa.....	18
2.4.5.5.4 Reveladores de Película Líquida	18
2.4.6 Secuencia de la EXaminación del Penetrante.....	18
2.5 Método dE Partículas Magnéticas.....	19
2.5.1 Descripción del Método	19
2.5.2 Aplicaciones del Método.....	20
2.5.3 Ventajas y Limitaciones.....	21
2.5.3.1 Ventajas	21
2.5.3.2 Limitaciones	22
2.5.4 Principio del Método por Partículas Magnéticas.....	22
2.5.4.1 Magnetismo.....	23
2.5.4.2 Líneas de Fuerza o de Flujo Magnético	23
2.5.4.3 Ley de Atracción y de Repulsión Magnética.....	24
2.5.5 Campos de Fuga.....	25
2.5.5.1 Material Sin Defectos	25
2.5.5.2 Discontinuidad o Defecto Superficial.....	25
2.5.5.3 Discontinuidad Interna.....	26
2.5.5.4 Orientación de las Discontinuidades	27
2.5.6 Partículas Magnéticas	27
2.5.6.1 Características de las Partículas	28
2.5.6.2 Tipos de Partículas.....	28
2.5.6.2.1 Partículas Secas.....	28
2.5.6.2.1.1 Desventajas.....	29
2.5.6.2.2 Partículas en Suspensión.....	29
2.5.6.2.3 Pasta Magnética.....	29
2.5.7 Equipos Usados para la Inspección	30
2.5.7.1 Yugos	30
2.5.7.1.1 Prueba de Funcionamiento del Yugo Magnético	32
2.5.7.2 Luz Negra.....	32
2.5.7.2 Lámpara de Luz Negra.....	32
2.5.7.2.1 Variación en la Intensidad de Luz Negra.....	33
2.5.7.3 Medidor de la Intensidad de Luz Negra.....	33

2.5.7.4 Indicadores de Campo Magnético	34
2.5.7.4.1 Indicador de Campo Magnético.....	35
2.5.7.4.2 Indicador Tipo Pastel.....	36
2.5.8 Métodos de Inspección.....	37
2.5.9 Técnicas de Magnetización	37
2.5.9.1 Magnetización Circular	37
2.5.9.2 Magnetización Longitudinal	38
2.5.10 Secuencia de Inspección por Método de Partículas Magnéticas MT	39

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares.....	40
3.2 Lista de Chequeo de Materiales y Equipos	41
3.3 Manual de Capacitación de la Secuencia de Inspección por Líquidos Penetrantes (PT).....	42
3.3.1 Requerimientos Previos a la Inspección.....	42
3.3.2 Preparación de la Superficie.....	43
3.3.3 Secado después de la Preparación.....	44
3.3.4 Aplicación del Penetrante.....	44
3.3.5 Tiempo de Penetración	46
3.3.6 Remoción del Exceso de Penetrante	46
3.3.7 Secado de la Superficie después de la Remoción	48
3.3.8 Revelado	48
3.3.9 Interpretación.....	50
3.3.10 Limpieza Post-Examinación	52
3.3.11 Evaluación.....	53
3.3.12 Verificación de una Indicación según ASTM E-1417-99.....	54
3.3.13 Remoción de una Discontinuidad según ASTM E-1417-99.....	54
3.4 Manual de Capacitación de la Secuencia de Inspección por Partículas Magnéticas (MT)	55

3.4.1 Preparación de la Superficie	55
3.4.2 Magnetización de la Superficie a Inspeccionarse.....	56
3.4.3 Selección y Aplicación del Medio Indicador.....	61
3.4.4 Interpretación y Evaluación de la Discontinuidad	64
3.4.5 Desmagnetización.....	69
3.4.6 Limpieza Final	72
3.5 Hoja de Reportes para Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas.....	73
3.6 Manual de Operación del Kit Fotómetro/Radiómetro	75
3.7 Guía de Inspección por Líquidos Penetrantes Fluorescentes	76
3.8 Guía de Inspección por Partículas Magnéticas Secas y en Aerosol	83
3.9 Estudio Económico.....	99
3.9.1 Costos Primarios	99
3.9.2 Costos Secundarios	99

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	100
4.2 Recomendaciones.....	101
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	102
NOMENCLATURA UTILIZADA.....	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	106
ANEXO A: “ANTE PROYECTO”	107
ANEXO A1: “MODELO DE ENTREVISTA”	143
ANEXO B: NORMAS: ASME Y ASTM	146
ANEXO C: HOJA DE DATOS DEL KIT FOTÓMETRO; ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
ANEXO D: HOJA DE VIDA DEL GRADUADO; ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de aplicación de líquidos penetrantes	10
Figura 2.2 Examinación con penetrante fluorescente	13
Figura 2.3 Examinación con penetrante visible	14
Figura 2.4 Indicaciones por partículas magnéticas	19
Figura 2.5 Ventajas del método.....	21
Figura 2.6 Polos iguales se repelen	24
Figura 2.7 Polos diferentes se atraen.....	25
Figura 2.8 Discontinuidad superficial.....	25
Figura 2.9 Discontinuidad interna.....	26
Figura 2.10 Orientación de las discontinuidades.....	27
Figura 2.11 Partículas magnéticas	27
Figura 2.12 Yugo electromagnético.....	30
Figura 2.13 Lámpara de luz negra	32
Figura 2.14 Medidor de intensidad de luz negra	34
Figura 2.15 Indicador de campo magnético	35
Figura 2.16 Indicador tipo pastel	36
Figura 2.17 Magnetización circular.....	38
Figura 2.18 Magnetización longitudinal	38
Figura 3.1 Limpieza inicial.....	43
Figura 3.2 Secado después de la limpieza inicial.....	44
Figura 3.3 Aplicación con brocha	45
Figura 3.4 Aplicación por inmersión	45
Figura 3.5 Aplicación por rociado	45
Figura 3.6 Remoción del penetrante	47
Figura 3.7 Remoción con solvente	47
Figura 3.8 Aplicación del revelador	49
Figura 3.9 Interpretación final.....	50
Figura 3.10 Interpretación y evaluación	50
Figura 3.11 Medición de luz ultravioleta	52
Figura 3.12 Evaluación.....	53
Figura 3.13 Limpieza inicial.....	55
Figura 3.14 Magnetización circular.....	57

Figura 3.15 Uso de la bobina	57
Figura 3.16 Magnetización longitudinal	58
Figura 3.17 Uso del yugo electromagnético	58
Figura 3.18 Método continuo.....	59
Figura 3.19 Método residual.....	60
Figura 3.20 Inspección por partículas magnéticas secas.....	62
Figura 3.21 Inspección por partículas magnéticas húmedas fluorescentes	63
Figura 3.22 Suspensión de partículas magnéticas.....	64
Figura 3.23 Interpretación de la indicación.....	65
Figura 3.24 Intensidad de luz ultravioleta medida	67
Figura 3.25 Evaluación de los componentes.....	67
Figura 3.26 Limpieza del componente	77
Figura 3.27 Aplicación del penetrante	78
Figura 3.28 Remoción del penetrante	78
Figura 3.29 Aplicación del revelador	79
Figura 3.30 Inspección visual del componente.....	80
Figura 3.31 Preparación de la superficie	84
Figura 3.32 Magnetización con yugo.....	85
Figura 3.33 Magnetización con yugo.....	85
Figura 3.34 Magnetización del componente.....	86
Figura 3.35 Magnetización con bobina.....	86
Figura 3.36 Magnetización del componente.....	87
Figura 3.37 Comprobación de la magnetización	87
Figura 3.38 Aplicación de partículas secas	88
Figura 3.39 Dirección del campo magnético	89
Figura 3.40 Inspección con partículas secas	89
Figura 3.41 Medición de la intensidad de luz	90
Figura 3.42 Inspección con partículas en aerosol	91
Figura 3.43 Magnetización del componente.....	93
Figura 3.44 Magnetización del componente.....	94
Figura 3.45 Comprobación de campo magnético residual	94

ÍNDICE DE TABLAS

tabla 2.1 Clasificación de los Tintes Penetrantes	13
Tabla 3.1 Tiempo Mínimo de Penetración y Revelado.....	46
Tabla 3.2 Costos de Equipos Implementados	99
Tabla 3.3 Costos Secundarios	99

RESUMEN

La elaboración de un manual de capacitación de NDI para los métodos: Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas se realizó según el programa analítico de la cátedra Materiales y Procesos para fortalecer la formación académica de los alumnos de mecánica aeronáutica por medio de la práctica.

El presente manual contiene una Lista de Chequeo y una Hoja de Reportes que serán llenadas antes y después de la inspección respectivamente, así mismo este servirá como fuente de investigación a todo aquel que presente interés por los métodos de NDT dentro y fuera del ámbito aeronáutico.

Para realizar una buena inspección se implementó un Kit Fotómetro que consta de un Fotómetro/Radiómetro Digital, Sensor de luz ultravioleta, Sensor de luz visible marca Spectroline, Indicador de Flujo Magnético e Indicador Tipo Pastel, estos equipos se encuentran en condiciones satisfactorias para instruir apropiadamente al estudiante.

SUMMARY

The development of a training manual for NDI methods: Liquid Penetrant and Magnetic Particles was performed according to the Analytical Program of the Materials and Processes chair to strengthen students' academic training aircraft mechanics through practice.

This manual contains a Check List and a Sheet Reports that will be filled before and after inspection respectively, also this will serve as a source of research to all who present interest in NDT methods inside and outside the aviation field.

To make a good inspection was implemented a Photometer Kit consisting of a Photometer/Radiometer Digital, ultraviolet light sensor, visible light sensor mark Spectroline, Magnetic Field Indicator and Pie Gage, these equipment are in satisfactory condition to properly instruct the student.

CAPÍTULO I

TEMA

1.1 Antecedentes

Se evidencian registros desde 1868 cuando se intentó trabajar con campos magnéticos, en 1900 se inició con líquidos penetrantes, los cuales fueron utilizados para la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Al final del siglo veinte, tales ensayos eran muy rudimentarios y poco utilizados, los exámenes eran realizados visualmente ayudados por lentes de aumento de poca magnificación, así mismo se realizaban ensayos auditivos golpeando partes metálicas con un martillo y escuchando si existía alguna diferencia en los sonidos vibrantes que producían.

A comienzos de los años 20, fue demostrado que los rayos X utilizados por los médicos, podían ser aplicados a diferentes materiales. Aunque la radiografía podía detectar defectos subsuperficiales en el interior de los metales, era muy costoso, por lo cual utilizaron el ensayo por Partículas Magnéticas para encontrar defectos invisibles, sin causar daño.

En 1941 se funda la ASTM (Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos) sociedad técnica más grande en el mundo de Pruebas No Destructivas.

Actualmente se aplica a la industria aeroespacial, automotriz, militar, construcción civil, estructural, entre otros con la necesidad de disminuir los costos totales de fabricación, se desperdicie tiempo, materiales, maquina y mano de obra en la producción de productos que de otra forma serían considerados de calidad inferior o como desecho.

La elaboración de un manual de capacitación de NDT (Ensayos No Destructivos) nace de una problemática que en nuestra institución existe muy poca información acerca de métodos y equipos esenciales para realizar una inspección a partes o componentes estructurales de una aeronave para conocer la sanidad de los materiales.

Por lo expuesto anteriormente es importante mejorar el nivel teórico y práctico de los estudiantes dentro de esta área, siendo el tema citado para el proyecto un pilar fundamental en el aprendizaje de los nuevos técnicos aeronáuticos del ITSA (Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico), para conocer las características, funcionamiento, ventajas y limitaciones de los métodos de Ensayos No Destructivos.

1.2 Justificación e Importancia

El servicio de los componentes de aeronaves y el papel vital de las inspecciones de NDT (Ensayos No Destructivos) en la detección de defectos que no son percibidos por el ojo humano, se han implementado técnicas de inspección para disminuir los costos de mantenimiento mientras se aumenta la seguridad de operación del componente, ya sea una extensa inspección estructural o una simple evaluación de daños del componente, los técnicos aeronáuticos deben estar altamente capacitados para entregar soluciones inmediatas.

Una institución educativa que forme profesionales en el campo aeronáutico, de acuerdo a la RDAC 147 ESCUELA DE TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO AERONÁUTICO, Sub parte B Requerimientos de certificación, debe contar con una estación de NDT (Ensayos No Destructivos), herramientas especiales y el equipo del taller, los cuales deben estar en condiciones satisfactorias de trabajo para el propósito para el cual se van a utilizar.

De ahí la importancia de que la estación de NDT debe contar con un manual de capacitación de los diferentes métodos de NDT necesarios para fortalecer las prácticas del área de Materiales y Procesos, contribuyendo al conocimiento de los

tecnólogos e incrementar su nivel educativo y responder de mejor manera para el examen práctico con la AAC (Autoridad Aeronáutica Civil).

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Elaborar un manual de capacitación de NDT para los métodos: Líquidos Penetrantes (PT) y Partículas Magnéticas (MT), para mejorar las prácticas de los estudiantes de mecánica aeronáutica del ITSA, en el área de Materiales y Procesos.

1.3.2 Específicos

- Recopilar información bibliográfica actualizada sobre los métodos de NDT.
- Determinar las especificaciones y necesidades para la elaboración de un manual de capacitación de acuerdo con el programa analítico de la materia Materiales y Procesos.
- Determinar el correcto procedimiento para el manejo de los diferentes equipos con que cuenta el área de trabajo.
- Crear una Lista de Chequeo (Check List) de control y llenado de parámetros de los equipos y materiales.
- Crear una hoja de reportes para los métodos Líquidos Penetrantes (PT) y Partículas Magnéticas (MT).

1.4 Alcance

El presente proyecto pretende poner en práctica los conocimientos impartidos de NDT (Ensayos No Destructivos) a estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico a través de procedimientos escritos regidos por códigos, especificaciones y normas como ASTM, ANSI, ASME, NMX y AWS, además ayudará al fortalecimiento de habilidades y destrezas de un técnico aeronáutico al evaluar discontinuidades superficiales en materiales, componentes y partes estructurales de una aeronave.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Ensayos No Destructivos¹

Los ensayos no destructivos, también conocidos como END, NDI o NDT (Non Destructive Test). Son métodos de inspección que se emplean para la detección y evaluación de discontinuidades superficiales y subsuperficiales de los materiales sin destruirlos, sin alterar o afectar su utilidad. Son un campo de la ingeniería que se aplica en la fabricación y/o construcción de componentes, subensambles, equipos e instalaciones donde intervienen varias actividades.

2.1.1 Ventajas

- ✦ El material inspeccionado sigue siendo útil.
- ✦ Son rápidos de aplicar.
- ✦ Solo hay pérdidas cuando aparece material defectuoso.
- ✦ Aumentan la seguridad y confiabilidad de un producto.
- ✦ Procesos de fabricación (fundición, forja soldadura y tratamientos).
- ✦ Producto terminado.
- ✦ Se realiza durante el servicio del componente.

2.1.2 Limitaciones

- ✦ Sus resultados siempre dependen del patrón de referencia empleado en la calibración.

¹ Manual de Ensayos No Destructivos, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

- ✦ La confiabilidad de los resultados depende en gran medida de la habilidad del inspector.

2.1.3 Beneficios de los NDT en Mantenimiento

- ✦ Ayudan a predecir el estado del equipo o material inspeccionado.
- ✦ Ayudan a programar las fechas más convenientes de reparación.
- ✦ Aumentan la seguridad de las reparaciones.
- ✦ Permiten monitorear la vida remanente de los materiales.

2.1.4 Razones para Seleccionar un Método de NDT

En la inspección de recepción, determina si la materia prima cumple con los requisitos de calidad solicitados por el cliente.

En la inspección en proceso, determina si un objeto es aceptable después de cada etapa de fabricación.

En la inspección final, determina si un objeto es aceptable para su uso final.

En la inspección en servicio, si un objeto en uso es confiable para continuar en servicio.

2.1.5 Niveles de Calificación y Certificación

Los niveles se dan para cada método de inspección por NDT y son establecidos en función de sus conocimientos, experiencia práctica y responsabilidades que tiene el técnico al realizar una inspección, para ello se ha establecido una etapa de aprendizaje y tres niveles de certificación.

2.1.5.1 Aprendiz o Asistente

Es un individuo quien está participando en un programa de entrenamiento para un método NDT y no está certificado. Los aprendices obtendrán experiencia en trabajos bajo la supervisión de un Nivel I o Nivel II en el mismo método. Los aprendices pueden también obtener experiencia de trabajo bajo la supervisión de

un Nivel I o Instructor cuando sea aprobado por el Nivel III responsable. Los aprendices no tomarán decisiones de aceptación o rechazo.

2.1.5.2 Nivel I NDT

Es el técnico que puede llevar a cabo una calibración específica del equipo de prueba, la realización de la inspección y la evaluación específica de las indicaciones para la aceptación bajo la dirección del personal certificado con nivel II o III.

2.1.5.3 Nivel II NDT

Tendrá las habilidades y conocimientos para ajustar y calibrar equipos interpretar, evaluar para su aceptación o rechazo y documentar los resultados de acuerdo con los procedimientos aplicables o aprobados por el nivel III. Estará completamente familiarizado con el alcance y limitaciones del método en el cual está calificado, certificado y será capaz de proporcionar la dirección necesaria a los aprendices y Nivel I. Estará familiarizado con los códigos, normas y otros documentos que controle el método utilizado. Sera capaz de elaborar y desarrollar procedimientos específicos en base a procedimientos generales aprobados, estos procedimientos requieren la aprobación del Nivel III.

2.1.5.4 Nivel III NDT²

Tendrá las habilidades y conocimiento para interpretar códigos, normas y otros documentos que controlen el método utilizado. En caso de no haber un procedimiento específico de un componente, podrá seleccionar el método de inspección aplicable para el mismo, previa coordinación con el Dpto. de Ingeniería. Aprobará los procedimientos NDT y otros relacionados con las instrucciones de trabajo.

² LATACUNGA-CEMA / BIBLIOTECA / PRÁCTICA ESCRITA NDT

Tendrá conocimiento general de todos los métodos NDT. Será capaz de conducir o dirigir el entrenamiento y examinación del personal en el método certificado. Conducirá inspecciones NDT para la aceptación de los artículos solamente cuando una demostración de dominio en esta capacidad sea concluida en la examinación práctica durante la prueba de certificación.

2.2 Métodos de Inspección de NDT según ASNT

Tipo de Método	Abreviaturas
1. Inspección Visual	VT
2. Líquidos Penetrantes	PT
3. Partículas Magnéticas	MT
4. Corrientes Eddy	ET
5. Ultrasonido	UT
6. Radiografía	RT
7. Emisión Acústica	AET
8. Radiografía con Neutrones	NRT
9. Termografía Infrarroja	TIR
10. Análisis de Vibraciones	VA
11. Prueba de Fuga	LT

2.3 Clasificación de los Métodos NDT³

- a) Técnicas de Inspección Superficial
- b) Técnicas de Inspección Volumétrica
- c) Técnicas de Inspección de Integridad o hermeticidad

2.3.1 Técnicas de Inspección Superficial

Se emplean para detectar y evaluar las discontinuidades abiertas a la superficie (VT y PT) y/o muy cercanas a ella (MT y ET).

- Inspección Visual

³ Norma Mexicana NMX-B-482-1991

- Líquidos Penetrantes
- Partículas Magnéticas
- Corrientes Eddy

2.4 Método de Líquidos Penetrantes

2.4.1 Descripción del Método

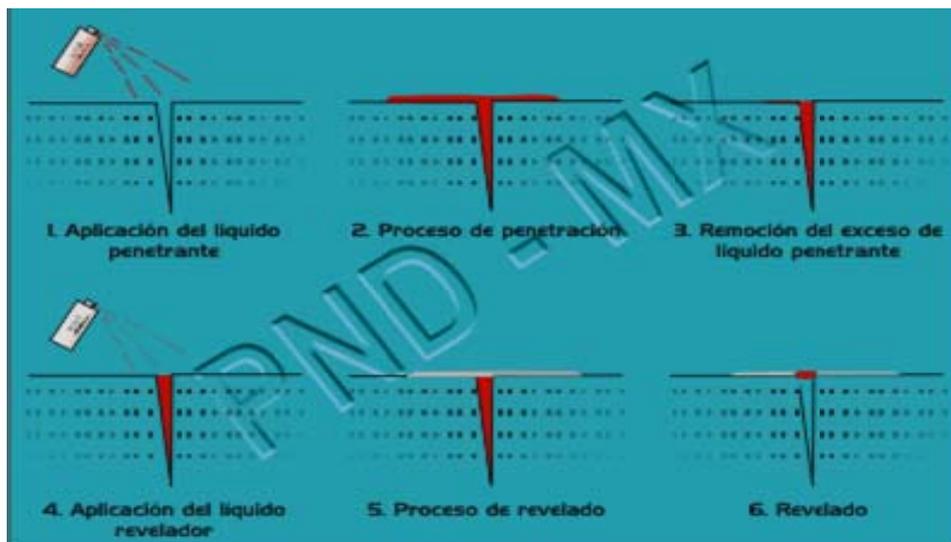


Figura 2.1 Proceso de aplicación de Líquidos Penetrantes

Fuente: http://pndmx.comze.com/liquidos_word.html

Método de inspección superficial del tipo físico-químico que consiste en aplicar a la superficie de un componente (no porosa o con exclusiva rugosidad o escamado) un líquido con pigmentación contrastante o fluorescente para que se introduzca por capilaridad en las posibles discontinuidades para detectar defectos superficiales muy pequeños para ser vistos con una inspección visual normal. Después de remover el exceso de penetrante se aplica un revelador que extrae el líquido de las discontinuidades y lo muestra sobre un fondo contrastante.

El método de tintes penetrantes se introdujo a la industria en los años que precedieron a la Segunda Guerra Mundial, siendo la principal causa de poder disponer de un control válido alternativo al de Partículas Magnéticas el cual

requería, para su aplicación material con características ferromagnéticas, especialmente en el campo aeronáutico.

Esta técnica, basada en el fenómeno de capilaridad, permite evidenciar de una manera rápida y confiable, discontinuidades abiertas a la superficie (fisuras, porosidad, pliegues, etc.) sobre casi cualquier componente (ferroso y no ferroso), independientemente de la geometría y del material de limpieza.

El origen del ensayo por tintes penetrantes se remonta a fines del siglo pasado en donde los talleres ferroviarios de Hartford (USA) aplicaban el procedimiento de “aceite y blanqueo” para la detección de fisuras en componentes de vagones y locomotoras. La técnica consistía en una limpieza adecuada de la parte a examinar con la ayuda de agua caliente y con su respectivo secado. Luego se sumergía el elemento en una mezcla caliente de aceite (25%) y kerosene (75%), quitando el exceso con paños y papeles. El siguiente paso era el blanqueo con cal o tiza en una suspensión alcohólica. Finalmente se observaba la posible exudación del aceite en la cal en las zonas defectuosas de la parte. Este método presentaba baja sensibilidad debido al poco contraste y a las características inadecuadas de los líquidos empleados.

En 1941 Roberto y Jose Switzer patentan un método mejorado, el que luego venden a Magnaflux Corporation. Así con su comercialización comienza la difusión de la técnica.

Actualmente el NDT de PT posee una alta sofisticación según los productos empleados, detectando fisuras de espesores de décimos de micrón.

2.4.2 Aplicaciones del Método⁴

- Las aplicaciones de esta técnica son amplias, y van desde la inspección de piezas críticas como son los componentes aeronáuticos hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Inspecci%C3%B3n_por_l%C3%ADquidos_penetrantes

- Aplicable a cualquier tipo de material de estructura no porosa, ya sea metálico o no metálico.
- En superficies con acabado de maquinado o de rectificado.
- En superficies con acabado burdo: en piezas de fundición, forjadas y uniones con soldadura.
- En piezas de cualquier tamaño y configuración geométrica con zonas accesibles.
- Detección, evaluación y medidas dimensionales del defecto.

2.4.3 Ventajas y Limitaciones del Método

2.4.3.1 Ventajas

- Relativamente fácil de aplicar.
- Bajo costo de inspección.
- Muy sensible para la detección de discontinuidades expuestas a la superficie.
- Detecta una gran gama de discontinuidades no importando su orientación ni la configuración de la pieza.
- Requiere pocas horas de entrenamiento y experiencia inicial.
- Equipo portátil y aplicable en campo.⁵

2.4.3.2 Limitaciones⁶

- Sólo detecta discontinuidades superficiales.
- La superficie a inspeccionar debe estar limpia y sin recubrimientos.
- No se puede inspeccionar materiales demasiado porosos.
- Difícil establecimiento de patrones.
- Una selección incorrecta del revelador y/o penetrante puede ocasionar una pérdida de sensibilidad.

⁵ Manual del Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, A.C.

⁶ <http://www.monografias.com/trabajos31/liquididos-penetrantes/liquididos-penetrantes.shtml>

2.4.4 Clasificación de los Tintes Penetrantes

Tabla 2.1 Clasificación de los Tintes Penetrantes⁷

Tipo I – Penetrante Fluorescente
Método A – Lavable con Agua (Método E1209)
Método B – Post-Emulsificable, Lipofílico (Método E1208)
Método C – Removible con Solvente (Método E1219)
Método D – Post-Emulsificable, Hidrofílico (Método E1210)
Tipo II – Penetrante Visible
Método A – Lavable con agua (Método E1418)
Método C – Removible con Solvente (Método E1220)

Fuente: ASME Sec. V, Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE-165

2.4.4.1 Tipos⁸

2.4.4.1.1 Examinación con Penetrantes Fluorescentes



Figura 2.2 Examinación con penetrante Fluorescente

Fuente: <http://www.dinatecnica.com.ar/detalle.php?id=69>

Utiliza penetrantes que florecen brillantemente cuando son excitados por la luz negra. La sensibilidad del penetrante fluorescente depende de su habilidad a ser retenida en los diferentes tamaños de discontinuidades durante el proceso, luego de limpiar la capa del revelador produce indicaciones que florecerán. Las

⁷ ASME Sec. V, Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE - 165

⁸ ASME Sec. V, Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE - 165

indicaciones fluorescentes son muy luminosas en su ambiente cuando son vistas bajo la iluminación de luz negra.

2.4.4.1.2 Examinación con Penetrantes Visibles



Figura 2.3 Examinación con penetrante visible

Fuente: <http://www.irizarforge.com/es/calidad>

Usa un penetrante que puede ser visto en luz visible, natural o artificial. El penetrante es usualmente rojo, para que las indicaciones produzcan con un definido contraste con el fondo blanco del revelador.

El proceso de penetrante visible no requiere el uso de luz negra. Sin embargo deben verse las indicaciones del penetrante bajo una luz blanca adecuada.

Los siguientes párrafos son traducciones de las normas ASME y ASTM, interpretados y adecuados de acuerdo al medio que se trabaja.

2.4.4.2 Método

2.4.4.2.1 Método A: Lavables con Agua

Este método normalmente se usa para la inspección en la producción de grandes volúmenes de partes o estructuras dónde el énfasis está en la productividad. El método disfruta una latitud ancha en la pertinencia cuando extenso y controló las condiciones están disponibles. Los niveles múltiples de sensibilidad pueden ser logrados por la selección apropiada de materiales y variaciones en el proceso.

2.4.4.2.2 Método B: Post-Emulsificables Lipofílico

La examinación por este método normalmente se usa en la producción de componentes críticos o estructuras cuando:

- (a) Remoción de cantidades excesivas de penetrante en discontinuidades usando un proceso lavable con agua que puede ser un problema
- (b) el uso de un removedor hidrofílico es impráctico.

2.4.4.2.3 Método C: Removible con Solventes

Esta práctica es creada principalmente por la portabilidad y por la revisión de las áreas localizadas, utilizando un equipo mínimo, cuando el nivel más alto de sensibilidad que puede lograrse es usando el proceso visible si se requiere. La aspereza de la superficie puede ser un factor limitando. En ese caso, un proceso alternativo como el penetrante post-emulsionado debe ser considerado, cuando una rectificación o fabricación no son prácticas.

2.4.4.2.4 Método D: Post-Emulsificables Hidrofílico

Esta práctica es normalmente usada para la revisión de componentes críticos, donde la reproductibilidad es esencial. Mas controles de procedimientos y pasos de procesamiento son requeridos con otros procesos.

2.4.5 Tipos de Materiales⁹

2.4.5.1 Materiales

Los materiales para la Examinación con Líquidos Penetrantes consiste de penetrantes fluorescentes y visibles, emulsificadores a base de aceite y a base de agua, de acción rápida y lenta), removibles con solvente, y reveladores. La familia de materiales para la examinación por tintes penetrantes consiste de penetrantes

⁹ ASME SE-165 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination (Método Estándard para Examinación con Líquido Penetrante)

y emulsificador o removedor, recomendados por un fabricante. No es recomendable mezclar materiales de diferentes marcas.

2.4.5.2 Penetrantes

2.4.5.2.1 Post-emulsificable

Los penetrantes están diseñados para ser insolubles en agua y no pueden ser removidos solamente con agua.

Están diseñados para ser selectivamente removidos de la superficie usando emulsificador por separado.

El emulsificador correctamente aplicado y con un adecuado tiempo de emulsificación, al mezclarse con el exceso de penetrante en la superficie forma una mezcla lavable con agua, la cual puede ser limpiada, dejando la superficie libre del fondo fluorescente. El tiempo adecuado de emulsificación será experimentalmente establecido y mantenido para asegurar que no ocurra una sobre emulsificación dando como resultado pérdidas de indicaciones.

2.4.5.2.2 Penetrantes Lavables con Agua

Están diseñados para ser lavables con agua directamente desde la superficie de la parte a examinar después de un adecuado intervalo de tiempo que ha penetrado. Los emulsificadores están formados para los penetrantes lavables con agua, esto es extremadamente importante para un adecuado entrenamiento de control de procesos en remover el penetrante excesivo de la superficie para asegurarse que no exista un sobre lavado. Los penetrantes lavables con agua pueden ser lavados fuera de las discontinuidades si el enjuague es muy prolongado y muy vigoroso. Algunos penetrantes son menos resistentes que otros a la sobre lavada.

2.4.5.2.3 Penetrantes Removibles con Solvente

Están diseñados para que el penetrante excesivo en la superficie pueda ser removido limpiando hasta que la mayoría del penetrante sea removida. Los

sobrantes serán removidos con solventes. Para minimizar la remoción del penetrante en discontinuidades, se hace con cuidado para prevenir el uso excesivo del solvente. Es prohibido lavar la superficie para eliminar el exceso de líquido penetrante.

2.4.5.3 Emulsificadores

2.4.5.3.1 Emulsificador Lipofilico

Son líquidos miscibles con aceite usados para emulsificar el exceso aceitoso del penetrante sobre la superficie de la parte, dejándola lavable con agua. La velocidad de difusión establece el tiempo de emulsificación. Estos son de acción lenta o rápida dependiendo de su viscosidad o composición química y también de la rugosidad del área de la superficie a ser inspeccionada.

2.4.5.3.2 Emulsificador Hidrofilico

Son líquidos miscibles con agua usados para emulsificar el exceso aceitoso del penetrante sobre la superficie de la parte, dejándola lavable con agua. Este emulsificador a base de agua (removedor tipo detergente) es provisto como concentrador para ser diluidos con agua y usados para mojar o rociar. La concentración se usa y se mantiene de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

2.4.5.4 Removedor con Solvente ¹⁰

Su función es disolver el penetrante haciendo lo posible para dejar la superficie limpia y libre del exceso de penetrante. Se clasifican en:

¹⁰ ASTM E1417-99 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination (Páctica Estándar para Examinación con Líquidos Penetrantes)

- ✦ Clase 1, Halogenado
- ✦ Clase 2, No Alogenado.
- ✦ Clase 3, Aplicación Específica.

2.4.5.5 Reveladores

El desarrollo de las indicaciones penetrante es el proceso de llevar a cabo al penetrante fuera de discontinuidades abiertas a través de la acción del revelador aplicado, aumentando así la visibilidad de las indicaciones.

2.4.5.5.2 Reveladores Acuoso

Son provistos como partículas de polvo seco para ser disueltas en agua. La concentración se usa de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

2.4.5.5.3 Reveladores Húmedos no Acuoso

Están provistos como una suspensión de partículas reveladoras portando solvente no acuoso listo para usar. Los reveladores húmedos no acuoso forman una cobertura sobre la superficie de la parte cuando está seca, la cual funciona como un medio de revelado.

2.4.5.5.4 Reveladores de Película Líquida

Son soluciones o suspensiones coloides de resinas o polímeros. Estos reveladores formaran una capa transparente o trasluciente sobre la superficie de la parte.

2.4.6 Secuencia de la Examinación del Penetrante¹¹

1. Preparación de la Superficie
2. Secado después de la Preparación

¹¹ ASME Sec. V Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE - 165

3. Aplicación del penetrante
4. Tiempo de penetración
5. Remoción del exceso de penetrante
6. Secado de la superficie después de la remoción del exceso de penetrante
7. Revelado
8. Interpretación
9. Limpieza post-examinación
10. Evaluación
11. Verificación de una Indicación Según ASTM E-1417-99
12. Remoción de una Discontinuidad Según ASTM E-1417-99

2.5 Método de Partículas Magnéticas

2.5.1 Descripción del Método

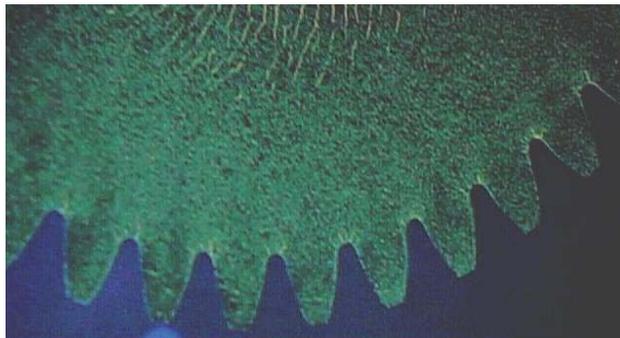


Figura 2.4 Indicaciones por Partículas Magnéticas

Fuente: http://www.cima-co.com/movil/tintas_penetrantes.html

La inspección por partículas magnéticas es aplicable únicamente a materiales con propiedades ferro magnéticas, ya que se utiliza principalmente corriente eléctrica para crear un flujo magnético dentro de la pieza y al aplicar las partículas magnéticas (polvo fino de limaduras de hierro) produce la indicación donde exista distorsión en las líneas de flujo (fuga de campo).

Mediante este ensayo se puede lograr la detección de defectos superficiales y subsuperficiales (hasta 5 mm $\frac{1}{4}$ in debajo de la superficie del material). El

acondicionamiento previo de la superficie, al igual que en las Tintas Penetrantes, es muy importante, aunque no tan exigente y riguroso.

Es un método de END de los más antiguos que se conoce, inició en 1868 un Ingeniero Inglés publicó un reporte, en el cual se mencionaba la localización de discontinuidades presentes en el cañón de una pistola utilizando un compás magnético, en el que se registro un cierto flujo.

En el siglo XX, en 1922, el Físico Ingles William E. Hoke observó que partículas metálicas que se encontraban sobre piezas de acero endurecido conectadas a tierra, sobre un mandril magnético, formaban patrones sobre la cara de la pieza, estos frecuentemente correspondían a sitios en donde se localizaban grietas en la superficie. Esta observación marcó el nacimiento de la inspección por partículas magnéticas.

Encontrando en la actualidad, una gran variedad de aplicaciones en las diferentes industrias.

2.5.2 Aplicaciones del Método¹²

Se utilizan para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales hasta una profundidad de 6 mm (1/4") aproximadamente en materiales ferro magnéticos tales como:

- Piezas de fundición, forjadas, roladas.
- Cordones de soldadura.
- Inspección en servicio de algunas partes de avión, ferrocarril, recipientes sujetos a presión.
- Ganchos y engranes de grúa, estructuras de plataforma, entre otros.

Es sensible para la detección de discontinuidades de tipo lineal, como:

¹² Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.

- Grietas de fabricación o por fatiga.
- Desgarres en caliente.
- Traslapes.
- Costuras,
- Faltas de fusión.
- Laminaciones, entre otros.

2.5.3 Ventajas y Limitaciones¹³

2.5.3.1 Ventajas



Figura 2.5 Ventajas del Método

Fuente: <http://www.irizarforge.com/es/calidad>

- Se puede inspeccionar las piezas en serie obteniéndose durante el proceso, resultados seguros e inmediatos.
- La inspección es más rápida que PT y de bajo costo.
- Portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.
- Requiere menor limpieza que PT.
- Detecta tanto discontinuidades superficiales y subsuperficiales.
- Las indicaciones son producidas directamente en la superficie de la pieza, indicando la longitud, localización, tamaño y forma de las discontinuidades.
- El equipo no requiere de un mantenimiento extensivo.

¹³ Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.

- Mejor detección de las discontinuidades que se encuentran llenas de carbón, escorias u otros contaminantes y que no pueden ser detectadas con una inspección por Líquidos Penetrantes.

2.5.3.2 Limitaciones

- Es aplicable solamente a materiales ferromagnéticos; en soldadura, el metal depositado debe ser también ferromagnético.
- Los mejores resultados se obtienen cuando el campo intercepta perpendicularmente al plano principal de la discontinuidad, por lo que muchas veces hay que magnetizar secuencialmente en diferentes direcciones.
- La detección de una discontinuidad dependerá de muchas variables:
 - La permeabilidad del material.
 - El tipo, localización y orientación de la discontinuidad.
 - La cantidad y tipo de corriente magnetizante empleada.
- No se requiere de lecturas electrónicas de calibración o mantenimiento excesivo.
- Aunque las indicaciones de partículas magnéticas son fácilmente observables, la experiencia en la interpretación es muchas veces necesaria, especialmente en inspecciones críticas como es el caso de partes aeronáuticas

2.5.4 Principio del Método por Partículas Magnéticas

El principio físico en el que se basa el método de inspección por partículas magnéticas es el “Magnetismo”. El principio se basa en el comportamiento de los imanes.

2.5.4.1 Magnetismo¹⁴

Es una fuerza invisible que tiene la habilidad para hacer trabajo mecánico de atracción ó repulsión de materiales magnetizables.

Los materiales que son susceptibles de imantarse o magnetizarse son aquellos que en su estructura molecular existen dominios magnéticos ó también llamados dipolos magnéticos.

La magnetización de un material ferromagnético se puede lograr mediante la inducción de un campo magnético fuerte, desde una fuente externa de magnetización (un electroimán), o mediante el paso de corriente directamente a través de la pieza. La fuerza del campo generado es resultado de la cantidad de corriente eléctrica que se aplique y el tamaño de la pieza, entre otras variables.

Una vez magnetizado el objeto de estudio, éste se comporta como un imán, es decir, se crean en él dos polos magnéticos Sur y Norte. Estos polos determinan la dirección de las líneas de flujo magnético, las cuales viajan de Norte a Sur.

Teniendo la pieza magnetizada (magnetización residual), y/o bajo la presencia constante del campo magnético externo (magnetización continua), se aplica el polvo de limadura de hierro seco, o suspendido en un líquido (agua o algún destilado del petróleo). Donde se encuentre una perturbación o una fuga en las líneas de flujo magnético, las pequeñas partículas de hierro se acumularán, formando la indicación visible o fluorescente, dependiendo del material usado.

2.5.4.2 Líneas de Fuerza o de Flujo Magnético

Representan y describen la dirección del flujo magnético producido por la alineación de las fuerzas de campo individual de los dominios magnéticos. No son observables a simple vista.

¹⁴ Inspección por Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

Características de las Líneas de Flujo

- a) Forman trayectorias cerradas
- b) No se traslapan o cruzan entre sí.
- c) Fluyen del polo sur al polo norte por dentro del imán y de norte a sur fuera de él.
- d) Su concentración es mayor en los polos.
- e) Siguen la trayectoria de menor resistencia.
- f) Son distorsionadas cuando son interceptadas por una discontinuidad.

2.5.4.3 Ley de Atracción y de Repulsión Magnética

Si dos polos magnéticos iguales son colocados uno cerca del otro, ambos se repelen.

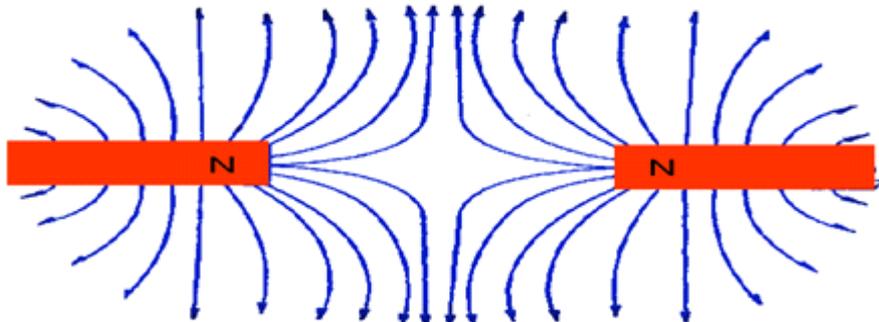


Figura 2.6 Polos iguales se repelen

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos30/particulas-magneticas/particulas-magneticas.shtml>

Si dos polos magnéticos diferentes son colocados uno cerca del otro, ambos serán atraídos.

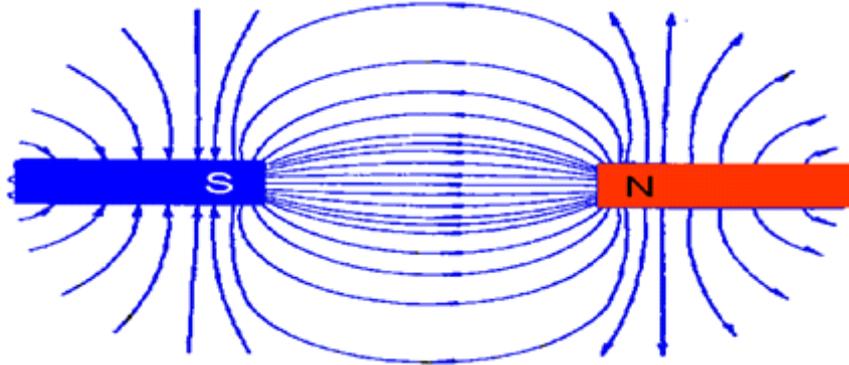


Figura 2.7 Polos diferentes se atraen

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos30/particulas-magneticas/particulas-magneticas.shtml>

2.5.5 Campos de Fuga

2.5.5.1 Material sin Defectos

El método de inspección por partículas magnéticas tiene como finalidad localizar e identificar discontinuidades en materiales ferromagnéticos. En ausencia de grietas o discontinuidades, las líneas del campo magnético pasan de un extremo al otro del objeto sin salir a la superficie.

2.5.5.2 Discontinuidad o Defecto Superficial

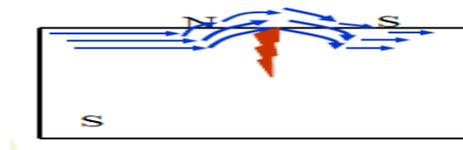


Figura 2.8 Discontinuidad superficial

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

En presencia de una discontinuidad o defecto, algunas líneas del campo magnético pudieran salir del objeto y al espacio. Si sobre la superficie del objeto rociamos partículas ferromagnéticas muy pequeñas, resultarán atraídas y retenidas por el campo de fuga en la región de la discontinuidad. Aún cuando esta pudiera ser muy pequeña para ser visible al ojo desnudo, el campo magnético podría aún resultar suficientemente perturbado como para atraer un número suficiente de pequeñas partículas que permitan formar una indicación visible.

Estas partículas pueden colorearse para hacerlas más visibles y hacer así que el método de inspección sea más sensible. Aún cuando la discontinuidad no se abra sobre la superficie, el campo pudiera perturbarse lo suficiente como para que salga del objeto. Las partículas magnéticas pueden resultar por lo tanto atraídas a la superficie inmediatamente encima del defecto.

2.5.5.3 Discontinuidad Interna

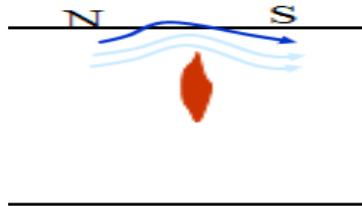


Figura 2.9 Discontinuidad interna

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas,
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

Una discontinuidad oculta en el interior de un objeto pudiera no perturbar las líneas de fuerza para hacerlas salir de la superficie. En este caso no habrá atracción de partículas ni indicación superficial.

2.5.5.4 Orientación de las Discontinuidades

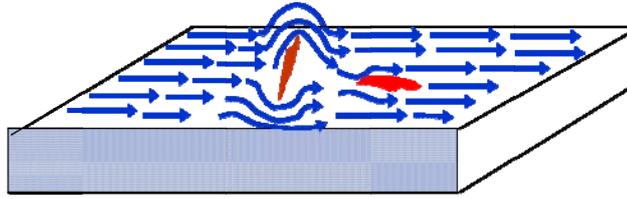


Figura 2.10 Orientación de las discontinuidades

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas,
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

Una discontinuidad de orientación paralela al campo magnético en el objeto producirá un efecto mucho menor sobre el campo que una discontinuidad que sea perpendicular al campo.

La sensibilidad de este método de inspección será mucho mejor para aquellas discontinuidades que tengan una orientación de 90° con relación al campo, produciendo resultados aceptables aún cuando el ángulo de tal orientación se reduzca hasta unos 75° .

2.5.6 Partículas Magnéticas



Figura 2.11 Partículas Magnéticas

Fuente: http://www.testekndt.net/website/index.php?option=com_djcatalog2&view=item&id=83&cid=27&Itemid=146

Básicamente son materiales ferromagnéticos fragmentados que se les adicionan colores fluorescente o visibles y hacerlos fácilmente detectables sobre la superficie de la pieza.

2.5.6.1 Características de las Partículas

- a) Deben tener alta permeabilidad para ser fáciles de magnetizar y baja retentividad para no ser atraídas unas a otras (aglomeración).
- b) Control de tamaño y forma (redondas y alargadas).
- c) No deben ser tóxicas
- d) Deben estar libres de moho, grasa, pintura, suciedad y otros materiales extraños.

2.5.6.2 Tipos de Partículas

Las partículas son diseñadas para ser usadas como:

- Un flujo libre de polvo seco
- Una suspensión (llamadas partículas húmedas) a una concentración dada en un medio líquido adecuado.

2.5.6.2.1 Partículas Secas

- a) Su presentación es en forma de polvo fino.
- b) Son usadas tal como se suministran
- c) Se aplican por aspersion o espolvoreado.
- d) Se pueden usar bajo condiciones ambientales extremas (frio o calor)
- e) Son mejores para detectar discontinuidades subsuperficiales
- f) Tiene mejor movilidad con corriente de media onda rectificada.
- g) Son fáciles de remover.
- h) Su Color puede ser: rojo, negro, gris, azul, verde o naranja. Se selecciona el color que mayor contraste tenga con la superficie a inspeccionar.

2.5.6.2.1.1 Desventajas

- Menor probabilidad de detección de discontinuidades finas.
- No existe evidencia de cobertura completa en la superficie de la pieza.
- Promedio menor de producción de piezas inspeccionadas.
- Difícil de adaptar a sistemas de inspección automática.
- Existe probabilidad de inhalarlas

2.5.6.2.2 Partículas en Suspensión

- a) Son suspendidas en un vehículo (agua o un destilado ligero de petróleo)
- b) Se aplican por aspersión o por baño.
- c) Las hay fluorescentes y contrastantes.
- d) Se suministran secas o premezcladas en un concentrado en agua o con el destilado de petróleo.
- e) Generalmente se usan en unidades horizontales.
- f) Detectan discontinuidades muy finas.
- g) Se usan a puerta cerrada o donde puede controlarse la luz ambiental.
- h) Son de color verde/amarillo brillante (fluorescente).
- i) Son de color negro o café rojizo (no fluorescente)
- j) La concentración inicial del baño debe ser como lo indique el fabricante y debe verificarse por decantación diariamente.

2.5.6.2.3 Pasta Magnética

- Las partículas están suspendidas en un aceite viscoso (pesado).
- Se aplica con brocha antes de magnetizar.
- Facilita la inspección en posición sobre cabeza o vertical.
- El vehículo puede ser combustible, pero el riesgo ante el fuego es muy bajo.

2.5.7 Equipos usados para la inspección¹⁵

2.5.7.1 Yugos

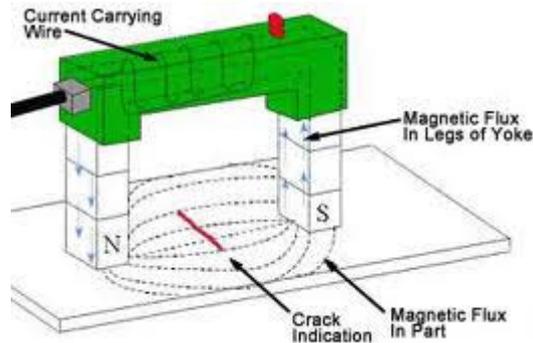


Figura 2.12 Yugo Electromagnético

Fuente: <http://patevaca.blogspot.com/2009/08/seguridad-laboral.html>

El yugo es el generador más simple de campos magnéticos; básicamente consiste en una barra de hierro dulce o en un núcleo en forma de U, y un conductor enrollado alrededor de la porción central del núcleo. Debido a la alta permeabilidad del hierro dulce (y por lo tanto a su muy baja retentividad), cuando pase una corriente por la bobina se inducirá un fuerte campo longitudinal en el núcleo.

Los extremos del yugo se polarizan fuertemente y el circuito magnético se cierra en el aire, o con todo otro material ferromagnético que conecte los brazos del yugo; la intensidad del campo es función del número de espiras en la bobina y de la intensidad de la corriente que pasa por la misma.

La mayoría de los yugos han sido diseñadas para funcionar con corriente alterna de 115 y otros diseños requieren corriente alterna de 230 V mientras que otros aún funcionan por medio de baterías (los aparatos accionados con batería presentan ventajas únicas en las inspecciones sobre el terreno).

¹⁵ Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.

Los modelos más simples producen campos de corriente continua o alterna, según sea su fuente de alimentación. Los yugos más complejos comprenden un conmutador selector de CA/CC y un dispositivo de control para aumentar o reducir la corriente. Existen yugos de varios tamaños y con una separación promedio entre brazos de 150 a 200 mm. Los modelos con extremos flexibles permiten su ajuste a contornos superficiales diversos.

En la inspección por partículas magnéticas los principales atributos de los yugos son:

- Pequeñas y portátiles.
- Pueden funcionar por medio de baterías en áreas alejadas de líneas eléctricas.
- Pueden emplearse en espacios limitados.
- No tienen tendencia a producir puntos endurecidos como sucede con la magnetización por puntas de contacto.

Las limitaciones inherentes a los yugos son las siguientes:

- Tienen tendencia a sobrecalentarse, especialmente cuando se usan de modo continuo; por ello su uso debería limitarse solamente a ciclos periódicos.
- Como quiera que los yugos no van por lo general equipadas con amperímetros, la intensidad del campo no puede relacionarse directamente al flujo de corriente y deberá medirse por otros medios.

Aplicaciones más importantes de la magnetización por yugo:

- Inspección de mantenimiento en servicio,
- Verificación puntual de soldaduras, especialmente entre pasadas,
- Investigación de áreas sospechosas (búsqueda de fallas).

2.5.7.1.1 Prueba de Funcionamiento del Yugo Magnético

La efectividad de un yugo magnético se determina por su capacidad para levantar un peso. En un ejemplo típico (Código de la ASME para Calderas y Recipientes de Presión) es de 4,5 k para un yugo de CA, y 18 k para otro de CC. Si las patas del yugo son del tipo ajustable, la calibración se efectúa dejando entre las patas el mismo espacio que se dejará en la inspección propiamente dicha.

2.5.7.2 Luz Negra

La luz negra es radiación electromagnética situada en la región de 320—400 nm del espectro electromagnético, inmediatamente debajo de la banda visible, y es parte de la frecuencia más baja del ultravioleta (longitud de onda más larga). El ojo es relativamente poco sensible a la luz negra, especialmente en presencia de luz visible. El aspecto funcional reside en que las capas fluorescentes de las partículas ferromagnéticas absorben la luz negra y reemiten de nuevo la energía absorbida como luz visible en la región amarilla—verde del espectro visible.

2.5.7.2 Lámpara de luz Negra



Figura 2.13 Lámpara de luz negra

Fuente: <http://www.nuclearingenieria.com/productos/lampara-de-luz-negra/>

Son lámparas que emiten radiación electromagnética ultravioleta cercana, con una componente residual muy pequeña de luz visible.

2.5.7.2.1 Variación en la Intensidad de Luz Negra

La intensidad de la luz negra deberá comprobarse periódicamente en razón de:

- Las nuevas lámparas pueden tener una intensidad que varía hasta en un 50%.
- La intensidad de la luz negra varía casi directamente en relación con el voltaje aplicado.
- La eficiencia de las lámparas de luz negra disminuye con el uso.
- El polvo y la suciedad reducen la intensidad.

2.5.7.3 Medidor de la Intensidad de Luz Negra

La calibración de la luz negra tiene como finalidad determinar la intensidad de esta luz sobre la superficie que se inspecciona.

Las mediciones de intensidad de luz se hacen usando un radiómetro. Un radiómetro es un instrumento que traduce la energía luminosa en una corriente eléctrica. La luz que incide un detector de fotodiodos de silicio provoca un cargo a acumularse entre las capas internas. Cuando un circuito externo es conectado a la célula, una corriente eléctrica es producida. Esta corriente es lineal con respecto a la luz incidente. Algunos radiómetros tienen la capacidad de medir tanto la luz blanca y UV, mientras que otros requieren un sensor separado para cada medición. La zona de detección siempre debe mantenerse limpio y libre de materiales que pueden reducir u obstruir luz que llega al sensor.

La medición de luz ultravioleta debe ser tomada usando un aparato para mantener una distancia mínima de 15 pulgadas de la superficie del filtro para el sensor. El sensor debe estar centrado en el campo de luz para obtener la lectura máxima. Luces UV planas se centra a menudo que provoca lecturas de la intensidad de variar considerable sobre un área pequeña. Las luces blancas son

rara vez centrado y, dependiendo de la potencia, a menudo se producen en exceso de la 100 fc (footcandle) a 15 pulgadas.¹⁶



Figura 2.14 Medidor de intensidad de luz negra

Fuente: <http://www.neoteo.com/medidor-de-intensidad-de-luz-diy>

2.5.7.4 Indicadores de Campo Magnético

La determinación de si un campo magnético es de resistencia suficiente y en la dirección correcta es crítica al realizar pruebas de partícula magnética. Conocer la dirección del campo es importante debido a que el campo debe ser lo más cercano a la perpendicular al defecto como sea posible y no más de 45 grados desde normal. Ser capaz de evaluar la dirección del campo y la fuerza es especialmente importante cuando se inspecciona con una máquina multidireccional, porque cuando los campos no se equilibran correctamente, un campo vector que se produce puede no detectar algunos defectos.

En realidad no hay facilidad para aplicar el método que permite una medición exacta de la intensidad de campo en un punto dado dentro de un material. Con el fin de medir la intensidad de campo, es necesario para interceptar las líneas de flujo.

¹⁶<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/ProcessControl/Lighting.htm>

Esto es imposible sin cortar el material y el corte del material inmediatamente cambie el campo dentro de la parte. Sin embargo, el corte de una pequeña ranura o agujero en el material y la medición del campo de fuga que atraviesa el espacio de aire con un medidor de Gauss es probablemente la mejor manera de obtener una estimación de la intensidad de campo real dentro de una parte. Sin embargo, hay una serie de herramientas y métodos disponibles que se utilizan para determinar la presencia y la dirección del campo que rodea a un componente.

2.5.7.4.1 Indicador de Campo Magnético¹⁷



Figura 2.15 Indicador de campo magnético

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

Este equipo indica el magnetismo residual que queda en la pieza después de la magnetización, Se utilizan para medir la intensidad de un campo tangencial a la superficie del objeto de prueba magnetizado. Son los encargados de medir la intensidad del campo en el aire adyacente a la componente cuando un campo magnético se aplica.

Las ventajas de los dispositivos son:

- Proporcionan una medida cuantitativa de la intensidad de campo magnético tangencial a la superficie de una pieza de prueba.
- Puede ser utilizado para la medición de campos magnéticos residuales.

¹⁷ <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Equipment/FieldIndicators.htm>

- Pueden ser utilizados repetidamente.

2.5.7.4.2 Indicador Tipo Pastel

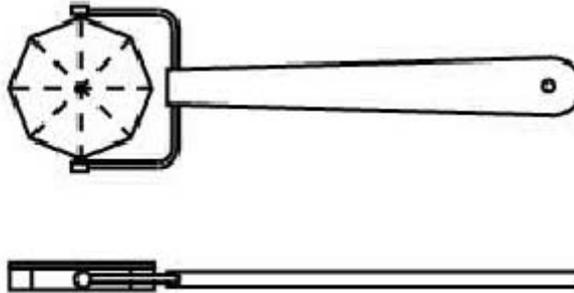


Figura 2.16 Indicador tipo pastel

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

El indicador tipo pastel es un disco de material altamente permeable dividido en cuatro, seis, u ocho secciones de material no ferromagnético. Las divisiones sirven como defectos artificiales que irradian en diferentes direcciones desde el centro. El diámetro de la galga es 3/4 a 1 pulgada. Las divisiones entre las secciones circulares de acero de bajo carbono no deben ser mayores que 1/32. Las secciones son soldadas. El medidor se coloca en el lado de arriba la probeta de cobre y la pieza de ensayo está magnetizada. Después se aplican las partículas y se eliminó el exceso, indicando la orientación del campo magnético.

La aplicación principal es 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 húmedo método, o para probar la magnitud de campo. El medidor debe desmagnetizar entre lecturas.

Varias de las principales ventajas de la galga de pastel son que es fácil de usar y se puede utilizar indefinidamente sin deterioro. La galga pastel tiene varias

desventajas, que incluyen: retiene algo 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 equilibradas en magnetización multidireccional.¹⁸

2.5.8 Métodos de Inspección¹⁹

Existen dos tipos de métodos para la inspección por partículas magnéticas:

1. Continuo

La corriente magnetizadora fluye todo el tiempo en la parte a ser inspeccionada.

2. Residual

La parte es magnetizada y después se remueve la fuerza magnetizante para posteriormente ser inspeccionada (aplicar las partículas).

2.5.9 Técnicas de Magnetización²⁰

2.5.9.1 Magnetización Circular

La circulación de corriente a través de un material ferromagnético produce un campo magnético confinado en su interior, y máximo en su superficie. Podemos aplicar este efecto en la detección de discontinuidades.

Si tomamos una barra con discontinuidades orientadas en distintos sentidos, y hacemos circular corriente a través de ella. Se observa en la Figura 2.17 que la

¹⁸<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Equipment/FieldIndicators.htm>

¹⁹ CRANE, Dale.(2003). "Manual de Mecánica de Aviación". Cuarta Edición. Aviation Supplies & Academics, Inc. Estados Unidos de América.

²⁰ <http://www.elmundodelaaviacion.com.ar/manuales-tecnicos/41-ensayos-no-destructivos/154-modos-de-magnetizacion?format=pdf/>

discontinuidad "A " es paralela a las líneas de fuerza, o sea que no produce polos magnéticos, por lo tanto no provoca campos de fuga y no se detecta. Las discontinuidades "B " y "C " si se detectan.

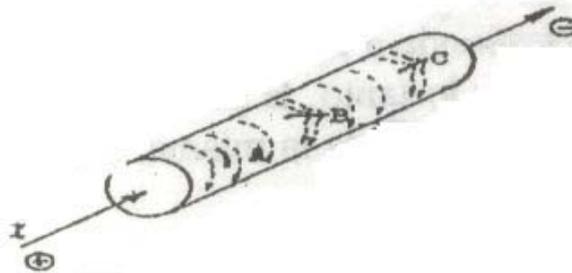


Figura 2.17 Magnetización Circular

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

2.5.9.2 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.

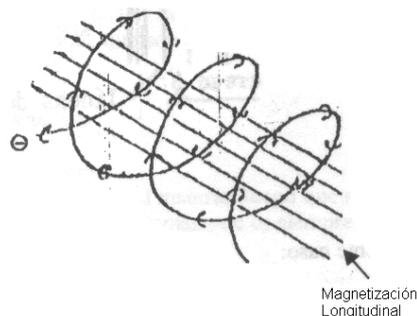


Figura 2.18 Magnetización Longitudinal

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

2.5.10 Secuencia de Inspección por Método de Partículas Magnéticas MT

- 1) Preparación de la superficie
- 2) Magnetización de la superficie a inspeccionarse.
- 3) Selección y aplicación del medio indicador
- 4) Interpretación y evaluación
- 5) Desmagnetización
- 6) Limpieza final

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CAPACITACIÓN DE NDI PARA LOS MÉTODOS TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT FOTÓMETRO, INDICADOR DE FLUJO MAGNÉTICO Y PIE GAGE.

3.1 Preliminares

El presente manual de capacitación es un documento realizado en forma sencilla, clara y detallada de los conceptos y procedimientos correctos a cumplir para examinar una parte o componente aeronáutico mediante NDT según lo establecido en las normas ASTM, ASME, entre otras, con el fin de instruir de manera eficiente y práctica a los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Además cuenta con una lista de chequeo de materiales y equipos donde especificamos el método que se va a realizar, sus equipos y materiales para ejercer la inspección, especificando la descripción y número de parte.

Al final de cada inspección se deberá llenar una hoja de reportes para la Inspección por Líquidos Penetrantes (PT) así como para la Inspección por Partículas Magnéticas (MT) el cual consta de algunos ítems a llenar según el método practicado.

3.2 Lista de Chequeo de Materiales y Equipos

	ESTACIÓN DE NDT		Pág.: 1 de 1
	LISTA DE CHEQUEO DE EQUIPOS Y MATERIALES		Código: ITSA-NDT-01
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian		Revisión N°: 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises		Fecha: Nov-2012
Fecha: Método:			
Equipos-Materiales	Esencial	Descripción	N° de Parte
Lámpara Luz Negra			
Kit Fotómetro			
Indicador Flujo Magnético			
Indicador Tipo Pastel			
Yugo			
Bobina			
Limpiador			
Penetrante			
Revelador			
Partículas Magnéticas			
MEC			
Calibrador pie de rey, regla			
Técnico:		Curso:	

3.3 Manual de Capacitación de la Secuencia de Inspección por Líquidos Penetrantes (PT)

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.1 Requerimientos Previos a la Inspección

Restricciones Técnicas

Según el Código ASME BPV SEC. V Artículo 6 y ASTM 1417-99:

- ✦ No debe hacerse una examinación fluorescente después de una contrastante.
- ✦ No mezclar materiales penetrantes de diferentes familias ó fabricantes.
- ✦ La reexaminación con penetrantes removibles con agua puede causar la pérdida de indicaciones debido a la contaminación.

Temperatura Estándar

Límites de Temperatura: Materiales penetrantes y la superficie de la pieza deben estar entre 50 y 125°F (10 y 52°C); son permitidos calentamientos ó enfriamientos locales.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 2 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Pasos para Realizar la Inspección

3.3.2 Preparación de la Superficie

a) Antes de cada examinación por tintes penetrantes, la superficie a ser examinada y todas sus áreas adyacentes dentro de al menos 1 in. (25 mm) deberá estar seca y libre de toda suciedad, grasa, pelusa, la escarcha, flujo de soldadura, las salpicaduras de soldadura, pintura, aceite y otra materia extraña que podría ocultar aberturas superficiales o interferir con la examinación.

b) Los agentes típicos de limpieza que pueden ser usados (ASME SEC. V. SE-165 Y ASTM E 165-95) son detergentes, disolventes orgánicos y removedores de pintura. También pueden ser usados los métodos de limpieza ultrasónica y desengrasante.

Cualquier Método debe cubrir lo siguiente:

- ✦ No dejar residuos.
- ✦ No cerrar las discontinuidades.
- ✦ No dañar el material a inspeccionar.



Figura 3.1 Limpieza inicial

Fuente: <http://tube.7s-b.com/L%C3%ADquidos+Penetrantes/>

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 3 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.3 Secado después de la Preparación



Figura 3.2 Secado después de la limpieza inicial

Fuente: <http://tube.7s-b.com/L%C3%ADquidos+Penetrantes/>

Después de la limpieza, el secado de la superficie se realizará mediante evaporación normal, o con aire forzado frío o caliente para asegurarse que la solución limpiadora se ha evaporado antes de la aplicación del penetrante.

3.3.4 Aplicación del Penetrante

El penetrante puede ser aplicado mediante cualquier medio adecuado como brocha, inmersión o rociado. Si el penetrante es aplicado usando espray se debe agitar, colocarlo a una distancia de 20 a 30 cm y rociar uniformemente sobre la superficie a inspeccionar.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 4 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.3 Aplicación con brocha

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52



Figura 3.4 Aplicación por inmersión

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52



Figura 3.5 Aplicación por rociado

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 5 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.5 Tiempo de Penetración

La norma SE-165 (ASME SECC. V ART. 24) proporciona una guía para la selección del tiempo de penetración:

Tabla 3.1 Tiempo mínimo de penetración y revelado

MATERIAL	PROCESADO	TIEMPO DE PENETRACIÓN (min)	TIEMPO DE REVELADO (min)
Aluminio, Magnesio, acero, Bronce, titanio	✓ Fundición y soldaduras.	5	10
	✓ Material conformado: Extrusión Forja Placa	10	10

Fuente: ASME Sec. V, Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE-165

3.3.6 Remoción del Exceso de Penetrante

Después de que ha transcurrido el tiempo de penetración especificado, cualquier resto de penetrante que queda en la superficie será eliminado teniendo cuidado de minimizar la remoción de penetrante de las discontinuidades.

a. Penetrantes lavables con agua

Con agua por aspersion ó inmersión, su temperatura debe estar entre 10 y 38° C y su presión no mayor a 40 psi (275 kPa); el tiempo de enjuague no debe ser mayor a 120 segundos; evitar un sobre lavado.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 6 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.6 Remoción del penetrante

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52

b. Penetrantes removibles con solvente

El exceso de penetrante removible con solvente debe ser removido limpiando con un paño o papel absorbente. Repitiendo la operación hasta que la mayoría de los restos de penetrante se han eliminado. Los residuos restantes serán retirados por la ligera limpieza de la superficie con un paño o papel absorbente humedecido con solvente. Para minimizar la remoción de penetrante de las discontinuidades, tener cuidado para evitar el uso excesivo de solvente. Prohibido limpiar directamente con solvente.



Figura 3.7 Remoción con solvente

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 7 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.7 Secado de la superficie después de la remoción

- a) Para la técnica lavable con agua, la superficie puede ser secada mediante la circulación de aire, siempre que la temperatura de la superficie no sea mayor a 125 ° F (52 ° C).
- b) Para la técnica removible con solvente, las superficies pueden ser secado por evaporación normal, limpieza o de aire forzado.

3.3.8 Revelado

El revelador debe ser aplicado tan pronto sea posible después de remover el penetrante; el intervalo de tiempo no debe exceder al establecido en el procedimiento. El insuficiente espesor del recubrimiento no puede extraer el penetrante de las discontinuidades, al contrario, el espesor del recubrimiento excesivo puede enmascarar las indicaciones. Con penetrantes contrastantes de color, solo debe ser usado un revelador húmedo. Con penetrantes fluorescentes solo debe ser usado un revelador húmedo o seco.

- a) Aplicación del revelador seco

El revelador seco será aplicado en la superficie seca mediante un cepillo suave, bulbo manual de polvo, goma para polvo o por otros medios, con la condición de que el polvo se aspergee de manera uniforme sobre toda la superficie a examinar.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 8 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

b) Aplicación del revelador húmedo



Figura 3.8 Aplicación del revelador

Fuente: <http://www.cardenaspd.com/index.php?contenido=galeria&sub=4>

Antes de aplicar la suspensión reveladora tipo húmedo a la superficie, el revelador debe ser agitado adecuadamente para asegurarse que se dispersen las partículas suspendidas. Aplicar a una distancia de 20 a 30 cm de la superficie.

- 1 El tiempo para la interpretación final inicia inmediatamente después de la aplicación de un revelador seco o tan pronto que la capa del revelador húmedo este seca por evaporización normal. El mínimo tiempo de revelado a ser requerido lo encontramos en la tabla 3.1

c) Monitoreo del revelado

Los tipos de discontinuidades son difíciles de evaluar si el penetrante se difunde excesivamente; por ello se debe observar el sangrado durante la aplicación del revelador.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 9 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.9 Interpretación

Interpretación Final

La interpretación final debe realizarse entre los 7 y 60 min después de aplicar el revelador. Si la superficie a ser examinada es grande y esto impide su examinación completa en una sesión, la examinación debe hacerse por partes.



Figura 3.9 Interpretación final

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52



Figura 3.10 Interpretación y evaluación

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 10 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Indicación Característica

Los tipos de discontinuidades son difíciles de evaluar si el penetrante se difunde excesivamente con el revelador. Si esta condición ocurre, la observación de la formación de indicación durante la aplicación del revelador puede ayudar en la caracterización y la determinación de la extensión de la indicación.

Penetrantes de Color Contrastantes

Con el penetrante de color contrastante, el revelador forma una razonable capa uniforme blanca. Las discontinuidades de la superficie son indicadas mediante la expulsión del penetrante lo cual es normal un profundo color rojo que mancha al revelador. Las indicaciones con una luz rosada pueden indicar una excesiva limpieza. Una limpieza inadecuada puede salir un fondo excesivo haciendo una interpretación difícil. La mínima intensidad de luz requerida sobre la superficie a ser inspeccionada es de 100fc (1000 Lx) para asegurar una adecuada sensibilidad en la examinación y evaluación de las indicaciones.

Penetrantes Fluorescentes

Con los penetrantes fluorescentes el proceso se realiza usando una luz ultravioleta llamada luz negra, la examinación será realizada mediante lo siguiente:

- a) Debe realizarse en un cuarto oscuro.
- b) El examinador estará en el cuarto oscuro mínimo 5 min antes de realiza la examinación para permitir que sus ojos se adapten a la

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 11 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

visibilidad oscura. Si el examinador usa lentes, estos no deben ser fotosensibles.

- c) La luz negra será encendida 5 min antes de usarla o medir su intensidad de luz ultravioleta emitida.
- d) La intensidad de luz negra será medida con un medidor de luz negra. Un mínimo de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y a 38 cm sobre la superficie de la parte a ser inspeccionada.



Figura 3.11 Medición de luz ultravioleta

Fuente: Sr. Valverde Cristian

3.3.10 Limpieza post-examinación

Cuando es requerida una limpieza post-examinación por el procedimiento, esta deberá llevarse a cabo tan pronto se realice la práctica después de la Evaluación y Documentación usando un proceso que no afecte a la parte.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 12 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.11 Evaluación

- a) Todas las indicaciones deben ser evaluadas en términos de los estándares de aceptación aplicables.
- b) Las discontinuidades en la superficie serán indicadas por un desangrado del penetrante; sin embargo las irregularidades localizadas en la superficie debido a las marcas de mecanizado, u otras condiciones de la superficie puede producir falsas indicaciones.
- c) Extensas áreas de fluorescente o pigmentación podrían ocultar indicaciones de discontinuidades inaceptables, tales áreas deben ser limpiadas y examinadas.



Figura 3.12 Evaluación

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 13 de 13
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

3.3.12 Verificación de una Indicación Según ASTM E-1417-99

Una indicación podría ser evaluada frotándola con un estropajo o brocha humedecida con solvente, dejar secar y re aplicar el revelador; si no reaparece ninguna indicación, la original es considerada falsa. Esto podría hacerse dos veces para cualquier indicación original.

3.3.13 Remoción de una Discontinuidad Según ASTM E-1417-99

Las discontinuidades podrían ser removidas con un procedimiento aprobado como lijado o esmerilado, para determinar su profundidad y extensión. Después el área debe ser limpiada, y reexaminada; la sensibilidad debe ser al menos igual a la original.

3.4 Manual de Capacitación de la Secuencia de Inspección por Partículas Magnéticas (MT)

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA- MT-01
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Pasos para Realizar la Inspección

3.4.1 Preparación de la superficie



Figura 3.13 Limpieza Inicial

Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=52

- a) Antes de cada examinación por partículas magnéticas, la superficie a ser examinada y todas sus áreas adyacentes dentro de al menos 1 in. (25 mm) deberá estar seca y libre de toda suciedad, grasa, pelusa, la escarcha, flujo de soldadura, las salpicaduras de soldadura, pintura, aceite y otra materia extraña que podría ocultar aberturas superficiales o interferir con la examinación.
- b) La limpieza puede realizarse usando detergentes, solventes orgánicos, removedores de pintura, desengrasado a vapor o métodos de limpieza ultrasónica.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 2 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

- Los contaminantes pueden causar indicaciones erróneas u ocultar defectos.
- La inspección por partículas magnéticas frecuentemente se efectúa sobre especímenes con capas de protección tales como minio, pinturas, esmaltes o materiales de chapado, tales como: cromo, níquel, zinc, etc. Por lo general éstos no se opondrán a formaciones o indicaciones satisfactorias, siempre y cuando su espesor no exceda de 0.1 mm. Las capas de pintura o chapado sobre la superficie de la pieza que se examina pudieran hacer que las indicaciones de partículas magnética que aparecen, tuvieran la apariencia asociada con discontinuidades subsuperficiales. Que sea preciso eliminar la capa de pintura o chapado dependerá tanto de su espesor como del tamaño del defecto buscado. Los recubrimientos o revestidos parciales o discontinuos, independientemente de si son conductores o no, tendrán tendencia a retener partículas indicadoras en sus bordes dando así la impresión de una discontinuidad.

3.4.2 Magnetización de la Superficie a Inspeccionarse

Existen dos maneras de magnetizar la parte. El Manual de Overhaul especifica la manera que va a ser magnetizada la parte y la cantidad de corriente a ser usada en la magnetización:

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 3 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Magnetización Circular

Figura 3.14 Magnetización Circular

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

Se consigue pasando una corriente eléctrica a través de la parte. De este modo se consiguen líneas de fuerza en círculos concéntricos en planos perpendiculares a la corriente eléctrica. Usada para detectar fallas que están paralelas a la longitud de la parte.



Figura 3.15 Uso de la Bobina

Fuente Sr. Valverde Cristian

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 4 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

La realizamos en la bobina, colocamos el accesorio o parte en la base y al tener presionado el pulsador se comienza a magnetizar la pieza, podemos comprobar con el indicador tipo pastel que al ponerlo en contacto con la parte ejercerá una pequeña fuerza de atracción.

Magnetización Longitudinal

Figura 3.16 Magnetización Longitudinal

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

Al pasar corriente eléctrica se obtienen líneas de fuerza con dirección longitudinal permitiendo la detección de defectos perpendiculares a la longitud de la parte.



Figura 3.17 Uso del Yugo Electromagnético

Fuente Sr. Valverde Cristian

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 5 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Se logra esta magnetización colocando la pieza entre los polos de un yugo electromagnético, al igual que en bobina se debe mantener presionado el pulsador.

Métodos de Magnetización

Método Continuo



Figura 3.18 Método Continuo
Fuente Sr. Valverde Cristian

El polvo seco se aplica a la superficie de la pieza mientras fluye la corriente imanadora. Este método permite máxima sensibilidad, dado que el campo magnético es máximo mientras se aplica el medio. La corriente imanadora continúa fluyendo mientras las partículas se aplican y mientras se eliminan las excedentes. Si la corriente se desconectara antes que se hayan eliminado las partículas excedentes, las únicas indicaciones que permanecerán serán las retenidas por el campo residual.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 6 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Cuando se emplea el método continuo por vía húmeda, el líquido se dispersa generalmente sobre el área que se inspecciona e inmediatamente después se aplica la corriente imanadora durante medio segundo aproximadamente. El medio de inspección no deberá aplicarse de nuevo una vez que ha cesado el flujo de corriente, ya que esto lavaría las indicaciones no muy pronunciadas.

Método Residual

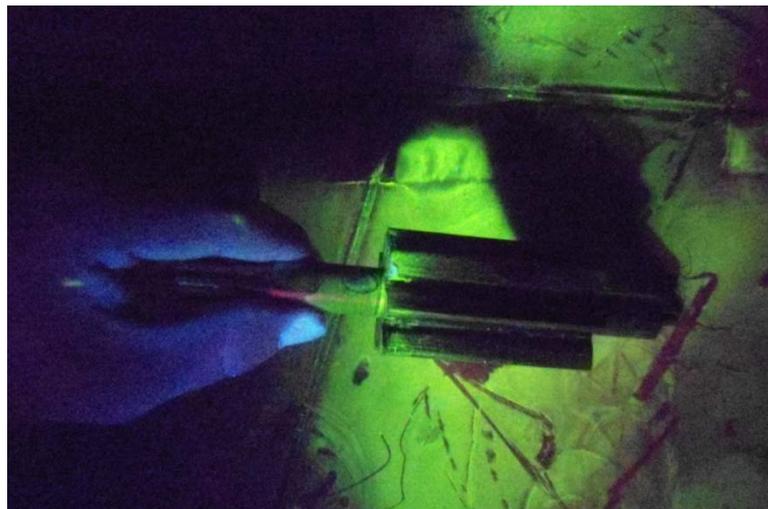


Figura 3.19 Método Residual

Fuente Sr. Valberde Cristian

Este método se basa en el campo residual remanente una vez que se ha desconectado la corriente imanadora, en cuyo momento se aplica el medio indicador. Así, la inspección dependerá de la intensidad del campo residual, este método sólo puede utilizarse sobre materiales de retentividad magnética relativamente alta.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 7 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Dado que la efectividad del método residual depende de la intensidad de la corriente imanadora y de la retentividad magnética del acero, variará con composiciones y tratamientos térmicos diferentes. Por lo general, la retentividad aumenta con el aumento en dureza, aunque algunos aceros poseen una retentividad muy baja por lo que el método residual no es enteramente satisfactorio.

En la inspección por el método residual las partes no deberán colocarse juntas y deberán manejarse con cuidado entre el tiempo de la descarga imanadora y la inspección. Un manejo descuidado reducirá el magnetismo retenido por la pieza y el contacto entre una pieza imanada y otra deformará el campo magnético retenido y ocasionará polos locales que podrían hacer difícil la interpretación.

3.4.3 Selección y Aplicación del Medio Indicador

Existen varias formas y colores de partículas magnéticas. El tipo de superficie y el tipo del defecto que se desea detectar serán factores determinantes en la selección del material.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 8 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Método por Vía Seca



Figura 3.20 Inspección por Partículas Magnéticas Secas

Fuente: <http://testingend.com/sitio/servicios/particulas-magneticas/>

Con este método luego de magnetizar la parte por medio de un saco pulverizador, atomizador o dispositivo de rociado, se distribuyen finas partículas magnéticas en polvo, recubiertas para darles mayor movilidad, sobre la pieza que se desea inspeccionar. Se pueden emplear partículas magnéticas de diversos colores y éstas se seleccionan para facilitar el mejor contraste con el color de la pieza. El método por vía seca es el más fácil sobre las superficies ásperas o rugosas y es muy portátil. El polvo deberá aplicarse lentamente con la fuerza necesaria para dirigir las partículas a los puntos deseados. Esto permite que las partículas se agrupen formando imágenes indicadoras a medida que se aproximan a la superficie de la pieza imanada. El exceso de polvo deberá eliminarse con un chorro de aire sólo suficientemente potente para eliminar el exceso de polvo sin alterar o perturbar las imágenes ligeras formadas por las partículas.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 9 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Método por Vía Húmeda



Figura 3.21 Inspección por Partículas Magnéticas Húmedas Fluorescentes

Fuente Sr. Valverde Cristian

Las partículas indicadoras se suspenden en un baño de agua o destilado de petróleo ligero. Debido al pequeño tamaño de su partícula, el método por vía húmeda es más sensible a defectos superficiales finos, aunque no es tan sensible como el seco para la detección de discontinuidades internas.

El líquido se puede esparcir o rociar sobre la superficie que se inspecciona, puede sumergirse enteramente en el baño. El menor tamaño de la partícula aumenta la sensibilidad, y defectos sumamente pequeños se localizan sin gran dificultad. El polvo se puede adquirir en colores rojo o negro; el rojo permite una mejor visibilidad sobre superficies oscuras. Cuando las partículas están recubiertas de un colorante de gran fluorescencia bajo luz ultravioleta (negra) aumentará la sensibilidad del método. La inspección fluorescente detectará discontinuidades muy pequeñas o finas y permitirá la rápida inspección de superficies irregulares u oscuras.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 10 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

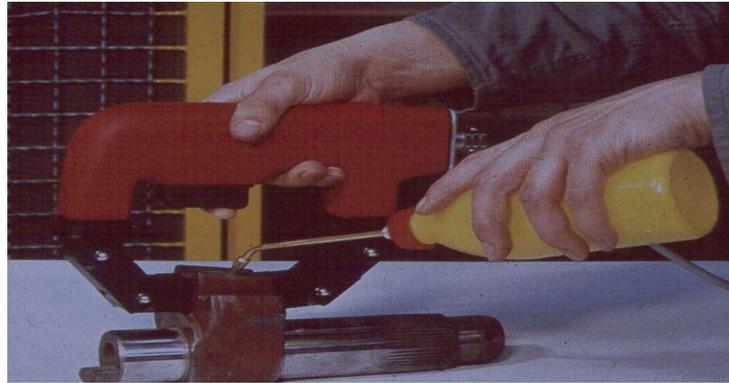


Figura 3.22 Suspensión de Partículas Magnéticas

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas,
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

El método por partículas magnéticas fluorescentes es particularmente valioso para la localización de discontinuidades en esquinas, ranuras, acanaladuras, agujeros profundos y otros similares. Las indicaciones parásitas pueden por lo general eliminarse reduciendo la corriente por debajo del punto en el que se forman estas indicaciones.

3.4.4 Interpretación y Evaluación de la Discontinuidad

Interpretación

La interpretación debe identificar si una indicación es falsa, no relevante o relevante. Las indicaciones falsas y no relevantes deben ser comprobadas como tal. Se realiza la interpretación para identificar la localización y características de las indicaciones.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 11 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.23 Interpretación de la indicación

Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas,
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

Indicación

Es una señal generada por el método de inspección no destructivo empleado. Puede ser producida por una alteración en el material o pieza sujeta a inspección.

➤ Indicación Falsa

Es aquella que aparece durante la inspección y que puede ser provocada por una mala aplicación del método.

➤ Indicación No Relevante

Es producida por la estructura del material o por la configuración de la pieza.

Se produce por interrupciones de la configuración de la pieza

La ocasionan algunas características del material.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 12 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

➤ **Indicación Relevante**

Es aquella producida por una discontinuidad. Para determinar su importancia se debe de interpretar la indicación y evaluar la discontinuidad.

Partículas Magnéticas Visibles

Las discontinuidades en la superficie son indicadas por acumulación de partículas magnéticas las cuales serán contrastantes con la superficie examinada, El color de las partículas magnéticas debe ser suficientemente diferente que el color de la superficie de examinación. Es requerido un mínimo de 100 fc de iluminación en la superficie a ser examinada para asegurarse una adecuada sensibilidad durante la examinación y evaluación de indicaciones.

Partículas magnéticas Fluorescentes

La examinación es realizada con luz ultravioleta llamada luz negra. La inspección debe ser realizada de acuerdo a lo siguiente:

- (a) Debe ser realizada en un área oscura.
- (b) el examinador debe estar en el área oscura por lo menos 5 min antes, para permitir que sus ojos se adapten a la vista oscura.
- (c) La luz negra debe ser precalentada 5 min antes de usar o medir su intensidad de luz ultravioleta.
- (d) Debe ser medida la intensidad de luz negra con un mínimo de 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ sobre la superficie a ser examinada y a 38 cm de la lámpara.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 13 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.24 Intensidad de luz Ultravioleta medida
Fuente Sr. Valverde Cristian

Evaluación

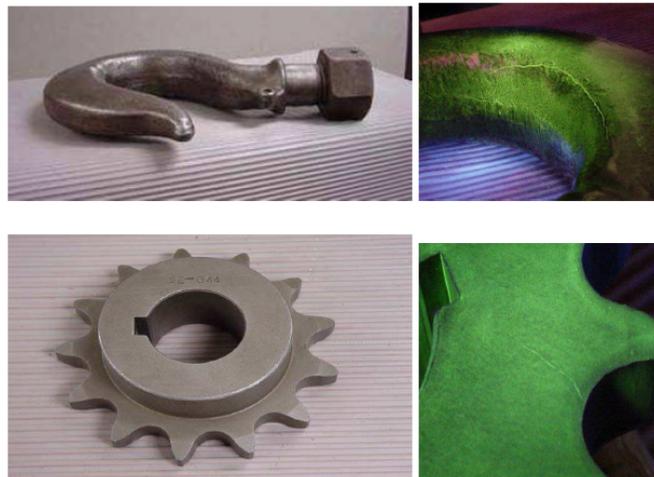


Figura 3.25 Evaluación de los componentes
Fuente: Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas,
Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 14 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Es la ponderación de la severidad de la discontinuidad después de que la indicación se ha interpretado; es decir, si la pieza debe de ser aceptada, rechazada o reparada.

Discontinuidad

Es la falta de homogeneidad o interrupción en la estructura física normal de un material. Puede ser una deficiencia en la configuración física de una parte o componente.

Tipos de Discontinuidades:

➤ **Discontinuidad No Relevante**

Es aquella que por su tamaño, forma o localización requiere de ser interpretada, pero no es necesario evaluarla.

➤ **Discontinuidad Relevante**

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

Consideraciones para Aceptación y Rechazo

El tipo y tamaño de la discontinuidad no sólo se determina con respecto a la amplitud de la indicación, sino también en base a la experiencia del técnico.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 15 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Clasificación de Discontinuidades:

➤ **Discontinuidades Inherentes**

Son aquellas que se forman durante la solidificación del metal fundido. Estas discontinuidades están directamente relacionadas con la calidad, el tipo de aleación, la forma del vaciado y solidificación del metal.

➤ **Discontinuidades de Proceso**

Son aquellas que se relacionan con los procesos de manufactura tal como maquinado, tratamientos térmicos, recubrimientos metálicos, etc. Durante estos procesos discontinuidades sub-superficiales se pueden convertir en superficiales.

➤ **Discontinuidades de Servicio**

Son aquellas que se generan por las diferentes condiciones del servicio al que se sujeta la pieza. Son originadas por esfuerzos de tensión ó compresión, fatiga, fricción o corrosión.

3.4.5 Desmagnetización

Cuando el magnetismo residual puede interferir de alguna manera en la operación normal del equipo o parte, las partes deben ser desmagnetizadas al momento de completar la examinación.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 16 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Razones de la Desmagnetización

Para Evitar la Avería de Piezas Movibles

Si no se desmagnetizan, las piezas movibles pueden retener partículas metálicas, que podrían dañar superficies trabajadas, cojinetes y dientes de engranajes.

Para Preparar la Pieza para una Nueva Magnetización.

Antes de proceder a la magnetización de una pieza en otra dirección, se deberá efectuar la desimanación para eliminar totalmente el campo magnético anterior.

Para Evitar la Retención de Partículas Magnéticas

Cuando una pieza no está suficientemente limpia pudiera retener magnéticamente las partículas empleadas en la inspección, lo que podría ocasionar la corrosión de la superficie o dificultar procesos de recubrimiento o pintura posteriores. La desimanación ayudará en la eliminación de estas partículas.

Para Evitar Efecto Perjudicial sobre los Instrumentos

Un campo magnético residual pudiera influir sobre instrumentos tales como brújulas magnéticas u otros componentes, por lo que tal campo magnético residual deberá eliminarse.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 17 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Desmagnetización Innecesaria

Piezas de Acero Dulce

Las piezas fabricadas de acero dulce y que poseen poca o ninguna retentividad por lo general no requieren desmagnetización dado que el campo magnético remanente es bajo o desaparece al retirar la fuerza magnética.

Piezas Estructurales

Cuando la presencia de un campo magnético no produce efecto alguno sobre el funcionamiento de la pieza, pudiera no ser necesario desmagnetizarla.

Piezas Sometidas a Tratamiento Térmico Posterior

Cuando los aceros se someten a tratamiento térmico a una temperatura superior al punto de Curie (aproximadamente 70000), dichos aceros se vuelven no magnéticos por lo que no necesitan desmagnetizarse.

Comprobación de la Desmagnetización

Los instrumentos para la medición de campos de fuga residuales, tales como las bobinas de exploración y las sondas de Hall son los más apropiados para uso en laboratorio.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 18 de 18
	MANUAL DE SECUENCIA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-01
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

Indicador de Campo (Aparato de Medición)

El indicador de campo es un dispositivo para medir la presencia de un campo residual. El indicador se coloca de forma que su base toque la pieza y que su cuadrante indicador y la aguja estén alejados. Si no existe ningún campo residual, la aguja permanece inmóvil. En presencia de un campo residual, éste se desplaza en una dirección que se califica de positiva o negativa y que está en función de la polaridad del campo.

3.4.6 Limpieza Final

La limpieza de partes destinadas a formar parte de un conjunto pudiera no ser necesaria. No obstante, las piezas terminadas deberán limpiarse poco antes de su inspección antes de que el medio líquido de inspección tenga tiempo de secarse. Si este líquido se deja sobre una superficie terminada puede provocar corrosión o un excesivo desgaste entre partes móviles. En presencia de un campo de fugas, es indispensable desimanar la parte o componente antes de su limpieza.

Los métodos de limpieza que se recomiendan son frotados con cepillo, lavado con disolvente o rociado, lavado o desengrase al vapor. Como quiera que un método de limpieza por disolvente tal como el desengrase al vapor o la limpieza con acetona pudieran hacer la superficie que se inspecciona susceptible a corrosión, deberá emplearse un método para evitar la oxidación. Cuando una parte se destina a formar un conjunto sumergido en aceite o de otro fluido hidráulico, pudiera ser suficiente mojar la pieza en cuestión con el líquido normalmente empleado para su montaje.

3.5 Hoja de Reportes para Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas

ITS A		ESTACIÓN DE NDT					Pág.: 1 de 1	
		REPORTE DE LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES						Código: ITSA-PT-02
		Elaborado por: Sr. Valverde Cristian						Revisión Nº: 1
		Aprobado por: Tigo. Cedillo Ulises						Fecha: Nov-2012
Fecha:		Aeronave:		ATA:		Curso:		
Descripción:	N° Parte	N° Serie	Método:	Limpiador	Penetrante	Revelador	Defectos	
Observaciones:								
Equipo Utilizado:								
Técnico:						Estudiante:		

	ESTACIÓN DE NDT					Pág.: 1 de 1	
REPORTE DE LA INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS							Código: ITSA-MT-02
Elaborado por: Sr. Valverde Cristian							Revisión N°: 1
Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises							Fecha: Nov-2012
Fecha:	Aeronave:			ATA:		Curso:	
Descripción:	N° Parte	N° Serie	Método:	Equipo	Técnica Magnetizante	Corriente	
						Defectos	
Observaciones:							
Equipo Utilizado:							
Técnico:					Estudiante:		

3.6 Manual de Operación del Kit Fotómetro/Radiómetro

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 1
	MANUAL DE OPERACIÓN DEL KIT FOTÓMETRO	Código: ITSA- NDT-02
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

1. Asegurarse en elegir el sensor apropiado según la región espectral a ser medida.
2. Verificar que el receptáculo del equipo ubicado en la parte posterior del Fotómetro no esté obstruido. De estarlo limpiar cuidadosamente.
3. Insertar el conector del sensor en el receptáculo del equipo.
4. Para medir la luz ultravioleta ubicar el switch selector a la izquierda.
5. Colocar el sensor de luz ultravioleta sobre la superficie a examinar a una distancia de 15 in (38,1 cm) del centro de la lámpara de luz negra. Sus valores están expresados en microwatts por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$).
6. Para medir luz visible ubicar el switch selector a la derecha.
7. Colocar el sensor de luz visible sobre la superficie a examinar a una distancia de 15 in (38.1 cm) del centro de la lámpara de luz negra. Los valores están expresados en pies candela (fc).
8. Terminada la medición ubicar el switch selector en Off para apagar el equipo.
9. Desconectar el sensor cuidadosamente.
10. Guardar el equipo en su estuche adecuadamente para que no se estropee.

NOTA: NO EXPONER LOS SENSORES A LA LUZ VISIBLE Y ULTRAVIOLETA POR UN TIEMPO PROLONGADO

3.7 Guía de Inspección por Líquidos Penetrantes Fluorescentes

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA- PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

OBJETIVO: Obtener una imagen visual de la discontinuidad en la superficie de una parte aeronáutica en inspección.

Aplicabilidad: Material Ferroso y No Ferroso como aluminio, magnesio, acero, aleaciones, plástico, vidrio, de superficie no porosa.

Medidas de Seguridad

- ✓ Utilizar Equipo de Protección Personal: overol, mascarilla, guantes de nitrilo, botas antideslizantes.
- ✓ No observar directamente la luz ultravioleta.
- ✓ Agitar los aerosoles antes de usar.
- ✓ Aplicar los aerosoles en el componente a una distancia de 20 a 30 cm.
- ✓ Prevenir el contacto de los líquidos con ojos y piel. En caso de ocurrir lavar con abundante agua.
- ✓ No usar aerosoles caducados, afectan la sensibilidad de las indicaciones.

Restricciones Técnicas

Según el Código ASME BPV SEC. V Artículo 6 y ASTM 1417-99:

- ✦ No debe hacerse una examinación fluorescente después de una contrastante.
- ✦ No mezclar materiales penetrantes de diferentes familias ó fabricantes.
- ✦ La reexaminación con penetrantes removibles con agua puede causar la pérdida de indicaciones debido a la contaminación.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 2 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

1) Llenar la Lista de Chequeo de Equipos y Materiales
Código: ITSA-NDT-01

2) Preparación de la Superficie

- a) Realizar la limpieza del componente con removedor, disolventes. Una vez que la superficie se encuentre libre de pintura efectuar la limpieza con el limpiador en aerosol SKC-S. Rociar uniformemente sobre el componente a ser inspeccionado, esperar 1 minuto para que disuelva toda la grasa e impurezas.
- b) Secar el componente con tela limpiadora (wiping cloths) hasta que la superficie quede limpia y libre de impurezas.



Figura 3.26 Limpieza del Componente
Fuente Sr. Valverde Cristian

3) Encender la lámpara de luz ultravioleta. Ver Medidas de Precaución y Estándares para la Lámpara UV. Código: ITSA-NDT-04

4) Aplicar el Penetrante en aerosol ZL-27A sobre la superficie del componente. Dejar actuar según lo establecido en la Norma ASME SE-165 y ASTM E 165-95. Ver Estándares Requeridos para la Inspección Código: ITSA-NDT-03

ITSA 	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 3 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

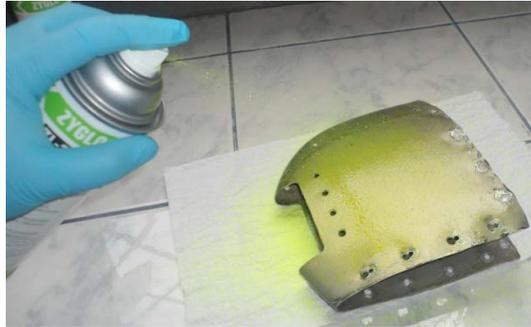


Figura 3.27 Aplicación del Penetrante
Fuente Sr. Valverde Cristian

5) Remover el penetrante de la superficie, primero con la tela limpiadora, luego aplicar el limpiador SKC-S sobre una nueva tela limpiadora para proceder a realizar una mejor limpieza. No aplicar el limpiador directamente a la superficie.



Figura 3.28 Remoción del Penetrante
Fuente Sr. Valverde Cristian

6) Aplicar el revelador ZP-9F uniformemente sobre toda la superficie a inspeccionar. El uso insuficiente de revelador no puede extraer el penetrante de las discontinuidades, así como el uso excesivo puede enmascarar las indicaciones.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 4 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.29 Aplicación del Revelador
Fuente Sr. Valverde Cristian

7) Esperar el tiempo mínimo según la norma ASME SE-165 y ASTM E 165-95 para que el revelador absorba al penetrante y se logre visualizar las indicaciones. Ver Estándares Requeridos para la Inspección Código: ITSA-NDT-03

8) Inspección Visual según la Norma ASME Sec. V Art. 6 y ASTM E 165-95

- a) Se debe realiza en un cuarto oscuro bajo la luz ultravioleta.
- b) El examinador debe permanecer 5 minutos antes de la inspección en el cuarto oscuro para que sus ojos se adapten a la luz oscura.
- c) Energizar la lámpara de luz ultravioleta (luz negra) 5 minutos antes de utilizar.
- d) Realizar la medida de la intensidad de la intensidad de luz negra ($1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$) a una distancia de 38,1 cm sobre la parte a ser inspeccionada. Ver Manual de Operación del Kit Fotómetro Código: ITSA-NDT-02.
- e) Las indicaciones bajo la luz ultravioleta se manifiestan de color amarillo verdoso fluorescente.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 5 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

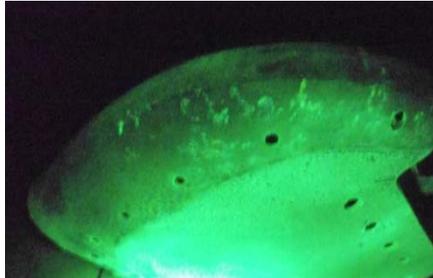


Figura 3.30 Inspección visual del componente

Fuente Sr. Valverde Cristian

9) CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA INDICACIÓN

Indicación

Es una señal generada por el método de inspección no destructivo empleado. Puede ser producida por una alteración en el material o componente sujeto a inspección.

➤ **Indicación Falsa**

Es aquella que aparece durante la inspección y que puede ser provocada por una mala aplicación del método.

➤ **Indicación No Relevante**

Es producida por la estructura del material o por la configuración de la pieza.

Se produce por interrupciones de la configuración de la pieza

La ocasionan algunas características del material.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 6 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

➤ **Indicación Relevante**

Es aquella producida por una discontinuidad. Para determinar su importancia se debe de interpretar la indicación y evaluar la discontinuidad.

CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII DIV. 1

8-4 Criterio de aceptación

Todas las superficies examinadas deben estar libres de:

- a) Indicaciones redondeadas mayores a 3/16 in.
- b) 4 o más indicaciones redondeadas relevantes en línea separadas por 1/16 in o menos de borde a borde.

Apéndice 8: Métodos para la examinación por líquidos penetrantes (PT)

8-3 Evaluación de indicaciones

Indicaciones con dimensiones mayores a 1/16 in deben considerarse relevantes.

- a) Indicación lineal: L/A mayor a 3.
- b) Indicación redondeada: L/A menor o igual a 3 (circular o elíptica).
- c) Debe reexaminarse cualquier indicación dudosa o cuestionable.

La medición de las indicaciones se debe realizar con pie de rey o regla.

L: Longitud

A; Ancho

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 7 de 7
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	Código: ITSA-PT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

8-5 Reparaciones

Después de que un defecto ha sido removido y antes de reparar con soldadura, el área debe ser reinspeccionada. La reparación con soldadura debe hacerse con un procedimiento calificado.

10) Limpieza Final

Aplicar el limpiador SKC-S sobre la superficie, retirando el líquido con la tela limpiadora.

Dejar el área de trabajo limpia.

11) Llenar la Hoja de Reporte de la Inspección por Líquidos Penetrantes (PT) Código: ITSA-PT-02

3.8 Guía de Inspección por Partículas Magnéticas Secas y en Aerosol

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA- MT-03
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian	Revisión N°: 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

OBJETIVO: Inspeccionar partes aeronáuticas para localizar grietas superficiales y subsuperficiales y otros defectos que puedan causar fallas durante su uso.

Aplicabilidad: Material Ferroso como hierro.

Medidas de Seguridad

- ✓ Utilizar Equipo de Protección Personal: overol, mascarilla, guantes de nitrilo, botas antideslizantes.
- ✓ Realizar un pre chequeo a los equipos a utilizar:
 - Que tengan tarjeta amarilla de aceptación o servible.
 - Los cables conductores de energía eléctrica no deben presentar cortes o estar sin aislamiento.
- ✓ No observar directamente la luz ultravioleta.
- ✓ Agitar el aerosol antes de usar.
- ✓ Prevenir el contacto de los líquidos con ojos y piel. En caso de ocurrir lavar con abundante agua.
- ✓ No usar aerosoles caducados, afectan la sensibilidad de las indicaciones.

1) Llenar la Lista de Chequeo de Equipos y Materiales
Código: ITSA-NDT-01

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 2 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

2) Preparación de la Superficie

- a) Realizar la limpieza del componente con removedor, disolventes. Una vez que la superficie se encuentre libre de pintura realizar la limpieza del componente con el limpiador en aerosol SKC-S. Rociar uniformemente sobre el componente a una distancia de 20 a 30 cm.
- b) Esperar 1 minuto para que disuelva toda la grasa e impurezas.
- c) Secar la superficie a examinar con tela limpiadora (wiping cloths).



Figura 3.31 Preparación de la superficie

Fuente: Sr. Valverde Cristian

- 3) Encender la lamara de luz ultravioleta. Ver medidas de precaución y Estándares para la lámpara UV. Codigo: ITSA-NDT-04

4) Magnetización

Con Yugo Electromagnético

- a) En componentes planos colocar el yugo perpendicularmente.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 3 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.32 Magnetización con yugo

Fuente: Sr. Valverde Cristian

- b) Si el componente es de forma compleja colocarla entre sus brazos articulados los cuales se ajustan al tamaño de la parte.



Figura 3.33 Magnetización con yugo

Fuente: Sr. Valverde Cristian

- c) Conectar el yugo, oprimir el pulsador para formar un campo magnético en el componente a ser inspeccionada.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 4 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.34 Magnetización del componente

Fuente: Sr. Valverde Cristian

Con Bobina

- a) Colocar el componente en la zona interna de la bobina en la base interna inferior, de manera que el eje mayor de la parte se extienda a través de la bobina.



Figura 3.35 Magnetización con bobina

Fuente: Sr. Valverde Cristian

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 5 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

- b) Conectar la bobina, oprimir el pulsador para formar un campo magnético en el componente a ser inspeccionada.



Figura 3.36 Magnetización del componente

Fuente: Sr. Valverde Cristian

- c) Comprobar la magnetización con el indicador de campo magnético al ejercer una pequeña fuerza de atracción con la parte.

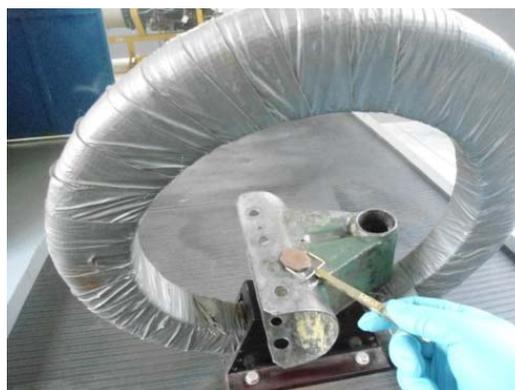


Figura 3.37 Comprobación de la magnetización

Fuente: Sr. Valverde Cristian

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 6 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

5) Aplicación del Medio Indicador

Partículas Magnéticas Secas

Esparcir uniformemente las partículas magnéticas sobre el componente mientras está activado el campo magnético.



Figura 3.38 Aplicación de partículas secas

Fuente: Sr. Valberde Cristian

Partículas Magnéticas en Aerosol (Húmedas)

Agitar el aerosol para suspender las partículas.

Rociar las partículas a una distancia de 20 cm, mientras esta activado el campo magnético.

Dirección del Campo Magnético

Colocamos el Indicador tipo pastel (pie gage) con las hendiduras sobre la superficie magnetizada, rociar las partículas secas o húmedas e identificamos la dirección de las partículas y de las posibles discontinuidades.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 7 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valberde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

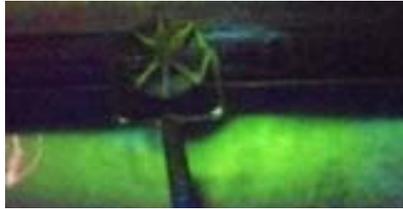


Figura 3.39 Dirección del campo magnético

Fuente: Sr. Valberde Cristian

6) Inspección Visual

Partículas Magnéticas Secas

- a) Las partículas magnéticas son fuertemente atraídas a cualquier espacio donde la grieta o defecto ha creado una desviación en el campo magnético.

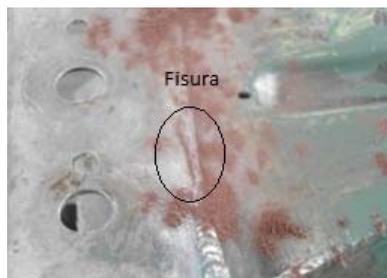


Figura 3.40 Inspección con partículas secas

Fuente: Sr. Valberde Cristian

- b) Según ASME Sec. V Art. 7, realizar la inspección bajo la luz visible a una intensidad mínima de 100 fc a una distancia de 38 cm. Revisar el Manual de Operación del Kit Fotómetro Código: ITSA-NDT-02.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 8 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012



Figura 3.41 Medición de la intensidad de luz

Fuente: Sr. Valverde Cristian

Partículas Magnéticas En Aerosol

- a) Se realiza en el cuarto oscuro bajo la luz ultravioleta (luz negra).
- b) Energizar la lámpara de luz ultravioleta (luz negra) 5 minutos antes de utilizar.
- c) Según la Norma ASME Sec. V Art. 7 y ASTM E 709-95. Realizar la medida de la intensidad de luz negra ($1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) a una distancia de 38 cm sobre la parte a ser inspeccionada. Revisar el Manual de Operación del Kit Fotómetro Código: ITSA-NDT-02.
- d) Las indicaciones bajo la luz ultravioleta se manifiestan de color amarillo verdoso fluorescente.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 9 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

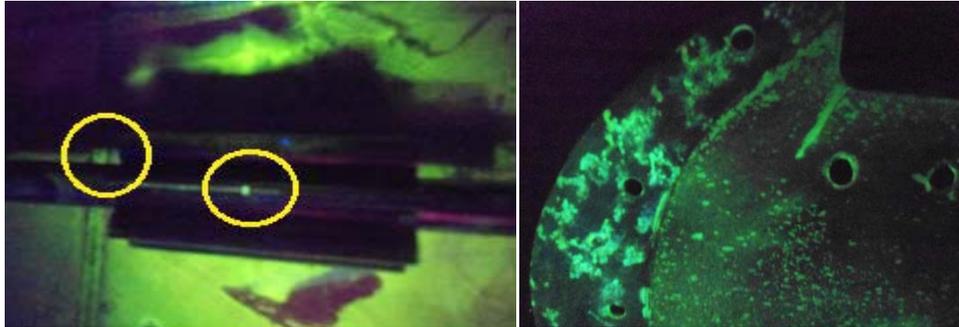


Figura 3.42 Inspección con partículas en aerosol

Fuente: Sr. Valverde Cristian

7) CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA INDICACIÓN

Indicación

Es una señal generada por el método de inspección no destructivo empleado. Puede ser producida por una alteración en el material o componente sujeto a inspección.

➤ Indicación Falsa

Es aquella que aparece durante la inspección y que puede ser provocada por una mala aplicación del método.

➤ Indicación No Relevante

Es producida por la estructura del material o por la configuración de la pieza.

Se produce por interrupciones de la configuración de la pieza

La ocasionan algunas características del material.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 10 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

➤ **Indicación Relevante**

Es aquella producida por una discontinuidad. Para determinar su importancia se debe de interpretar la indicación y evaluar la discontinuidad.

CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII DIV. 1

8-4 Criterio de aceptación

Todas las superficies examinadas deben estar libres de:

- a) Indicaciones redondeadas mayores a 3/16 in.
- c) 4 o más indicaciones redondeadas relevantes en línea separadas por 1/16 in o menos de borde a borde.

Apéndice 8: Métodos para la examinación por líquidos penetrantes (PT)

8-3 Evaluación de indicaciones

Indicaciones con dimensiones mayores a 1/16 in deben considerarse relevantes.

- a) Indicación lineal: L/A mayor a 3.
- b) Indicación redondeada: L/A menor o igual a 3 (circular o elíptica).
- c) Debe reexaminarse cualquier indicación dudosa o cuestionable.

La medición de las indicaciones se debe realizar con pie de rey o regla.

L: Longitud

A; Ancho

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 11 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

8-5 Reparaciones

Después de que un defecto ha sido removido y antes de reparar con soldadura, el área debe ser reinspeccionada. La reparación con soldadura debe hacerse con un procedimiento calificado.

8) Métodos de Desmagnetización

- 1) Encender la bobina, colocar el componente dentro de la bobina en la base interna, luego retire el componente cerca de 2 ft (60 cm), apagar la bobina.

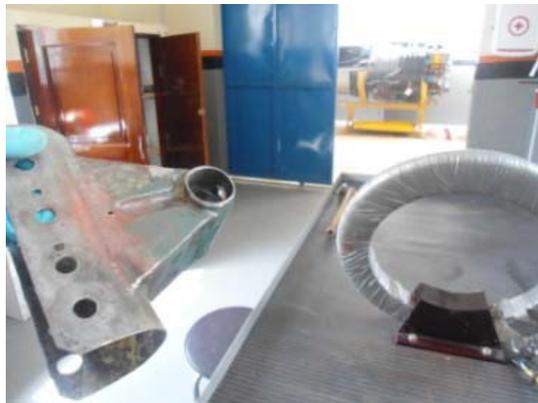


Figura 3.43 Magnetización del componente

Fuente: Sr. Valverde Cristian

- 2) Encender la bobina, pasar la parte lentamente 4 a 6 veces por el centro de la bobina, apagar la bobina.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 12 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

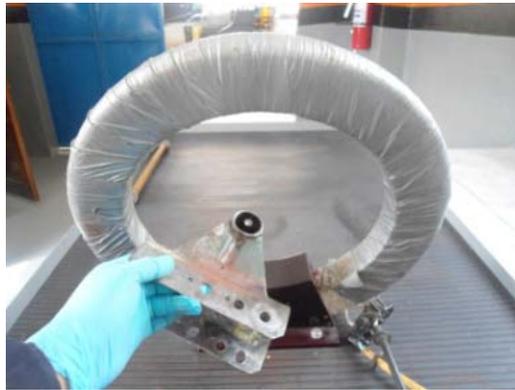


Figura 3.44 Magnetización del componente

Fuente: Sr. Valverde Cristian

9) Comprobación del Campo Magnético Residual

Acercar el componente al indicador de campo magnético residual para asegurarse que no hay un campo magnético presente.



Figura 3.45 Comprobación de campo magnético residual

Fuente: Sr. Valverde Cristian

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 13 de 13
	GUÍA DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	Código: ITSA-MT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

10) Limpieza Final

Realizar la limpieza con MEC o Limpiador en aerosol SKC-S y tela limpiadora, luego secar la parte.

Dejar el área de trabajo limpia.

11) Llenar la Hoja de Reporte de la Inspección por Partículas Magnéticas (MT) Código: ITSA-MT-02

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 1
	ESTÁNDARES REQUERIDOS PARA LA INSPECCIÓN	Código: ITSA-NDT-03
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

**LÍQUIDOS PENETRANTES
ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 6
TABLA T-672 TIEMPOS MÍNIMOS DE PERMANENCIA DEL LIQUIDO
SOBRE LA PARTE**

MATERIAL	PROCESO	TIPO DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACIÓN (minutos)	TIEMPO DE REVELADO (minutos)
Aluminio, Magnesio, Acero, Bronce, Titanio y Aleaciones	✓ Fundición y soldaduras. ✓ Material	Todas	5	10
	✓ conformado: Extrusión Forja	Todas	10	10
Plástico	Todos	Fisuras	5	10
Vidrio	Todos	Fisuras	5	10
Cerámica	Todos	Fisuras	5	10

**LÍQUIDOS PENETRANTES ASME SE-165 Y ASTM E 165-95
Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS ASME SE-165 Y ASTM E 709-95**

MÍNIMA INTENSIDAD DE LUZ VISIBLE REQUERIDA

TIPO DE LUZ	INTENSIDAD	DISTANCIA
Luz Blanca	100 fc	38 cm

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 1
	MEDIDAS DE PRECAUCIÓN Y ESTÁNDARES PARA LA LÁMPARA UV	Código: ITSA-NDT-04
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

1. ENCENDER LA LÁMPARA DE LUZ ULTRAVIOLETA (LUZ NEGRA) 5 MINUTOS ANTES DE LA INSPECCIÓN.

2. MEDIR LA INTENSIDAD DE LUZ.

ASME SE-165 Y ASTM E 165-95

“CONTROLAR LA MÍNIMA INTENSIDAD DE LUZ NEGRA CON UN MEDIDOR (FOTÓMETRO), SOBRE LA SUPERFICIE A SER EXAMINADA”:

TIPO DE LUZ	INTENSIDAD	DISTANCIA
Luz ultravioleta (Luz Negra)	1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	38 cm

3. NO JUGAR CON EL INTERRUPTOR DE LA LÁMPARA UV.

4. NO OBSERVAR DIRECTAMENTE LA LUZ O APUNTAR A LOS OJOS DEL COMPAÑERO.

5. APAGAR LA LÁMPARA UNA VEZ QUE HA FINALIZAN TODAS LAS INSPECCIONES.

6. DEJAR ENFRIAR LA LÁMPARA PARA LUEGO GUARDARLA.

	ESTACIÓN DE NDT	Pág.: 1 de 1
	MANTENIMIENTO DEL KIT FOTÓMETRO	Código: ITSA-NDT-05
	Elaborado por: Sr. Valverde Cristian	Rev. N° 1
	Aprobado por: Tlgo. Cedillo Ulises	Fecha: Nov-2012

1. OBJETIVO

Documentar el procedimiento para el mantenimiento del Kit Fotómetro.

2. ALCANCE

El Kit Fotómetro que se encuentra en la Estación de Ensayos No Destructivos.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASME ARTICULO 6 EXAMINACIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

4. DEFINICIONES

Limpieza general del área de trabajo: eliminar las impurezas superficiales del equipo.

5. PROCEDIMIENTO:

El técnico y/o estudiante que utilice el Kit Fotómetro realizará el siguiente mantenimiento después de cada operación:

Limpiar las impurezas y residuos de los aerosoles con tela limpiadora.

Guarda adecuadamente en su estuche.

TRIMESTRAL

El técnico de laboratorio revisará su fuente de alimentación: 4 baterías alcalinas "AA" o 4 baterías NiCad, 2200mAh, 1,2 V.

ANUAL según ASME Artículo 6 Examinación por Líquidos Penetrantes

T-660 CALIBRACIÓN

Los medidores de luz visible y fluorescente (luz negra) deben ser calibrados por lo menos una vez al año o cuando el medidor ha sido reparado.

3.9 Estudio Económico

3.9.1 Costos Primarios

Tabla 3.2 Costos de equipos implementados

Cantidad	Equipo	Valor Total
1	Kit Fotómetro	\$ 800,00
1	Indicador de Campo	\$50,00
1	Indicador Tipo Pastel	\$ 50,00
	TOTAL	\$ 900,00

3.9.2 Costos Secundarios

Tabla 3.3 Costos Secundarios

Nº	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Derechos de Grado	\$ 300,00
2	Horas de Internet	\$ 40,00
3	Transporte y alimentación	\$ 60,00
4	Elaboración de Textos	\$ 100,00
	Total	\$ 500,00

El valor total del costo lo obtenemos sumando el total del costo primario más el costo secundario.

Presupuesto Total: \$ 900,00 + \$ 500,00 = \$ 1400,00

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se recopiló información técnica necesaria y actualizada de Ensayos No Destructivos para satisfacer las exigencias académicas del alumnado.
- A través de la elaboración de un Manual de Capacitación propio del Instituto los estudiantes lograrán identificar equipos y materiales necesarios para llevar a cabo una Inspección por los métodos PT y MT.
- La Lista de Chequeo de Materiales y Equipos permite al estudiante identificar los equipos y materiales necesarios para un método de Inspección y familiarizarse con la lectura y escritura de los códigos de Descripción y Número de Parte.
- Las Hojas de Reportes para PT y MT ayudan al estudiante a reforzar sus conocimientos después de la inspección, permitiendo familiarizarse completamente con la Secuencia de Examinación de cada método.
- Los equipos implementados son exclusivos para entrenamiento de los estudiantes dentro de la Estación de Ensayos No Destructivos.

4.2 Recomendaciones

- Mantener en la Biblioteca Técnica revistas, libros, manuales actualizados de Ensayos No Destructivos como fuentes de Investigación a los estudiantes y a todo aquel que presente interés en el ámbito Aeronáutico.
- El Manual elaborado debe emplearse como material de referencia o estudio no es recomendable su uso como Documento de Inspección.
- Es indispensable identificar los materiales de líquidos penetrantes de una sola familia o fabricante para su uso y obtener buenos resultados en la evaluación.
- Las hojas de reportes de MT y PT pueden servir al técnico para evaluar los conocimientos del estudiante.
- Para mantener los equipos operativos usar correctamente cada equipo con su Manual de Operación.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aeronave: Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que sean las reacciones del mismo contra la superficie.

Mantenimiento: Ejecución de los trabajos requeridos para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad de la aeronave, lo que incluye una o varias de las siguientes tareas: reacondicionamiento, inspección, remplazo de partes, rectificación de defectos.

Código: Es el documento que define los requisitos técnicos de: diseño, materiales, procesos de fabricación, inspección, prueba y de servicio que debe cumplir una parte, componente o equipo.

Norma: Son los documentos que establecen y definen una regla para poder: Adquirir, comprar, medir o juzgar un bien, una parte, componente o servicio. Establecer definiciones, símbolos o clasificaciones.

Especificación: Describen de manera detallada un material, bien o servicio. Define las propiedades físicas, químicas o mecánicas de un material.

Inspección: Proceso que se somete una aeronave a la revisión y chequeo de todos sus sistemas de acuerdo al programa de mantenimiento emitido por el fabricante (del avión, de los sistemas, del motor) y las políticas de mantenimiento de la empresa que lo opera.

Parte: Todo material, componente o accesorio del equipo aeronáutico.

Componente: Conjunto, parte, artículo o elemento constitutivo de una aeronave según las especificaciones del fabricante y por extensión de la estructura, motor o accesorio.

Equipo: Uno o varios componentes relacionados operacionalmente para el cumplimiento integral de una función determinada.

Accesorio: Componente que puede ser removido, instalado y overhauled.

ASNT: Es la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos cuya función es desarrollar y difundir los conocimientos en NDI, esta sociedad capacita, examina y certifica al personal técnico profesional en NDI.

NOMENCLATURA UTILIZADA

NDT: Non Destructive Test (Ensayos No Destructivos)

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

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

NMX: Norma Mexicana

AWS: American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)

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

VT: Inspección Visual

PT: Líquidos penetrantes

MT: Partículas magnéticas

ET: Electromagnetismo. (Corrientes Eddy)

UT: Ultrasonido

RT: Radiografía

AET: Emisión acústica

NRT: Radiografía con neutrones

TIR: Termografía infrarroja

VA: Análisis de vibraciones

LT: Prueba de fuga

UV: Ultravioleta

fc: foot candle (pies candelas)

in: pulgadas

$\mu\text{W}/\text{cm}^2$: Micro Watts por centímetro cuadrado

h: hora

min: minutos

seg: segundos

BIBLIOGRAFÍA

- Manual de Ensayos No Destructivos, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos
- Norma Mexicana NMX-B-482-1991
- http://es.wikipedia.org/wiki/Inspecci%C3%B3n_por_l%C3%ADquidos_penetrantes
- <http://www.monografias.com/trabajos31/liquididos-penetrantes/liquididos-penetrantes.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos31/liquididos-penetrantes/liquididos-penetrantes.shtml>
- ASME Sec. V, Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE - 165
- ASTM E1209 - 10 Standard Practice for Fluorescent Liquid Penetrant Testing Using the Water-Washable Process (Práctica Estándar para Examinación Líquido Penetrante Fluorescente con el Método Lavable con Agua)
- ASTM E1208 - 10 Standard Practice for Fluorescent Liquid Penetrant Testing Using the Lipophilic Post-Emulsification Process (Práctica Estándar para Examinación Líquido Penetrante Fluorescente con el Método Post Emulsificable Lipofílico)
- ASTM E1219 - 10 Standard Practice for Fluorescent Liquid Penetrant Testing Using the Solvent-Removable Process (Práctica Estándar para Examinación Líquido Penetrante Fluorescente con el Método Removible con Solvente)
- ASTM E1210 - 10 Standard Practice for Fluorescent Liquid Penetrant Testing Using the Hydrophilic Post-Emulsification Process ((Práctica Estándar para Examinación Líquido Penetrante Fluorescente con el Método Post Emulsificable Hidrofílico)
- ASME SE-165 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination (Método Estándar para Examinación con Líquido Penetrante)
- ASTM E1417-99 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination (Páctica Estándar para Examinación con Líquidos Penetrantes)
- ASME Sec. V Art. 6 Examinación Líquidos Penetrantes, SE – 165

- Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.
- Inspección por Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos
- Manual de Entrenamiento para el Curso de Partículas Magnéticas, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.
- <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/ProcessControl/Lighting.htm>
- <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Equipment/FieldIndicators.htm>
- <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Equipment/FieldIndicators.htm>
- CRANE, Dale.(2003). "Manual de Mecánica de Aviación". Cuarta Edición. Aviation Supplies & Academics, Inc. Estados Unidos de América.
- <http://www.elmundodelaaviacion.com.ar/manuales-tecnicos/41-ensayos-no-destructivos/154-modos-de-magnetizacion?format=pdf/>

ANEXOS

ANEXO A:

“ANTE PROYECTO”

1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico es una institución educativa que prepara y capacita personal técnico con un alto nivel de conocimientos aeronáuticos, para afrontar los retos futuros de la especialidad y satisfacer el mercado actual de profesionales con gran calidad y alto desempeño.

Para cumplir con este fin el Instituto cuenta con talleres, laboratorios totalmente equipados y dispone de elementos necesarios para proporcionar un correcto aprendizaje teórico práctico en las diferentes áreas de educación que brinda el instituto.

Con el fin de elevar el nivel académico, y la familiarización con los métodos de Ensayos No Destructivos a los nuevos tecnólogos, la institución cuenta con un laboratorio adecuado para este tipo de pruebas, el mismo que se encuentra en el campus tecnológico en el bloque 42.

Se requiere implementar un manual para conocer el procedimiento NDT (Non Destructive Test), mejorando de esta manera el conocimiento teórico-práctico de los métodos Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas mediante el uso adecuado de equipos, normas y manuales.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo mejorar el aprendizaje de los estudiantes de Mecánica Aeronáutica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico-ITSA mediante la elaboración de un manual de capacitación de NDI en el área de Materiales y Procesos?

1.3 Justificación e Importancia

En vista de que el laboratorio de NDT es una fuente de instrucción básica en cualquier institución educativa que forme profesionales en el campo aeronáutico, ya que es una herramienta que permite incrementar y afianzar los conocimientos aeronáuticos, siendo los mayores beneficiarios la comunidad educativa.

De ahí la importancia de que el laboratorio de NDT debe contar con un manual de entrenamiento de los diferentes métodos de NDT necesarios para fortalecer las prácticas del área de Materiales y Procesos, contribuyendo al conocimiento de los tecnólogos e incrementar su nivel educativo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar la factibilidad de implantar un manual de capacitación de la utilización y manejo de un KIT FOTÓMETRO, MAGNETIC FIELD INDICATOR y PIE GAGE para mejorar las prácticas de los estudiantes en los métodos de NDT de líquidos penetrantes y partículas magnéticas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de campo acerca de las necesidades que tiene el laboratorio
- Recopilar información bibliográfica actualizada sobre los métodos de NDT.
- Analizar y verificar la información recopilada.
- Establecer conclusiones y recomendaciones

1.5 Alcance

El presente trabajo de investigación tiene como mejorar la práctica, normas de seguridad, uso adecuado de equipos en cada inspección de NDT que se realice en el laboratorio de NDT que se encuentra en el campus del Instituto Tecnológico

Superior Aeronáutico ubicado en la provincia de Cotopaxi ciudad Latacunga con el propósito de detectar discontinuidades superficiales en materiales, componentes y partes estructurales de un avión a través de procedimientos escritos regidos por códigos, especificaciones y normas como ANSI, ASME, ASTM, NMX y AWS. Para realizar una inspección visual correcta revelando si hay daño o no en un determinado elemento, sin causar ningún daño a la pieza.

Además de servir como fuente de investigación a todo aquel que presente interés por los métodos de NDT dentro y fuera del Ámbito Aeronáutico.

2 Plan de la Investigación (Metodología)

2.1 Modalidad básica de la Investigación

- **De campo**

Se realizará una observación al laboratorio de NDT que esta el campus tecnológico para analizar e identificar el problema. Se realiza este tipo de investigación para conocer con que equipos y materiales cuenta, establecer por que no existen manuales de procedimientos necesarios para las prácticas de NDI.

- **Bibliográfica Documental**

Para el presente trabajo se requerirá la utilización de textos de aviación, textos de mecánica, manual de mantenimiento, estándares internacionales, fuentes de internet, ya que permitirá agregar información real y necesaria acerca del tema para ampliar los conocimientos y solucionar el problema.

2.2 Tipos de Investigación

- **No experimentales**

En este tipo de investigación tratamos de canalizar nuestra investigación y daremos solución al problema planteado sin la manipulación intencional de las variables, ya que se basa en trabajos similares ya realizados para cumplir el objetivo y dar un buen uso a manuales y equipos existentes.

2.3 Niveles de investigación

- **Exploratoria**

Se realiza una investigación exploratoria debido a que se familiariza con una temática poco estudiada, la cual permitirá identificar de mejor manera el problema

e inspeccionar a través de diferentes procedimientos de acuerdo con las diferentes fuentes de información, con esto se podrá crear destrezas en el manejo de equipos, materiales y procedimientos.

- **Descriptiva**

De esta manera con la información recolectada de diversas fuentes, nos ayudara a comprender y mejorar los conocimientos de una manera práctica.

- **Explicativa**

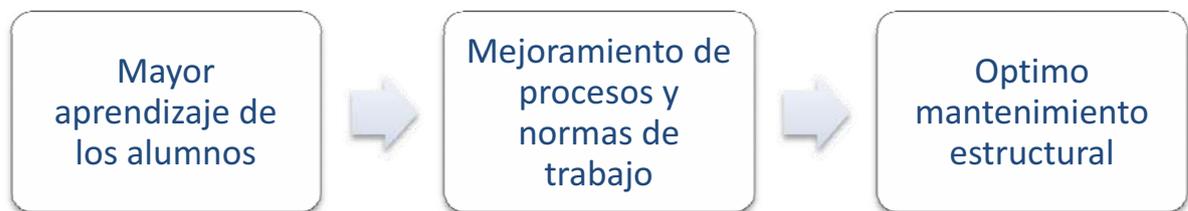


Fig.: 2.1 Nivel de la Investigación Explicativo

2.4 Universo, Población y Muestra

La población está determinada de una parte del universo que pueden ser los docentes y técnicos del área de materiales y procesos de la carrera de Mecánica Aeronáutica.

2.5 Técnicas de la Investigación

- La Técnica Bibliográfica ayudara con el aporte de documentos respectivos y en caso de no contar con información suficiente utilizaremos páginas de internet, para poder estructurar el marco teórico que será fundamental para el desarrollo del anteproyecto.
- La Técnica de Campo será desarrollada en el Instituto Aeronáutico, donde se encuentran los problemas a resolver mediante nuestra investigación.

- La Entrevista, en este caso utilizaremos fichas de entrevistas con un cuestionario previamente elaborado.

2.6 Recolección de datos

Bibliográfica

Se utilizara esta técnica de recolección de datos por que nos permitirá acceder a información de diferentes documentos registrados en libros, manuales e información de campo que ayudara a solucionar el problema planteado.

De campo

Se utilizara esta técnica de recolección de datos ya que a través de la observación del lugar donde se desarrolla el problema nos permitirá registrar de modo confiable las necesidades reales del problema.

2.7 Procesamiento de la información

Una vez realizado la recolección se procederá a organizar la información adquirida con una revisión minuciosa del objeto de estudio y datos registrados en libros, tesis, revistas, Internet, entre otros.

Este proceso nos ayudará a plantear las hipótesis necesarias relacionadas con el problema y de esta manera resolverlo de forma efectiva.

2.8 Análisis e interpretación de Resultados

Una vez culminado el procesamiento de la información se procederá a analizar e interpretar los resultados mediante una comparación entre la investigación de campo con la investigación teórica que nos ayudara a encontrar las posibles conclusiones y recomendaciones.

2.9 Conclusiones y Recomendaciones

Realizado el análisis e interpretación se procederá a elaborar las conclusiones para reconocer el problema y realizar posibles recomendaciones para la solución del futuro trabajo previo al proyecto de grado.

2 Marco Teórico

3.1.1 Antecedentes de la investigación

Debido a que las aeronaves resisten esfuerzos producidos en vuelo los materiales estructurales empiezan a perder su tiempo de vida útil lo cual puede ocasionar a mas de una cuantiosa pérdida económica, pérdidas humanas; por esta razón el fabricante edita publicaciones donde establece o difunde las políticas programadas de inspecciones, procedimientos, instrucciones técnicas a todo el personal técnico y administrativo.

En nuestra institución existe muy poca información acerca del KIT FOTOMETRO, MAGNETIC FIELD INDICATOR, PIE GAGE, equipos esenciales para realizar una inspección a partes o componentes estructurales de un avión que permite conocer la sanidad de los materiales.

Por lo expuesto anteriormente es importante mejorar el nivel práctico de los estudiantes dentro de esta área. De tal manera que esta investigación se basará en la aplicación de Ensayos No Destructivos que aportan con conocimientos a la cátedra de Materiales y Procesos, de esta forma se fortalecerá el uso de equipos y manuales NDT.

3.1.2 Fundamentación Teórica

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los Ensayos No Destructivos, también conocidos como END o NDT (Non Destructive Test). Son métodos de inspección que se emplean para la detección y evaluación de discontinuidades superficiales y subsuperficiales de los materiales sin destruirlos, sin alterar o afectar su utilidad. .

VENTAJAS

- ✦ El material inspeccionado sigue siendo útil.
- ✦ Son rápidos de aplicar.
- ✦ Solo hay pérdidas cuando aparece material defectuoso.
- ✦ Aumentan la seguridad y confiabilidad de un producto.
- ✦ Procesos de fabricación (fundición, forja soldadura y tratamientos
- ✦ Producto terminado
- ✦ Durante el servicio de la pieza

LIMITACIONES

- ✦ Sus resultados siempre dependen del patrón de referencia empleado en la calibración.
- ✦ La confiabilidad de los resultados depende en gran medida de la habilidad del inspector.

BENEFICIOS DE LOS NDT EN MANTENIMIENTO

- ✦ Ayudan a predecir el estado del equipo o material inspeccionado.
- ✦ Ayudan a programar las fechas más convenientes de reparación.
- ✦ Aumentan la seguridad de las reparaciones.
- ✦ Permiten monitorear la vida remanente de los materiales.

RAZONES PARA SELECCIONAR UN MÉTODO DE NDT

En la inspección de recepción, determina si la materia prima cumple con los requisitos de calidad solicitados por el cliente.

En la inspección en proceso, determina si un objeto es aceptable después de cada etapa de fabricación.

En la inspección final, determina si un objeto es aceptable para su uso final.

En la inspección en servicio, si un objeto en uso es confiable para continuar en servicio.

Los métodos de ensayos no destructivos según la ASNT (AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING) son:

- | | |
|---|-------|
| 1) Inspección visual. | (VT) |
| 2) Líquidos penetrantes. | (PT) |
| 3) Partículas magnéticas. | (MT) |
| 4) Electromagnetismo. (Corrientes Eddy) | (ET) |
| 5) Ultrasonido. | (UT) |
| 6) Radiografía. | (RT) |
| 7) Emisión acústica. | (AET) |
| 8) Radiografía con neutrones. | (NRT) |
| 9) Termografía infrarroja. | (TIR) |
| 10) Análisis de vibraciones | (VA) |
| 11) Prueba de fuga. | (LT) |

1) Inspección visual

Es un método de END para la detección y examinación de discontinuidades superficiales tales como grietas, corrosión, desgaste, erosión, fugas o daños físicos y discontinuidades superficiales en soldadura.

La limitante en este método de ensayo no destructivo es la detección únicamente de discontinuidades abiertas a la superficie.

2) Líquidos penetrantes

Método de inspección superficial del tipo físico-químico que consiste en aplicar a la superficie de una pieza (no porosa o con exclusiva rugosidad o escamado) un líquido con pigmentación contrastante o fluorescente para que se introduzca por capilaridad en las posibles discontinuidades.

Después de remover el exceso de penetrante se aplica un revelador que extrae el líquido de las discontinuidades y lo muestra sobre un fondo contrastante.

VENTAJAS:

- Simple de usar, preciso y fácil de interpretar.

3) Partículas magnéticas

Es un método de END que generalmente usa corriente eléctrica para crear un flujo magnético en una pieza y al aplicarse un polvo ferromagnético se produce la indicación donde exista interrupción o distorsión de las líneas de flujo.

VENTAJAS:

Método simple, fácil, portable y rápido

La inspección es más rápida que PT y de bajo costo.

DESVENTAJAS:

Las piezas deben ser limpiadas antes y desmagnetizadas después.

El flujo magnético debe ser normal al plano del defecto.

LIMITACIONES

Es aplicable solamente a materiales ferromagnéticos; en soldadura, el metal depositado debe ser también ferromagnético.

No detectará discontinuidades que se encuentren a profundidades mayores de 1/4".

4) Electromagnetismo. (Corrientes Eddy)

Está basada en los principios de la inducción electromagnética y es utilizada para identificar o diferenciar entre una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en partes metálicas ferromagnéticas y no ferromagnéticas, y en partes no metálicas que sean eléctricamente conductoras.

Las corrientes de Eddy son creadas usando la inducción electromagnética, este método no requiere contacto eléctrico directo con la parte que está siendo inspeccionada.

5) Ultrasonido

Es un ensayo no destructivo de tipo mecánico y volumétrico, diseñado para detectar variaciones en la constitución o la estructura interna de un material.

6) Radiografía

Es un método de END que utiliza radiación ionizante de alta energía, que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía se atenúa debido a la diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades.

Las variaciones de atenuación o absorción en un material, son detectadas y registradas en una película radiográfica o pantalla fluorescente, obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza o componente.

7) Emisión acústica

Con este método se detecta delaminaciones, roturas del núcleo en materiales compuestos y huecos.

VENTAJAS:

- Puede ser realizada desde una superficie.
- Tiene una lectura directa

- No requiere preparación de la superficial ni remover la pintura

DESVENTAJAS:

- Pierde sensibilidad con el incremento de espesor del material
- Requiere corriente externa

8) Radiografía con neutrones

La neutrografía es un caso muy particular de radiografía en el que se emplean neutrones como radiación. Los neutrones interactúan con la materia según su energía. Los neutrones lentos serán capturados por los núcleos en función de la sección eficaz de éstos. Los de mayor energía colisionarán en forma elástica o inelástica, perturbando, fundamentalmente, átomos con núcleos livianos, como el hidrógeno ionizándolos y empujándolos dentro del material. El resultado es en general complementario al de las radiografías con fotones: los materiales livianos absorberán más neutrones que los pesados, produciendo imágenes radiográficas inversas a las radiografías convencionales.

9) Termografía infrarroja

La Termografía infrarroja es una técnica que permite ver la temperatura de una superficie con precisión sin tener que tener ningún contacto con ella. Gracias a la Física podemos convertir las mediciones de la radiación infrarroja en mediciones de temperatura, esto es posible midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

10) Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones ayuda a diagnosticar problemas en el equipo de trabajo antes de que ocurra algún fallo catastrófico

Ventajas:

- Gran reducción en los costos de mantenimiento no planeado.
(mantenimiento correctivo)
- Altas reducciones en inventario de partes de repuesto al tener un mejor conocimiento del estado de la maquinaria.
- Reducción en las ordenes de trabajo de emergencia y tiempo extra.
- Reparaciones mas eficientes y reducción de costes de mantenimiento.
- Incremento en la capacidad de producción, debido a menos rechazos por fallas en el equipo ocasionadas por excesiva vibración.
- Mejores condiciones de seguridad, al no forzar a las máquinas a trabajar hasta el punto de fallar.

11) Prueba de fuga

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc., donde puede recluirse o escaparse algún fluido.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Es la aplicación de métodos físicos directos, que dañan y alteran de forma permanente las propiedades: físicas, químicas mecánicas o dimensionales del material, parte o componente sujeto a inspección.

CONFORMACIÓN DE UN LABORATORIO NDT

Un laboratorio NDT es creado dentro del ITSA para satisfacer las necesidades de los estudiantes con respecto a la aeronáutica, brindando conocimientos en base a prácticas de mantenimiento de las aeronaves, para lo cual cuenta con materiales y equipos de inspección como: lámpara de luz negra, medidores de intensidad de luz UV y luz blanca, Pie Gage, indicador de campo magnético, partículas magnéticas, líquidos penetrantes,

Lámpara de luz Negra



Figura 3.1 Lámpara de luz negra

Son lámparas que emiten radiación electromagnética ultravioleta cercana, con una componente residual muy pequeña de luz visible.

Medidores de intensidad de luz UV y luz blanca



Figura 3.2 Kit Fotómetro

Mediciones de intensidad de luz se hacen usando un radiómetro. Un radiómetro es un instrumento que traduce la energía luminosa en una corriente eléctrica. La luz que incide un detector de fotodiodos de silicio provoca un cargo a acumularse entre las capas internas. Cuando un circuito externo desconectado a la célula, una corriente eléctrica es producida. Esta corriente es lineal con respecto a la luz incidente. Algunos radiómetros tienen la capacidad de medir tanto la luz blanca y UV, mientras que otros requieren un sensor separado para cada medición. La zona de detección siempre debe mantenerse limpio y libre de materiales que pueden reducir u obstruir luz que llega al sensor.

Pie Gage

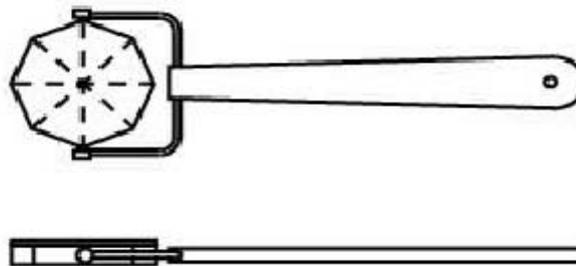


Figura 3.3 Pie Gage

El medidor pie gage de partículas magnéticas es un dispositivo que se usa como ayuda para determinar la dirección de los campos magnéticos para la detección de discontinuidades en metales ferrosos.

Indicador de campo magnético



Figura 3.4 Indicador de campo magnético

Este equipo indica el magnetismo residual que queda en la pieza después de la magnetización.

Yugo electromagnético



Figura 3.5 Yugo electromagnético

Es un instrumento portable, autónomo diseñado para producir un campo magnético en o dentro de los materiales ferro magnéticos.

Partículas Magnéticas

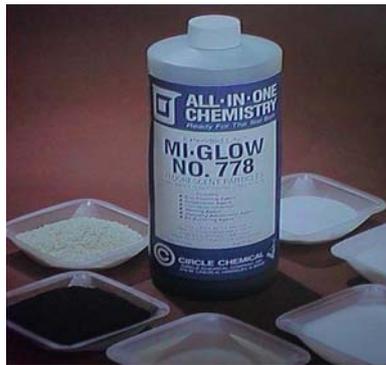


Figura 3.6 Partículas magnéticas

Básicamente son materiales ferromagnéticos fragmentados que se les adicionan colores fluorescente o visibles y hacerlos fácilmente detectables sobre la superficie de la pieza.

Líquidos penetrantes

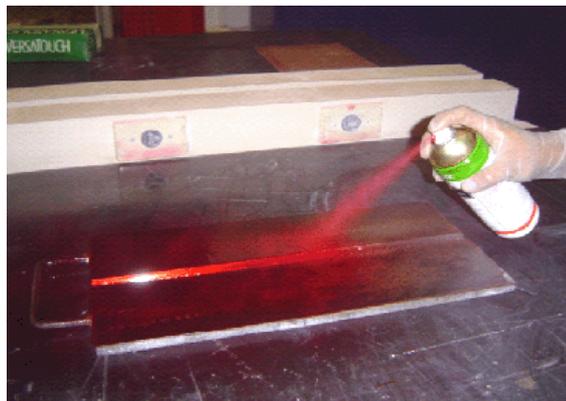


Figura 3.7 Líquidos penetrantes

Es un líquido que tiene por finalidad detectar las fisuras. El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie en estudio, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. Después de un determinado tiempo se elimina el exceso de líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de éstas.

4 Ejecución del Plan Metodológico

4.1 Modalidad Básica de la Investigación

4.1.1 De Campo

En esta modalidad de investigación se determinó que de acuerdo a la infraestructura del Campus existe una ESTACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, la cual consta de instalación adecuada, materiales y equipos adecuados para realizar una inspección, pero no se cuenta algunos equipos como Kit Fotómetro, Magnetig Field Indicator, Pie Gage y con los manuales de procedimientos para realizar prácticas, por lo que es importante hacer énfasis en que con equipos y documentos suficientes los estudiantes puedan relacionarse en el área y con temas de interés actual sobre aviación; los cuales proporcionarían de mejor manera los conceptos básicos que beneficien su aprendizaje.

Para una explicación detallada de cómo se encuentra el laboratorio de NDT a continuación exponemos las siguientes imágenes.



Fig.4.1 Instalaciones de la Estación de ensayos no destructivos.

Materialles:

Desc: ZL-56 PENETRANT P/N: 01-3267-40

Desc: ZL-27A PENETRANT P/N: 01-3187-79



Fig. 4.2 Líquido Penetrante

Desc: SKC-S CLEANER P/N: 01-5750-78



Fig. 4.3 Limpiador

Desc: ZP-9F DEVELOPER

P/N: 01-3354-79



Fig. 4.4 Revelador

Desc: 14 AN MAGNAGLO

P/N: 01-0145-78



Fig. 4.5 Partículas magnéticas Húmedas

EQUIPOS

YUGO MAGNÉTICO



Fig. 4.6 Yugo magnético

BOBINA ESTÁTICA



Fig. 4.7 Bobina estática

4.1.2 Bibliográfica Documental

Para la realización del presente trabajo se recopiló información de diversas fuentes como textos de aviación, textos de mecánica, catálogos, revistas, formularios, el uso de internet, para la elaboración de nuestro material de investigación.

4.2 Tipos de Investigación

El tipo de investigación que se aplicó en el desarrollo de este anteproyecto fue de tipo No Experimental, el mismo que sirvió de mucha ayuda para tener una idea más clara y precisa de las falencias que tenemos al no contar con un manual de procedimientos para el uso de equipos de NDT.

4.3 Niveles de Investigación

4.3.1 Exploratoria

Se trabajó con este tipo de investigación con el afán de mejorar los conocimientos y destrezas de los estudiantes del ITSA, ya que es un tema poco estudiado con el afán de equipar un laboratorio de última tecnología para realizar inspecciones, cabe recalcar por ser el único instituto con carreras aeronáuticas debe tener un laboratorio adecuado para estar al mismo nivel con otras universidades internacionales y contribuir con el desarrollo del país.

4.3.2 Descriptiva

Este tipo de investigación facilitó la recolección, evaluación y análisis de datos que se consiguieron a partir de una serie de cuestiones para justificar detalladamente las diferentes opciones de solución.

4.3.3 Explicativa

Mediante este estudio encontramos la razón principal para mejorar nuestro sistema de estudio, mediante normas y procesos que debemos seguir para dar un óptimo mantenimiento estructural.

4.4 UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra que tenemos dentro de esta investigación bibliográfica y debido a la falta de profesionales dentro de este tema solicitaremos a dos catedráticos una entrevista en cuanto a la importancia del tema.

4.5 RECOLECCION DE DATOS

La recolección de datos se realizó en base a la observación directa del KIT FOTOMETRO, MAGNETIC FIEL INDICATOR, PIE GAGE en el laboratorio, además fue realizado por medio de páginas de internet, folletos donde se obtiene la información del funcionamiento de dicho material.

4.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La información fue recolectada mediante el proceso de investigación, la observación, la investigación bibliográfica, la entrevista y la indagación en internet, las cuales han sido consideradas un pilar fundamental para la constitución del proyecto.

4.7 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

ENTREVISTA No. 1

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO ENTREVISTA PARA DOCENTES Y TÉCNICOS DEL ÁREA DE MATERIALES Y PROCESOS

Datos informativos:

Lugar: CEMA-DIAF

Fecha: 26-09-2012

Entrevistado: Sgos. Marco Basantes

Teléfono: 098647082

Entrevistador: Cristian Valberde

Objetivo:

El objetivo de esta entrevista es obtener información acerca si la utilización de manual de entrenamiento de NDT mejorará el rendimiento teórico práctico de los estudiantes de la carrera de mecánica aeronáutica.

Preguntas:

1. ¿Cree usted que se debería instruir a los alumnos con manuales de procedimientos en cada cátedra?

Si debido a que el poseer un manual de procedimientos permite la estandarización de los métodos y técnicas utilizadas para la enseñanza.

2. ¿Cree usted que es importante elaborar un manual de procedimientos de NDT para el mejoramiento académico de la Carrera de Mecánica Aeronáutica en el ITSA?

Si **X**

No

El manual de procedimientos de NDI del ITSA sería aplicable y elaborado en base a los requerimientos del ITSA en este caso con carácter de ayuda de instrucción.

3. ¿Al implementar un manual de procedimientos de NDT en el ITSA el estudiante se aficionará mas por la aviación y su rendimiento académico crecerá?

Si pero en el área relacionada a NDI.

¿Por qué?

Porque es un manual especifico aplicable solo para ensayos no destructivos.

4. ¿Qué aspectos técnicos se debe tomar en cuenta para la creación de un manual para la carrera de Mecánica Aeronáutica en la asignatura de Materiales y Procesos?

Verificar que existan equipos y materiales disponibles en el taller de NDI del ITSA.

¿Por qué?

Ya que requiere dar instrucción practica con el objetivo de reforzar los conocimientos en los alumnos.

5. ¿Cree usted que el Instituto Aeronáutico cuenta con un manual necesario en el área de Materiales y Procesos para el buen desenvolvimiento de los alumnos?

No dispone

ENTREVISTA No. 2

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO ENTREVISTA PARA DOCENTES Y TÉCNICOS DEL ÁREA DE MATERIALES Y PROCESOS

Datos informativos:

Lugar: CEMA

Fecha: 26-09-2012

Entrevistado: Sgop. Javier Shulca

Teléfono: 095203871

Entrevistador: Cristian Valberde

Objetivo:

El objetivo de esta entrevista es obtener información acerca si la utilización de manual de entrenamiento de NDT mejorará el rendimiento teórico práctico de los estudiantes de la carrera de mecánica aeronáutica.

Preguntas:

1. ¿Cree usted que se debería instruir a los alumnos con manuales de procedimientos en cada cátedra?

Es necesario un manual de entrenamiento propio del ITSA para esta materia.

2. ¿Cree usted que es importante elaborar un manual de procedimientos de NDT para el mejoramiento académico de la Carrera de Mecánica Aeronáutica en el ITSA?

Si **X**

No

3. ¿Al implementar un manual de procedimientos de NDT en el ITSA el estudiante se aficionará mas por la aviación y su rendimiento académico crecerá?

SI

¿Por qué? Porque en el procedimiento detalla en forma ordenada y escrita los pasos a seguir, esto influye hacer prácticas.

4. ¿Qué aspectos técnicos se debe tomar en cuenta para la creación de un manual para la carrera de Mecánica Aeronáutica en la asignatura de Materiales y Procesos?

Utilizar como base la ASTM Vol. 3 Sección 3

¿Por qué?

Esta información es la base a nivel internacional del personal de NDT

5 ¿Cree usted que el Instituto Aeronáutico cuenta con un manual necesario en el área de Materiales y Procesos para el buen desenvolvimiento de los alumnos?

No posee

Interpretación

Después de haber obtenido los datos por medio de las entrevistas deducimos que es necesario un manual de entrenamiento propio para esta materia ya que sería aplicable y elaborado en base a los requerimientos de la institución en este caso con carácter de ayuda de instrucción, con procedimientos detallados en forma ordenada y pasos a seguir al momento de realizar prácticas, también manifiestan que se debe utilizar como base la norma ASTM Vol. 3 Sección 3 ya que es un pilar fundamental para los técnicos de NDT.

4.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.8.1 CONCLUSIONES

- La información recogida acerca de NDT con la que actualmente se cuenta no satisface las exigencias necesaria de enseñanza ya sea para el docente como para el alumno debido a que se encuentran desactualizados.
- Por medio del estudio de campo se concluye que en el laboratorio hay materiales para realizar prácticas con los métodos líquidos penetrantes y partículas magnéticas pero cuenta con instrumentos necesarios para realizar la inspección.
- Se determinó que no hay suficiente información acerca de NDT, manual, revistas para que los alumnos puedan ampliar sus conocimientos.

4.8.2 RECOMENDACIONES

- Es indispensable incorporar revistas, libros, manuales de NDT actualizados para fomentar los conocimientos de los alumnos de la carrera de Mecánica Aeronáutica.
- Se recomienda implementar siguientes equipos: Kit fotómetro, Indicador de flujo magnético, pie gage para realizar una inspección fundamental a las partes estructurales de una aeronave.

- Para obtener buenos resultados en la práctica de NDT es fundamental elaborar un manual de capacitación de NDI para los métodos líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Para mejorar el aprendizaje de los estudiantes del ITSA en el área de materiales y procesos.

5. Denuncia del Tema

**“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CAPACITACIÓN DE NDI PARA
LOS MÉTODOS: TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS E
IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT FOTOMETRO, INDICADOR DE FLUJO
MAGNÉTICO Y PIE GAGE”**

6. Factibilidad

6.1 Técnica

El presente trabajo de graduación es muy factible ya que la teoría y la práctica tienen una relación paralela en el aprendizaje de los estudiantes de mecánica aeronáutica en la cátedra de materiales y procesos, por lo tanto al utilizar un Manual de Capacitación como Guía de Laboratorio se ampliarán los conocimientos de los diferentes métodos de NDT, fortaleciendo la formación académica y profesional de los futuros tecnólogos al cumplir las expectativas esperadas.

6.2 Legal

REGLAMENTO PARA LA GRADUACIÓN DE TECNÓLOGOS

DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CAPITULO I

GENERALIDADES

Art. 3 Para la graduación como tecnólogo se instituye el Trabajo de Graduación dando cumplimiento al Art. 34 del Reglamento de Régimen Académico del Sistema Nacional de Educación Superior.

Art. 5 En el trabajo de graduación se deberá utilizar la metodología de la investigación científica, para resolver problemas del entorno natural y/o social del contexto con su respectiva propuesta de solución. El enfoque puede ser predominante cualitativo o cuantitativo dependiendo del tipo de investigación.

6.3 Apoyo

La principal fuente de apoyo es el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico. Sus instalaciones específicamente la estación de ensayos no destructivos ya que es el pilar fundamental para la investigación de campo.

6.4 Recursos

6.4.1 Talento Humano

Humano

Tabla 6.1 Talento Humano

Cargo	Nombre
Investigador	Valberde Cristian
Asesor	-

6.4.2 Recursos Materiales

Tabla 6.2 Recursos Materiales

Unidades	Elementos
1	Computadora
1	Impresora
1	Flash Memory
-	Manuales de Aviación
-	Papel Bond
-	Internet
1	Vehículo

6.4.3 Presupuesto

6.4.3.1 Costos Primarios

Tabla 6.3 Costos Primarios

Cantidad	Equipo	Valor Total
1	Kit Fotómetro	\$ 800,00
1	Field Indicator	\$50,00
1	Pie Gage	\$ 50,00
	TOTAL	\$ 900,00

6.4.3.1 Costos Secundarios

Tabla 6.4 Costos Secundarios

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
-	Transporte	\$ 40,00
50	Horas de Internet	\$ 35,00
-	Impresiones	\$ 30,00
-	Anillado	\$ 3,00
-	Gastos Varios	\$ 40,00
	Total	\$ 148,00

El valor total del costo lo obtenemos sumando el total del costo primario mas el costo secundario.

Presupuesto Total: \$ 900,00 + \$ 148,00 = \$ 1048,00

Cronograma

TIEMPO ACTIVIDADES	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Planteamiento del Problema																								
Desarrollo y Elaboración del Anteproyecto																								
Presentación del Anteproyecto																								
Aprobación del Anteproyecto																								
Desarrollo del Proyecto																								
Revisión																								
Pre Defensa del Proyecto																								
Defensa del Trabajo de Grado																								

ANEXO A1:
“MODELO DE ENTREVISTA”

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

Entrevista No.....

Fecha:.....

**Cedula de entrevista: DOCENTES Y TÉCNICOS DEL ÁREA DE
MATERIALES Y PROCESOS**

Preguntas:

1. ¿Cree usted que se debería instruir a los alumnos con manuales de procedimientos en cada cátedra?

.....
.....
.....

2. ¿Cree usted que es importante elaborar un manual de procedimientos de NDT para el mejoramiento académico de la Carrera de Mecánica Aeronáutica en el ITSA?

Si

No

.....
.....

3. ¿Al implementar un manual de procedimientos de NDT en el ITSA el estudiante se aficionará mas por la aviación y su rendimiento académico crecerá?

.....
.....

¿Por qué?

.....
.....

4. ¿Qué aspectos técnicos se debe tomar en cuenta para la creación de un manual para la carrera de Mecánica Aeronáutica en la asignatura de Materiales y Procesos?

.....
.....

¿Por qué?

.....
.....

5. ¿Cree usted que el Instituto Aeronáutico cuenta con un manual necesario en el área de Materiales y Procesos para el buen desenvolvimiento de los alumnos?

.....
.....
.....

Observaciones:.....
.....

Datos socio-demográficos del encuestado:

Nombre:..... Dirección:..... Teléfono:.....

Edad:..... Estado civil:..... Nivel de Educación:.....

ANEXO B:
NORMAS: ASME Y ASTM

ARTICLE 6

LIQUID PENETRANT EXAMINATION

T-610 SCOPE

When specified by the referencing Code Section, the liquid penetrant examination techniques described in this Article shall be used. In general, this Article is in conformance with SE-165, Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination. This document provides details to be considered in the procedures used.

When this Article is specified by a referencing Code Section, the liquid penetrant method described in this Article shall be used together with Article 1, General Requirements. Definitions of terms used in this Article appear in Mandatory Appendix I of this Article and Article 1, Appendix I.

T-620 GENERAL

The liquid penetrant examination method is an effective means for detecting discontinuities which are open to the surface of nonporous metals and other materials. Typical discontinuities detectable by this method are cracks, seams, laps, cold shuts, laminations, and porosity.

In principle, a liquid penetrant is applied to the surface to be examined and allowed to enter discontinuities. All excess penetrant is then removed, the part is dried, and a developer is applied. The developer functions both as a blotter to absorb penetrant that has been trapped in discontinuities, and as a contrasting background to enhance the visibility of penetrant indications. The dyes in penetrants are either color contrast (visible under white light) or fluorescent (visible under ultraviolet light).

T-621 Written Procedure Requirements

T-621.1 Requirements. Liquid penetrant examination shall be performed in accordance with a written procedure which shall as a minimum, contain the requirements listed in Table T-621. The written procedure shall establish a single value, or range of values, for each requirement.

T-621.2 Procedure Qualification. When procedure qualification is specified, a change of requirement in

Table T-621 identified as an essential variable from the specified value, or range of values, shall require requalification of the written procedure. A change of a requirement identified as a nonessential variable from the specified value, or range of values, does not require requalification of the written procedure. All changes of essential or nonessential variables from the value, or range of values, specified by the written procedure shall require revision of, or an addendum to, the written procedure.

T-630 EQUIPMENT

The term *penetrant materials*, as used in this Article, is intended to include all penetrants, emulsifiers, solvents or cleaning agents, developers, etc., used in the examination process. The descriptions of the liquid penetrant classifications and material types are provided in SE-165 of Article 24.

T-640 MISCELLANEOUS REQUIREMENTS

T-641 Control of Contaminants

04

The user of this Article shall obtain certification of contaminant content for all liquid penetrant materials used on nickel base alloys, austenitic or duplex stainless steels, and titanium. These certifications shall include the penetrant manufacturers' batch numbers and the test results obtained in accordance with Mandatory Appendix II of this Article. These records shall be maintained as required by the referencing Code Section.

T-642 Surface Preparation

(a) In general, satisfactory results may be obtained when the surface of the part is in the as-welded, as-rolled, as-cast, or as-forged condition. Surface preparation by grinding, machining, or other methods may be necessary where surface irregularities could mask indications.

(b) Prior to each liquid penetrant examination, the surface to be examined and all adjacent areas within at least

TABLE T-621
REQUIREMENTS OF A LIQUID PENETRANT EXAMINATION PROCEDURE

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Identification of and any change in type or family group of penetrant materials including developers, emulsifiers, etc.	X	
Surface preparation (finishing and cleaning, including type of cleaning solvent)	X	
Method of applying penetrant	X	
Method of removing excess surface penetrant	X	
Hydrophilic or lipophilic emulsifier concentration and dwell time in dip tanks and agitation time for hydrophilic emulsifiers	X	
Hydrophilic emulsifier concentration in spray applications	X	
Method of applying developer	X	
Minimum and maximum time periods between steps and drying aids	X	
Decrease in penetrant dwell time	X	
Increase in developer dwell time (Interpretation Time)	X	
Minimum light intensity	X	
Surface temperature outside 50 to 125°F (10 to 52°C) or as previously qualified	X	
Performance demonstration, when required	X	
Personnel qualification requirements		X
Materials, shapes, or sizes to be examined and the extent of examination		X
Post examination cleaning technique		X

1 in. (25 mm) shall be dry and free of all dirt, grease, lint, scale, welding flux, weld spatter, paint, oil, and other extraneous matter that could obscure surface openings or otherwise interfere with the examination.

(c) Typical cleaning agents which may be used are detergents, organic solvents, descaling solutions, and paint removers. Degreasing and ultrasonic cleaning methods may also be used.

(d) Cleaning solvents shall meet the requirements of T-641. The cleaning method employed is an important part of the examination process.

NOTE: Conditioning of surfaces prior to examination as required in T-642(a) may affect the results. See SE-165, Annex A1.

T-643 Drying After Preparation

After cleaning, drying of the surfaces to be examined shall be accomplished by normal evaporation or with forced hot or cold air. A minimum period of time shall be established to ensure that the cleaning solution has evaporated prior to application of the penetrant.

T-650 TECHNIQUE

T-651 Techniques

Either a color contrast (visible) penetrant or a fluorescent penetrant shall be used with one of the following three penetrant processes:

- (a) water washable
- (b) post-emulsifying
- (c) solvent removable

The visible and fluorescent penetrants used in combination with these three penetrant processes result in six liquid penetrant techniques.

T-652 Techniques for Standard Temperatures

As a standard technique, the temperature of the penetrant and the surface of the part to be processed shall not be below 50°F (10°C) nor above 125°F (52°C) throughout the examination period. Local heating or cooling is permitted provided the part temperature remains in the range of 50°F to 125°F (10°C to 52°C) during the examination. Where it is not practical to comply with these temperature limitations, other temperatures and times may be used, provided the procedures are qualified as specified in T-653.

T-653 Techniques for Nonstandard Temperatures

When it is not practical to conduct a liquid penetrant examination within the temperature range of 50°F to 125°F (10°C to 52°C), the examination procedure at the proposed lower or higher temperature range requires qualification of the penetrant materials and processing in accordance with Mandatory Appendix III of this Article.

TABLE T-672 MINIMUM DWELL TIMES

Material	Form	Type of Discontinuity	Dwell Times [Note (1)] (minutes)	
			Penetrant	Developer
Aluminum, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high-temperature alloys	Castings and welds	Cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks (all forms)	5	10
	Wrought materials — extrusions, forgings, plate	Laps, cracks (all forms)	10	10
Carbide-tipped tools		Lack of fusion, porosity, cracks	5	10
Plastic	All forms	Cracks	5	10
Glass	All forms	Cracks	5	10
Ceramic	All forms	Cracks	5	10

NOTE:

(1) For temperature range from 50°F to 125°F (10°C to 52°C).

T-654 Technique Restrictions

Fluorescent penetrant examination shall not follow a color contrast penetrant examination. Intermixing of penetrant materials from different families or different manufacturers is not permitted. A retest with water washable penetrants may cause loss of marginal indications due to contamination.

T-660 CALIBRATION

Light meters, both visible and fluorescent (black) light meters, shall be calibrated at least once a year or whenever the meter has been repaired. If meters have not been in use for one year or more, calibration shall be done before being used.

T-670 EXAMINATION**T-671 Penetrant Application**

The penetrant may be applied by any suitable means, such as dipping, brushing, or spraying. If the penetrant is applied by spraying using compressed-air-type apparatus, filters shall be placed on the upstream side near the air inlet to preclude contamination of the penetrant by oil, water, dirt, or sediment that may have collected in the lines.

T-672 Penetration (Dwell) Time

Penetration (dwell) time is critical. The minimum penetration time shall be as required in Table T-672 or as qualified by demonstration for specific applications.

T-673 Excess Penetrant Removal

After the specified penetration (dwell) time has elapsed, any penetrant remaining on the surface shall be

removed, taking care to minimize removal of penetrant from discontinuities.

T-673.1 Water-Washable Penetrants. Excess water-washable penetrant shall be removed with a water spray. The water pressure shall not exceed 50 psi (350 kPa), and the water temperature shall not exceed 110°F (43°C).

T-673.2 Postemulsification Penetrants

(a) *Lipophilic Emulsification.* After the required penetrant dwell time, the excess surface penetrant shall be emulsified by immersing or flooding the part with the emulsifier. Emulsification time is dependent on the type of emulsifier and surface condition. The actual emulsification time shall be determined experimentally. After emulsification, the mixture shall be removed by immersing in or rinsing with water. The temperature and pressure of the water shall be as recommended by the manufacturer.

(b) *Hydrophilic Emulsification.* After the required penetrant dwell time and prior to emulsification, the parts shall be prerinsed with water spray using the same process as for water-washable penetrants. Prerinsing time shall not exceed 1 min. After prerinsing, the excess surface penetrant shall be emulsified by immersing in or spraying with hydrophilic emulsifier. Bath concentration shall be as recommended by the manufacturer. After emulsification, the mixture shall be removed by immersing in or rinsing with water. The temperature and pressure of the water shall be as recommended by the manufacturer.

NOTE: Additional information may be obtained from SE-165.

T-673.3 Solvent Removable Penetrants. Excess solvent removable penetrants shall be removed by wiping with a cloth or absorbent paper, repeating the operation until most traces of penetrant have been removed. The remaining traces shall be removed by lightly wiping the

surface with cloth or absorbent paper moistened with solvent. To minimize removal of penetrant from discontinuities, care shall be taken to avoid the use of excess solvent. **Flushing the surface with solvent, following the application of the penetrant and prior to developing, is prohibited.**

T-674 **Drying After Excess Penetrant Removal**

(a) For the water washable or post-emulsifying technique, the surfaces may be dried by blotting with clean materials or by using circulating air, provided the temperature of the surface is not raised above 125°F (52°C).

(b) For the solvent removable technique, the surfaces may be dried by normal evaporation, blotting, wiping, or forced air.

T-675 **Developing**

The developer shall be applied as soon as possible after penetrant removal; the time interval shall not exceed that established in the procedure. Insufficient coating thickness may not draw the penetrant out of discontinuities; conversely, excessive coating thickness may mask indications.

With color contrast penetrants, only a wet developer shall be used. With fluorescent penetrants, a wet or dry developer may be used.

T-675.1 Dry Developer Application. Dry developer shall be applied only to a dry surface by a soft brush, hand powder bulb, powder gun, or other means, provided the powder is dusted evenly over the entire surface being examined.

T-675.2 Wet Developer Application. Prior to applying suspension type wet developer to the surface, the developer must be thoroughly agitated to ensure adequate dispersion of suspended particles.

(a) *Aqueous Developer Application.* Aqueous developer may be applied to either a wet or dry surface. It shall be applied by dipping, brushing, spraying, or other means, provided a thin coating is obtained over the entire surface being examined. Drying time may be decreased by using warm air, provided the surface temperature of the part is not raised above 125°F (52°C). Blotting is not permitted.

(b) *Nonaqueous Developer Application.* Nonaqueous developer shall be applied only to a dry surface. It shall be applied by spraying, except where safety or restricted access preclude it. Under such conditions, developer may be applied by brushing. Drying shall be by normal evaporation.

T-675.3 Developing time for final interpretation begins immediately after the application of a dry developer or as soon as a wet developer coating is dry. The minimum developing time shall be as required by Table T-672.

T-676 **Interpretation**

T-676.1 Final Interpretation. Final interpretation shall be made within 10 to 60 min after the requirements of T-675.3 are satisfied. If bleed-out does not alter the examination results, longer periods are permitted. If the surface to be examined is large enough to preclude complete examination within the prescribed or established time, the examination shall be performed in increments.

T-676.2 Characterizing Indication(s). The type of discontinuities are difficult to evaluate if the penetrant diffuses excessively into the developer. If this condition occurs, close observation of the formation of indication(s) during application of the developer may assist in characterizing and determining the extent of the indication(s).

T-676.3 Color Contrast Penetrants. With a color contrast penetrant, the developer forms a reasonably uniform white coating. Surface discontinuities are indicated by bleed-out of the penetrant which is normally a deep red color that stains the developer. Indications with a light pink color may indicate excessive cleaning. Inadequate cleaning may leave an excessive background making interpretation difficult. A minimum light intensity of 100 fc (1000 Lx) is required on the surface to be examined to ensure adequate sensitivity during the examination and evaluation of indications. The light source, technique used, and light level verification is required to be demonstrated one time, documented, and maintained on file.

T-676.4 Fluorescent Penetrants. With fluorescent penetrants, the process is essentially the same as in T-676.3, with the exception that the examination is performed using an ultraviolet light, called *black light*. The examination shall be performed as follows:

(a) It shall be performed in a darkened area.

(b) The examiner shall be in the darkened area for at least 5 min prior to performing the examination to enable his eyes to adapt to dark viewing. If the examiner wears glasses or lenses, they shall not be photosensitive.

(c) The black light shall be allowed to warm up for a minimum of 5 min prior to use or measurement of the intensity of the ultraviolet light emitted. Reflectors and filters should be checked and cleaned daily when in use. Cracked or broken filters shall be replaced immediately.

(d) The black light intensity shall be measured with a black light meter. A minimum of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ on the surface of the part being examined shall be required. The

black light intensity shall be reverified at least once every 8 hr, whenever the work station is changed, or whenever the bulb is changed.

T-677 Post-examination Cleaning

When post-examination cleaning is required by the procedure, it should be conducted as soon as practical after Evaluation and Documentation using a process that does not adversely affect the part.

T-680 EVALUATION

(a) All indications shall be evaluated in terms of the acceptance standards of the referencing Code Section.

(b) Discontinuities at the surface will be indicated by bleed-out of penetrant; however, localized surface irregularities due to machining marks or other surface conditions may produce false indications.

(c) Broad areas of fluorescence or pigmentation which could mask indications of discontinuities are unacceptable, and such areas shall be cleaned and reexamined.

T-690 DOCUMENTATION

T-691 Recording of Indications

T-691.1 Nonrejectable Indications. Nonrejectable indications shall be recorded as specified by the referencing Code Section.

T-691.2 Rejectable Indications. Rejectable indications shall be recorded. As a minimum, the type of indications (linear or rounded), location and extent (length or diameter or aligned) shall be recorded.

T-692 Examination Records

04

For each examination, the following information shall be recorded:

- (a) procedure identification and revision;
- (b) liquid penetrant type (visible or fluorescent);
- (c) type (number or letter designation) of each penetrant, penetrant remover, emulsifier, and developer used;
- (d) examination personnel identity and if required by referencing Code Section, qualification level;
- (e) map or record of indications per T-691;
- (f) material and thickness;
- (g) lighting equipment; and
- (h) date and time examinations were performed.

T-693 Performance Demonstration

Performance demonstration, when required by the referencing Code Section, shall be documented.

ARTICLE 7

MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION

T-710 SCOPE

When specified by the referencing Code Section, the magnetic particle examination techniques described in this Article shall be used. In general, this Article is in conformance with SE-709, Standard Guide for Magnetic Particle Examination. This document provides details to be considered in the procedures used.

When this Article is specified by a referencing Code Section, the magnetic particle method described in this Article shall be used together with Article 1, General Requirements. Definition of terms used in this Article are in Mandatory Appendix II.

T-720 GENERAL

The magnetic particle examination method may be applied to detect cracks and other discontinuities on or near the surfaces of ferromagnetic materials. The sensitivity is greatest for surface discontinuities and diminishes rapidly with increasing depth of subsurface discontinuities below the surface. Typical types of discontinuities that can be detected by this method are cracks, laps, seams, cold shuts, and laminations.

In principle, this method involves magnetizing an area to be examined, and applying ferromagnetic particles (the examination's medium) to the surface. The particles will form patterns on the surface where cracks and other discontinuities cause distortions in the normal magnetic field. These patterns are usually characteristic of the type of discontinuity that is detected.

Whichever technique is used to produce the magnetic flux in the part, maximum sensitivity will be to linear discontinuities oriented perpendicular to the lines of flux. For optimum effectiveness in detecting all types of discontinuities, each area is to be examined at least twice, with the lines of flux during one examination approximately perpendicular to the lines of flux during the other.

T-721 Written Procedure Requirements

T-721.1 Requirements. Magnetic particle examination shall be performed in accordance with a written

procedure, which shall, as a minimum, contain the requirements listed in Table T-721. The written procedure shall establish a single value, or range of values, for each requirement.

T-721.2 Procedure Qualification. When procedure qualification is specified, a change of a requirement in Table T-721 identified as an essential variable from the specified value, or range of values, shall require requalification of the written procedure. A change of a requirement identified as a nonessential variable from the specified value, or range of values, does not require requalification of the written procedure. All changes of essential or nonessential variables from the value, or range of values, specified by the written procedure shall require revision of, or an addendum to, the written procedure.

T-730 EQUIPMENT

A suitable and appropriate means for producing the necessary magnetic flux in the part shall be employed, using one or more of the techniques listed in and described in T-750.

T-731 Examination Medium

The finely divided ferromagnetic particles used for the examination shall meet the following requirements.

(a) *Particle Types.* The particles shall be treated to impart color (fluorescent pigments, nonfluorescent pigments, or both) in order to make them highly visible (contrasting) against the background of the surface being examined.

(b) *Particles.* Dry and wet particles, including wet particle suspension vehicles, and particle concentration shall be in accordance with SE-709.

(c) *Temperature Limitations.* Particles shall be used within the temperature range limitations set by the manufacturer of the particles. Alternatively, particles may be used outside the particle manufacturer's recommendations providing the procedure is qualified in accordance with Article 1, T-150 at the proposed temperature.

TABLE T-721
REQUIREMENTS OF A MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION PROCEDURE

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Magnetizing Technique	X	
Magnetizing current type or amperage outside range specified by this Article or as previously qualified	X	
Surface preparation	X	
Magnetic particles (fluorescent/visible, color, particle size, wet/dry)	X	
Method of particle application	X	
Method of excess particle removal	X	
Minimum light intensity	X	
Coating thickness greater than that qualified	X	
Performance demonstration, when required	X	
Examination part surface temperature outside of the temperature range recommended by the manufacturer of the particles or as previously qualified	X	
Shape or size of the examination object		X
Equipment of the same type		X
Temperature (within those specified by manufacturer or as previously qualified)		X
Demagnetizing technique		X
Post examination cleaning technique		X
Personnel qualification requirements		X

T-740 MISCELLANEOUS REQUIREMENTS

T-741 Surface Conditioning

T-741.1 Preparation

(a) Satisfactory results are usually obtained when the surfaces are in the as-welded, as-rolled, as-cast, or as-forged conditions. However, surface preparation by grinding or machining may be necessary where surface irregularities could mask indications due to discontinuities.

(b) Prior to magnetic particle examination, the surface to be examined and all adjacent areas within at least 1 in. (25 mm) shall be dry and free of all dirt, grease, lint, scale, welding flux and spatter, oil, or other extraneous matter that could interfere with the examination.

(c) Cleaning may be accomplished using detergents, organic solvents, descaling solutions, paint removers, vapor degreasing, sand or grit blasting, or ultrasonic cleaning methods.

(d) If nonmagnetic coatings are left on the part in the area being examined, it shall be demonstrated that indications can be detected through the existing maximum coating thickness applied. When AC yoke technique is used, the demonstration shall be in accordance with Mandatory Appendix I of this Article.

T-741.2 Surface Contrast Enhancement. When nonmagnetic coatings are applied temporarily to uncoated surfaces only in amounts sufficient to enhance particle contrast, it shall be demonstrated that indications can be

detected through the enhancement coating.

NOTE: Refer to T-150(a) for guidance for the demonstration required in T-741.1(d) and T-741.2.

T-750 TECHNIQUE

T-751 Techniques

One or more of the following five magnetization techniques shall be used:

- (a) prod technique;
- (b) longitudinal magnetization technique;
- (c) circular magnetization technique;
- (d) yoke technique;
- (e) multidirectional magnetization technique.

T-752 Prod Technique

T-752.1 Magnetizing Procedure. For the prod technique, magnetization is accomplished by portable prod type electrical contacts pressed against the surface in the area to be examined. To avoid arcing, a remote control switch, which may be built into the prod handles, shall be provided to permit the current to be applied after the prods have been properly positioned.

T-752.2 Magnetizing Current. Direct or rectified magnetizing current shall be used. The current shall be 100 (minimum) amp/in. (4 amp/mm) to 125 (maximum) amp/in. (5 amp/mm) of prod spacing for sections $\frac{3}{4}$ in.

(19 mm) thick or greater. For sections less than $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) thick, the current shall be 90 amp/in. (3.6 amp/mm) to 110 amp/in. (4.4 amp/mm) of prod spacing.

T-752.3 Prod Spacing. Prod spacing shall not exceed 8 in. (200 mm). Shorter spacing may be used to accommodate the geometric limitations of the area being examined or to increase the sensitivity, but prod spacings of less than 3 in. (75 mm) are usually not practical due to banding of the particles around the prods. The prod tips shall be kept clean and dressed. If the open circuit voltage of the magnetizing current source is greater than 25 V, lead, steel, or aluminum (rather than copper) tipped prods are recommended to avoid copper deposits on the part being examined.

T-753 Longitudinal Magnetization Technique

T-753.1 Magnetizing Procedure. For this technique, magnetization is accomplished by passing current through a multi-turn fixed coil (or cables) that is wrapped around the part or section of the part to be examined. This produces a longitudinal magnetic field parallel to the axis of the coil.

If a fixed, prewound coil is used, the part shall be placed near the side of the coil during inspection. This is of special importance when the coil opening is more than 10 times the cross-sectional area of the part.

T-753.2 Magnetic Field Strength. Direct or rectified current shall be used to magnetize parts examined by this technique. The required field strength shall be calculated based on the length L and the diameter D of the part in accordance with (a) and (b), or as established in (d) and (e), below. Long parts shall be examined in sections not to exceed 18 in. (450 mm), and 18 in. (450 mm) shall be used for the part L in calculating the required field strength. For noncylindrical parts, D shall be the maximum cross-sectional diagonal.

(a) *Parts With L/D Ratios Equal to or Greater Than 4.* The magnetizing current shall be within $\pm 10\%$ of the ampere-turns' value determined as follows:

$$\text{Ampere-turns} = \frac{35,000}{(L/D) + 2}$$

For example, a part 10 in. (250 mm) long \times 2 in. (50 mm) diameter has an L/D ratio of 5. Therefore,

$$\frac{35,000}{(L/D) + 2} = 5000 \text{ ampere-turns}$$

(b) *Parts With L/D Ratios Less Than 4 but Not Less Than 2.* The magnetizing ampere-turns shall be within $\pm 10\%$ of the ampere-turns' value determined as follows:

$$\text{Ampere-turns} = \frac{45,000}{L/D}$$

(c) *Parts With L/D Ratios Less Than 2.* Coil magnetization technique cannot be used.

(d) If the area to be magnetized extends beyond 9 in. (225 mm) on either side of the coil's center, field adequacy shall be demonstrated using a magnetic field indicator or artificial flaw shims per T-764.

(e) For large parts due to size and shape, the magnetizing current shall be 1200 ampere-turns to 4500 ampere-turns. The field adequacy shall be demonstrated using artificial flaw shims or a pie-shaped magnetic field indicator in accordance with T-764. A Hall-Effect probe gaussmeter shall not be used with encircling coil magnetization techniques.

T-753.3 Magnetizing Current. The current required to obtain the necessary magnetizing field strength shall be determined by dividing the ampere-turns obtained in steps (a) or (b) above by the number of turns in the coil as follows:

$$\text{Amperes (meter reading)} = \frac{\text{ampere-turns}}{\text{turns}}$$

For example, if a 5-turn coil is used and the ampere-turns required are 5000, use

$$\frac{5000}{5} = 1000 \text{ amperes } (\pm 10\%)$$

T-754 Circular Magnetization Technique

T-754.1 Direct Contact Technique

(a) *Magnetizing Procedure.* For this technique, magnetization is accomplished by passing current through the part to be examined. This produces a circular magnetic field that is approximately perpendicular to the direction of current flow in the part.

(b) *Magnetizing Current.* Direct or rectified (half-wave rectified or full-wave rectified) magnetizing current shall be used.

(1) The current shall be 300 amp/in. (12 A/mm) to 800 amp/in. (31 A/mm) of outer diameter.

(2) Parts with geometric shapes other than round with the greatest cross-sectional diagonal in a plane at right angles to the current flow shall determine the inches to be used in (b)(1) above.

(3) If the current levels required for (b)(1) cannot be obtained, the maximum current obtainable shall be used and the field adequacy shall be demonstrated in accordance with T-764.

T-754.2 Central Conductor Technique

(a) *Magnetizing Procedure.* For this technique, a central conductor is used to examine the internal surfaces of cylindrically or ring-shaped parts. The central conductor technique may also be used for examining the outside

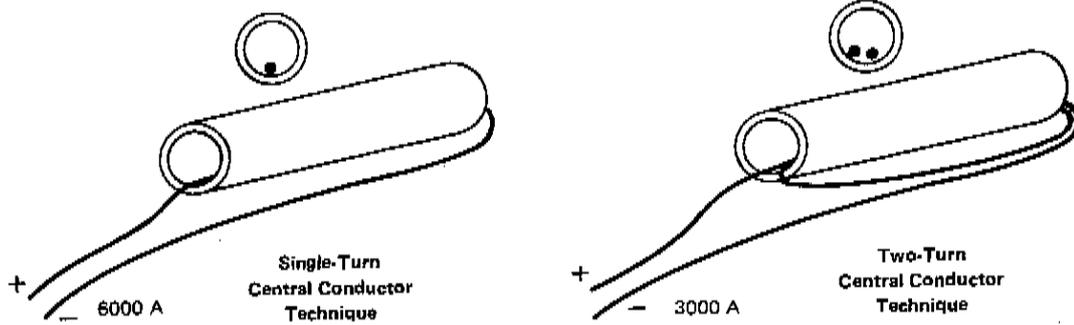


FIG. T-754.2.1 SINGLE-PASS AND TWO-PASS CENTRAL CONDUCTOR TECHNIQUE

surfaces of these shapes. Where large diameter cylinders are to be examined, the conductor shall be positioned close to the internal surface of the cylinder. When the conductor is not centered, the circumference of the cylinder shall be examined in increments. Field strength measurements in accordance with T-764 shall be used, to determine the extent of the arc that may be examined for each conductor position or the rules in (c) below may be followed. Bars or cables, passed through the bore of a cylinder, may be used to induce circular magnetization.

(b) *Magnetizing Current.* The field strength required shall be equal to that determined in T-754.1(b) for a single-turn central conductor. The magnetic field will increase in proportion to the number of times the central conductor cable passes through a hollow part. For example, if 6000 amperes are required to examine a part using a single pass central conductor, then 3000 amperes are required when 2 passes of the through-cable are used, and 1200 amperes are required if 5 passes are used (see Fig. T-754.2.1). When the central conductor technique is used, magnetic field adequacy shall be verified using a magnetic particle field indicator in accordance with T-764.

(c) *Offset Central Conductor.* When the conductor passing through the inside of the part is placed against an inside wall of the part, the current levels, as given in T-754.1(b)(1) shall apply, except that the diameter used for current calculations shall be the sum of the diameter of the central conductor and twice the wall thickness. The distance along the part circumference (exterior) that is effectively magnetized shall be taken as four times the diameter of the central conductor, as illustrated in Fig. T-754.2.2. The entire circumference shall be inspected by rotating the part on the conductor, allowing for approximately a 10% magnetic field overlap.

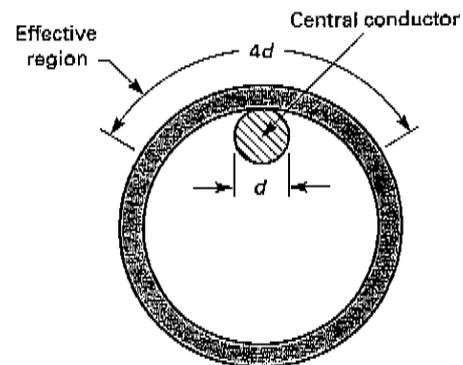


FIG. T-754.2.2 THE EFFECTIVE REGION OF EXAMINATION WHEN USING AN OFFSET CENTRAL CONDUCTOR

T-755 Yoke Technique

T-755.1 Application. This method shall only be applied to detect discontinuities that are open to the surface of the part.

T-755.2 Magnetizing Procedure. For this technique, alternating or direct current electromagnetic yokes, or permanent magnet yokes, shall be used.

NOTE: For greater materials $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) or less in thickness, alternating current yokes are superior to direct or permanent magnet yokes of equal lifting power for the detection of surface discontinuities.

T-756 Multidirectional Magnetization Technique

T-756.1 Magnetizing Procedure. For this technique, magnetization is accomplished by high amperage power packs operating as many as three circuits that are energized one at a time in rapid succession. The effect of these

rapidly alternating magnetizing currents is to produce an overall magnetization of the part in multiple directions. Circular or longitudinal magnetic fields may be generated in any combination using the various techniques described in T-753 and T-754.

T-756.2 Magnetic Field Strength. Only three phase, full-wave rectified current shall be used to magnetize the part. The initial magnetizing current requirements for each circuit shall be established using the previously described guidelines (see T-753 and T-754). The adequacy of the magnetic field shall be demonstrated using artificial flaw shims or a pie-shaped magnetic particle field indicator in accordance with T-764. A Hall-Effect probe gaussmeter shall not be used to measure field adequacy for the multidirectional magnetization technique. An adequate field shall be obtained in at least two nearly perpendicular directions, and the field intensities shall be balanced so that a strong field in one direction does not overwhelm the field in the other direction. For areas where adequate field strengths cannot be demonstrated, additional magnetic particle techniques shall be used to obtain the required two-directional coverage.

T-760 CALIBRATION

T-761 Frequency of Calibration

T-761.1 Magnetizing Equipment

(a) *Frequency.* Magnetizing equipment with an ammeter shall be calibrated at least once a year, or whenever the equipment has been subjected to major electric repair, periodic overhaul, or damage. If equipment has not been in use for a year or more, calibration shall be done prior to first use.

(b) *Procedure.* The accuracy of the unit's meter shall be verified annually by equipment traceable to a national standard. Comparative readings shall be taken for at least three different current output levels encompassing the usable range.

(c) *Tolerance.* The unit's meter reading shall not deviate by more than $\pm 10\%$ of full scale, relative to the actual current value as shown by the test meter.

T-761.2 Light Meters. Light meters, both visible and fluorescent (black) light meters, shall be calibrated at least once a year or whenever the meter has been repaired. If meters have not been in use for one year or more, calibration shall be done before being used.

T-762 Lifting Power of Yokes

(a) Prior to use, the magnetizing power of electromagnetic yokes shall have been checked within the past year. The magnetizing power of permanent magnetic yokes

shall be checked daily prior to use. The magnetizing power of all yokes shall be checked whenever the yoke has been damaged or repaired.

(b) Each alternating current electromagnetic yoke shall have a lifting power of at least 10 lb (4.5 kg) at the maximum pole spacing that will be used.

(c) Each direct current or permanent magnetic yoke shall have a lifting power of at least 40 lb (18 kg) at the maximum pole spacing that will be used.

(d) Each weight shall be weighed with a scale from a reputable manufacturer and stenciled with the applicable nominal weight prior to first use. A weight need only be verified again if damaged in a manner that could have caused potential loss of material.

T-763 Gaussmeters

Hall-Effect probe gaussmeters used to verify magnetizing field strength in accordance with T-754 shall be calibrated at least once a year or whenever the equipment has been subjected to a major repair, periodic overhaul, or damage. If equipment has not been in use for a year or more, calibration shall be done prior to first use.

T-764 Magnetic Field Adequacy and Direction

T-764.1 Magnetic Field Adequacy. The applied magnetic field shall have sufficient strength to produce satisfactory indications, but shall not be so strong that it causes masking of relevant indications by nonrelevant accumulations of magnetic particles. Factors that influence the required field strength include the size, shape, and material permeability of the part; the technique of magnetization; coatings; the method of particle application; and the type and location of discontinuities to be detected. When it is necessary to verify the adequacy of magnetic field strength, it shall be verified by using one or more of the following three methods.

T-764.1.1 Pie-Shaped Magnetic Particle Field Indicator. The indicator, shown in Fig. T-764.1.1, shall be positioned on the surface to be examined, such that the copper-plated side is away from the inspected surface. A suitable field strength is indicated when a clearly defined line (or lines) of magnetic particles form(s) across the copper face of the indicator when the magnetic particles are applied simultaneously with the magnetizing force. When a clearly defined line of particles is not formed, the magnetizing technique shall be changed as needed. Pie-type indicators are best used with dry particle procedures.

T-764.1.2 Artificial Flaw Shims. The shim, shown in Fig. T-764.1.2, shall be attached to the surface to be examined, such that the artificial flaw side of the shim

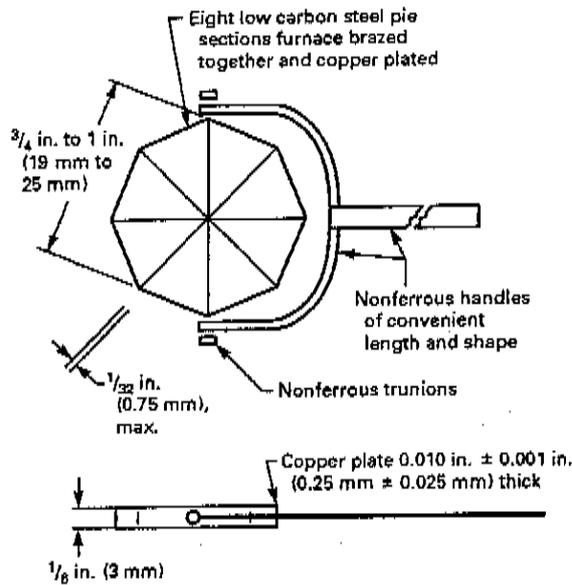


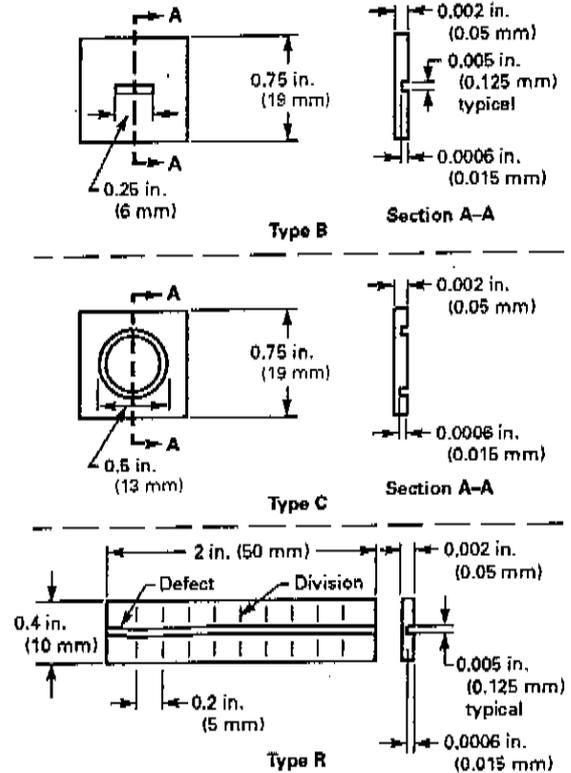
FIG. T-764.1.1 PIE-SHAPED MAGNETIC PARTICLE FIELD INDICATOR

is toward the inspected surface. A suitable field strength is indicated when a clearly defined line (or lines) of magnetic particles, representing the 30% depth flaw, appear(s) on the shim face when magnetic particles are applied simultaneously with the magnetizing force. When a clearly defined line of particles is not formed, the magnetizing technique shall be changed as needed. Shim-type indicators are best used with wet particle procedures.

T-764.1.3 Hall-Effect Tangential-Field Probe. A gaussmeter and Hall-Effect tangential-field probe shall be used for measuring the peak value of a tangential field. The probe shall be positioned on the surface to be examined, such that the maximum field strength is determined. A suitable field strength is indicated when the measured field is within the range of 30 G to 60 G (2.4 kAm^{-1} to 4.8 kAm^{-1}) while the magnetizing force is being applied. See Article 7, Nonmandatory Appendix A.

T-764.2 Magnetic Field Direction. The direction of magnetization shall be determined by particle indications obtained using an indicator or shims as shown in Fig. T-764.1.1 or Fig. T-764.1.2. When a clearly defined line of particles is not formed in the desired direction, the magnetizing technique shall be changed as needed.

T-764.2.1 For multidirectional magnetization techniques, the orientation of the lines of flux shall be in at least two nearly perpendicular directions. When clearly defined lines of particles are not formed in at least two



GENERAL NOTE: Above are examples of artificial flaw shims used in magnetic particle inspection system verification (not drawn to scale). The shims are made of low carbon steel (1005 steel foil). The artificial flaw is etched or machined on one side of the foil to a depth of 30% of the foil thickness.

FIG. T-764.1.2 ARTIFICIAL FLAW SHIMS

nearly perpendicular directions, the magnetizing technique shall be changed as needed.

T-764.3 Determination of the adequacy and direction of magnetizing fields using magnetic field indicators or artificial flaw shims are only permitted when specifically referenced by the magnetizing techniques in T-753.2(d), T-753.2(e), T-754.1(b)(3), T-754.2(a), T-754.2(b), and T-756.2.

T-765 Wet Particle Concentration and Contamination

Wet Horizontal Units shall have the bath concentration and bath contamination determined by measuring its settling volume. This is accomplished through the use of an ASTM Test Method D 96 pear-shaped centrifuge tube with a 1-mL stem (0.05-mL divisions) for fluorescent particle suspensions or a 1.5-mL stem (0.1-mL divisions)

for nonfluorescent suspensions. Before sampling, the suspension should be run through the recirculating system for at least 30 min to ensure thorough mixing of all particles which could have settled on the sump screen and along the sides or bottom of the tank.

T-765.1 Concentration. Take a 100-mL portion of the suspension from the hose or nozzle, demagnetize and allow it to settle for approximately 60 min with petroleum distillate suspensions or 30 min with water-based suspensions before reading. The volume settling out at the bottom of the tube is indicative of the particle concentration in the bath.

T-765.2 Settling Volumes. For fluorescent particles, the required settling volume is from 0.1 to 0.4 mL in a 100-mL bath sample and from 1.2 to 2.4 mL per 100 mL of vehicle for nonfluorescent particles unless otherwise specified by the particle manufacturer. Concentration checks shall be made at least every eight hours.

T-765.3 Contamination. Both fluorescent and non-fluorescent suspensions shall be checked periodically for contaminants such as dirt, scale, oil, lint, loose fluorescent pigment, water (in the case of oil suspensions), and particle agglomerates which can adversely affect the performance of the magnetic particle examination process. The test for contamination shall be performed at least once per week.

(a) *Carrier Contamination.* For fluorescent baths, the liquid directly above the precipitate should be examined with black light. The liquid will have a little fluorescence. Its color can be compared with a freshly made-up sample using the same materials or with an unused sample from the original bath that was retained for this purpose. If the "used" sample is noticeably more fluorescent than the comparison standard, the bath shall be replaced.

(b) *Particle Contamination.* The graduated portion of the tube shall be examined under black light if the bath is fluorescent and under visible light (for both fluorescent and nonfluorescent particles) for striations or bands, differences in color or appearance. Bands or striations may indicate contamination. If the total volume of the contaminants, including bands or striations exceeds 30% of the volume magnetic particles, or if the liquid is noticeably fluorescent, the bath shall be replaced.

T-766 System Performance of Horizontal Units

The Ketos (Betz) ring specimen (see Fig. T-766.1) shall be used in evaluating and comparing the overall performance and sensitivity of both dry and wet, fluorescent and nonfluorescent magnetic particle techniques using a central conductor magnetization technique.

(a) *Ketos (Betz) Test Ring Material.* The tool steel (Ketos) ring should be machined from AISI O1 material in accordance with Fig. T-766.1. Either the machined ring or the steel blank should be annealed at 1650°F (900°C), cooled 50°F (28°C) per hour to 1000°F (540°C) and then air cooled to ambient temperature to give comparable results using similar rings that have had the same treatment. Material and heat treatment are important variables. Experience indicates controlling the softness of the ring by hardness (90 to 95 HRB) alone is insufficient.

(b) *Using the Test Ring.* The test ring (see Fig. T-766.1), is circularly magnetized with full-wave rectified AC passing through a central conductor with a 1 to 1¼ in. (25 to 32 mm) diameter hole located in the ring center. The conductor should have a length greater than 16 in. (400 mm). The currents used shall be 1400, 2500, and 3400 amps. The minimum number of holes shown shall be three, five, and six, respectively. The ring edge should be examined with either black light or visible light, depending on the type of particles involved. This test shall be run at the three amperages if the unit will be used at these or higher amperages. The amperage values stated shall not be exceeded in the test. If the test does not reveal the required number of holes, the equipment shall be taken out of service and the cause of the loss of sensitivity determined and corrected. This test shall be run at least once per week.

T-770 EXAMINATION

T-771 Preliminary Examination

Before the magnetic particle examination is conducted, a check of the examination surface shall be conducted to locate any discontinuity surface openings which may not attract and hold magnetic particles because of their width.

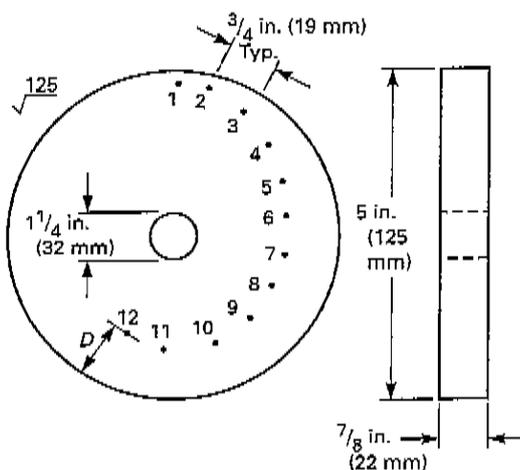
T-772 Direction of Magnetization

At least two separate examinations shall be performed on each area. During the second examination, the lines of magnetic flux shall be approximately perpendicular to those used during the first examination. A different technique for magnetization may be used for the second examination.

T-773 Method of Examination

The ferromagnetic particles used in an examination medium can be either wet or dry, and may be either fluorescent or nonfluorescent. Examination(s) shall be done by the continuous method.

(a) *Dry Particles.* The magnetizing current shall remain on while the examination medium is being applied



Hole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diameter	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
[Note (1)]	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)	(1.8 mm)
"D"	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70	0.77	0.84
[Note (2)]	(1.8 mm)	(3.6 mm)	(5.3 mm)	(7.1 mm)	(9.0 mm)	(10.8 mm)	(12.6 mm)	(14.4 mm)	(16.2 mm)	(18.0 mm)	(19.8 mm)	(21.6 mm)

NOTES:

- (1) All hole diameters are ± 0.005 in. (± 0.1 mm.) Hole numbers 8 through 12 are optional.
 (2) Tolerance on the D distance is ± 0.005 in. (± 0.1 mm).

GENERAL NOTES:

- (a) All dimensions are ± 0.03 in. (± 0.8 mm) or as noted in Notes (1) and (2).
 (b) All dimensions are in inches, except as noted.
 (c) Material is ANSI O1 tool steel from annealed round stock.
 (d) The ring may be heat treated as follows: Heat to 1400°F to 1500°F (760°C to 790°C). Hold at this temperature for one hour. Cool to a minimum rate of 40°F/h (22°C/h) to below 1000°F (540°C). Furnace or air cool to room temperature. Finish the ring to RMS 25 and protect from corrosion.

FIG. T-766.1 KETOS (BETZ) TEST RING

and while any excess of the examination medium is removed.

(b) *Wet Particles.* The magnetizing current shall be turned on after the particles have been applied. Flow of particles shall stop with the application of current. Wet particles applied from aerosol spray cans may be applied before and/or after magnetizing current is applied. Wet particles may be applied during the application of magnetizing current if they are not applied directly to the examination area and are allowed to flow over the examination area or are applied directly to the examination area with low velocities insufficient to remove accumulated particles.

T-774 Examination Coverage

All examinations shall be conducted with sufficient field overlap to ensure 100% coverage at the required sensitivity (T-764).

T-775 Rectified Current

(a) Whenever direct current is required rectified current may be used. The rectified current for magnetization shall be either three-phase (full-wave rectified) current, or single phase (half-wave rectified) current.

(b) The amperage required with three-phase, full-wave rectified current shall be verified by measuring the average current.

(c) The amperage required with single-phase (half-wave rectified) current shall be verified by measuring the average current output during the conducting half cycle only.

(d) When measuring half-wave rectified current with a direct current test meter, readings shall be multiplied by two.

T-776 Excess Particle Removal

Accumulations of excess dry particles in examinations shall be removed with a light air stream from a bulb or syringe or other source of low pressure dry air. The examination current or power shall be maintained while removing the excess particles.

T-777 Interpretation

The interpretation shall identify if an indication is false, nonrelevant, or relevant. False and nonrelevant indications shall be proven as false or nonrelevant. Interpretation shall be carried out to identify the locations of indications and the character of the indication.

T-777.1 Visible (Color Contrast) Magnetic Particles. Surface discontinuities are indicated by accumulations of magnetic particles which should contrast with the examination surface. The color of the magnetic particles shall be sufficiently different than the color of the examination surface. A minimum light intensity of 100 fc (1000 Lx) is required on the surface to be examined to ensure adequate sensitivity during the examination and evaluation of indications. The light source, technique used, and light level verification is required to be demonstrated one time, documented, and maintained on file.

T-777.2 Fluorescent Magnetic Particles. With fluorescent magnetic particles, the process is essentially the same as in T-777.1, with the exception that the examination is performed using an ultraviolet light, called black light. The examination shall be performed as follows:

(a) It shall be performed in a darkened area.

(b) The examiner shall be in the darkened area for at least 5 min prior to performing the examination to enable their eyes to adapt to dark viewing. If the examiner wears glasses or lenses, they shall not be photosensitive.

(c) The black light shall be allowed to warm up for a minimum of 5 min prior to use or measurement of the intensity of the ultraviolet light emitted. Reflectors and filters should be checked and cleaned daily when in use. Cracked or broken filters shall be replaced immediately.

(d) The black light intensity shall be measured with a black light meter. A minimum of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ on the surface to be examined is required. The black light intensity shall be verified at least once every 8 hr, whenever the work station is changed, or whenever the bulb is changed.

T-778 Demagnetization

When residual magnetism in the part could interfere with subsequent processing or usage, the part shall be demagnetized any time after completion of the examination.

T-779 Post-examination Cleaning

When post-examination cleaning is required, it should be conducted as soon as practical using a process that does not adversely affect the part.

04

T-780 EVALUATION

(a) All indications shall be evaluated in terms of the acceptance standards of the referencing Code Section.

(b) Discontinuities on or near the surface are indicated by retention of the examination medium. However, localized surface irregularities due to machining marks or other surface conditions may produce false indications.

(c) Broad areas of particle accumulation, which might mask indications from discontinuities, are prohibited, and such areas shall be cleaned and reexamined.

T-790 DOCUMENTATION

T-791 Multidirectional Magnetization Technique Sketch

A technique sketch shall be prepared for each different geometry examined, showing the part geometry, cable arrangement and connections, magnetizing current for each circuit, and the areas of examination where adequate field strengths are obtained. Parts with repetitive geometries, but different dimensions, may be examined using a single sketch provided that the magnetic field strength is adequate when demonstrated in accordance with T-755.2.

T-792 Recording of Indications

T-792.1 Nonrejectable Indications. Nonrejectable indications shall be recorded as specified by the referencing Code Section.

T-792.2 Rejectable Indications. Rejectable indications shall be recorded. As a minimum, the type of indications (linear or rounded), location and extent (length or diameter or aligned) shall be recorded.

T-793 Examination Records

For each examination, the following information shall be recorded:

- (a) procedure identification and revision;
- (b) magnetic particle equipment and type of current;
- (c) magnetic particles (visible or fluorescent, wet or dry);
- (d) examination personnel identity and if required by referencing Code Section, qualification level;

- (e) map or record of indications per T-792;
- (f) material and thickness;
- (g) lighting equipment; and
- (h) date and time examinations were performed.

T-794 Performance Demonstration

Performance demonstration, when required by the referencing Code Section, shall be documented.

STANDARD TEST METHOD FOR LIQUID PENETRANT EXAMINATION



SE-165



(Identical with ASTM Specification E 165-95)

1. Scope

1.1 This test method covers procedures for penetrant examination of materials. They are nondestructive testing methods for detecting discontinuities that are open to the surface such as cracks, seams, laps, cold shuts, laminations, through leaks, or lack of fusion and are applicable to in-process, final, and maintenance examination. They can be effectively used in the examination of nonporous, metallic materials, both ferrous and nonferrous, and of nonmetallic materials such as glazed or fully densified ceramics, certain nonporous plastics, and glass.

1.2 This test method also provides a reference:

1.2.1 By which a liquid penetrant examination process recommended or required by individual organizations can be reviewed to ascertain its applicability and completeness.

1.2.2 For use in the preparation of process specifications dealing with the liquid penetrant examination of materials and parts. Agreement by the user and the supplier regarding specific techniques is strongly recommended.

1.2.3 For use in the organization of the facilities and personnel concerned with the liquid penetrant examination.

1.3 This test method does not indicate or suggest criteria for evaluation of the indications obtained. It should be pointed out, however, that after indications have been produced, they must be interpreted or classified and then evaluated. For this purpose there must be a separate code or specification or a specific agreement to define the type, size, location, and direction of indications considered acceptable, and those considered unacceptable.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific hazard statements, see Notes 5, 12, and 20.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 129 Test Method for Sulfur in Petroleum Products (General Bomb Method)
- D 516 Test Method for Sulfate Ion in Water
- D 808 Test Method for Chlorine in New and Used Petroleum Products (Bomb Method)
- D 1193 Specification for Reagent Water
- D 1552 Test Method for Sulfur in Petroleum Products (High-Temperature Method)
- D 4327 Test Method for Anions in Water in Chemically Suppressed Ion Chromatography
- E 433 Reference Photographs for Liquid Penetrant Inspection
- E 543 Practice for Evaluating Agencies that Perform Nondestructive Testing
- E 1208 Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Lipophilic Post-Emulsification Process
- E 1209 Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Water-Washable Process

E 1210 Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Hydrophilic Post-Emulsification Process

E 1219 Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Solvent-Removable Process

E 1220 Test Method for Visible Penetrant Examination Using the Solvent-Removable Process

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations

E 1418 Test Method for Visible Penetrant Examination Using the Water-Washable Process

2.2 ASNT Document:

Recommended Practice SNT-TC-1A for Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification

2.3 Military Standard:

MIL-STD-410 Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification

2.4 APHA Standard:

429 Method for the Examination of Water and Wastewater

3. Terminology

3.1 The definitions relating to liquid penetrant examination, which appear in Terminology E 1316, shall apply to the terms used in this standard.

4. Summary of Test Method

4.1 A liquid penetrant which may be a visible or a fluorescent material is applied evenly over the surface being examined and allowed to enter open discontinuities. After a suitable dwell time, the excess surface penetrant is removed. A developer is applied to draw the entrapped penetrant out of the discontinuity and stain the developer. The test surface is then examined to determine the presence or absence of indications.

NOTE 1: — The developer may be omitted by agreement between purchaser and supplier.

NOTE 2: **Caution** — Fluorescent penetrant examination shall not follow a visible penetrant examination unless the procedure has been qualified in accordance with 10.2, because visible dyes may cause deterioration or quenching of fluorescent dyes.

4.2 Processing parameters, such as surface precleaning, penetration time and excess penetrant removal methods, are determined by the specific materials used, the nature of the part under examination (that is, size, shape, surface condition, alloy), and type of discontinuities expected.

TABLE 1
CLASSIFICATION OF PENETRANT EXAMINATION
TYPES AND METHODS

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

5. Significance and Use

5.1 Liquid penetrant examination methods indicate the presence, location and, to a limited extent, the nature and magnitude of the detected discontinuities. Each of the various methods has been designed for specific uses such as critical service items, volume of parts, portability or localized areas of examination. The method selected will depend accordingly on the service requirements.

6. Classification of Penetrations and Methods

6.1 Liquid penetrant examination methods and types are classified as shown in Table 1.

6.2 *Fluorescent penetrant examination* utilizes penetrants that fluoresce brilliantly when excited by black light (see 8.9.1.2). The sensitivity of fluorescent penetrants depends on their ability to be retained in the various size discontinuities during processing, then to bleed out into the developer coating and produce indications that will fluoresce. Fluorescent indications are many times brighter than their surroundings when viewed under black light illumination.

6.3 *Visible penetrant examination* uses a penetrant that can be seen in visible light. The penetrant is usually red, so that the indications produce a definite contrast with the white background of the developer. The visible penetrant process does not require the use of black light. However, visible penetrant indications must be viewed under adequate white light (see 8.9.2.1).

7. Types of Materials

7.1 *Liquid penetrant examination materials* (see Notes 3, 4, and 5) consist of fluorescent and visible penetrants, emulsifiers (oil-base and water-base; fast and slow acting), solvent removers and developers. A family of liquid penetrant examination materials consists of the applicable

penetrant and emulsifier or remover, as recommended by the manufacturer. Intermixing of materials from various manufacturers is not recommended.

NOTE 3: — Refer to 9.1 for special requirements for sulfur, halogen and alkali metal content.

NOTE 4: **Caution** — While approved penetrant materials will not adversely affect common metallic materials, some plastics or rubbers may be swollen or stained by certain penetrants.

NOTE 5: **Warning** — These materials may be flammable or emit hazardous and toxic vapors. Observe all manufacturer's instructions and precautionary statements.

7.2 Penetrants:

7.2.1 Post-Emulsifiable Penetrants are designed to be insoluble in water and cannot be removed with water rinsing alone. They are designed to be selectively removed from the surface using a separate emulsifier. The emulsifier, properly applied and given a proper emulsification time, combines with the excess surface penetrant to form a water-washable mixture, which can be rinsed from the surface, leaving the surface free of fluorescent background. Proper emulsification time must be experimentally established and maintained to ensure that over-emulsification does not occur, resulting in loss of indications.

7.2.2 Water-Washable Penetrants are designed to be directly water-washable from the surface of the test part, after a suitable penetrant dwell time. Because the emulsifier is "built-in" to the water-washable penetrant, it is extremely important to exercise proper process control in removal of excess surface penetrant to ensure against overwashing. Water-washable penetrants can be washed out of discontinuities if the rinsing step is too long or too vigorous. Some penetrants are less resistant to overwashing than others.

7.2.3 Solvent-Removable Penetrants are designed so that excess surface penetrant can be removed by wiping until most of the penetrant has been removed. The remaining traces should be removed with the solvent remover (see 8.6.4.1). To minimize removal of penetrant from discontinuities, care should be taken to avoid the use of excess solvent. Flushing the surface with solvent to remove the excess penetrant is prohibited.

7.3 Emulsifiers:

7.3.1 Lipophilic Emulsifiers are oil-miscible liquids used to emulsify the excess oily penetrant on the surface of the part, rendering it water-washable. The rate of diffusion establishes the emulsification time. They are either slow- or fast-acting, depending on their viscosity and chemical composition, and also the surface roughness of the area being examined (see 8.6.2).

7.3.2 Hydrophilic Emulsifiers are water-miscible liquids used to emulsify the excess oily fluorescent penetrant on the surface of the part, rendering it water-washable (see 8.6.3). These water-base emulsifiers (detergent-type removers) are supplied as concentrates to be diluted with water and used as a dip or spray. The concentration, use and maintenance shall be in accordance with manufacturer's recommendations.

7.3.2.1 Hydrophilic emulsifiers function by displacing the excess penetrant film from the surface of the part through detergent action. The force of the water spray or air/mechanical agitation in an open dip tank provides the scrubbing action while the detergent displaces the film of penetrant from the part surface. The emulsification time will vary, depending on its concentration, which can be monitored by the use of a suitable refractometer.

7.4 Solvent Removers function by dissolving the penetrant, making it possible to wipe the surface clean and free of excess penetrant as described in 8.6.4.

7.5 Developers — Development of penetrant indications is the process of bringing the penetrant out of open discontinuities through blotting action of the applied developer, thus increasing the visibility of the indications.

7.5.1 Dry Powder Developers are used as supplied (that is, free-flowing, non-caking powder) in accordance with 8.8.2. Care should be taken not to contaminate the developer with fluorescent penetrant, as the penetrant specks can appear as indications.

7.5.2 Aqueous Developers are normally supplied as dry powder particles to be either suspended or dissolved (soluble) in water. The concentration, use and maintenance shall be in accordance with manufacturer's recommendations (see 8.8.3).

NOTE 6: **Caution** — Aqueous developers may cause stripping of indications if not properly applied and controlled. The procedure should be qualified in accordance with 10.2.

7.5.3 Nonaqueous Wet Developers are supplied as suspensions of developer particles in a nonaqueous solvent carrier ready for use as supplied. Nonaqueous, wet developers form a coating on the surface of the part when dried, which serves as the developing medium (see 8.8.4).

NOTE 7: **Caution** — This type of developer is intended for application by spray only.

7.5.4 Liquid Film Developers are solutions or colloidal suspensions of resins/polymer in a suitable carrier. These developers will form a transparent or translucent coating on the surface of the part. Certain types of film developer may be stripped from the part and retained for record purposes (see 8.8.5).

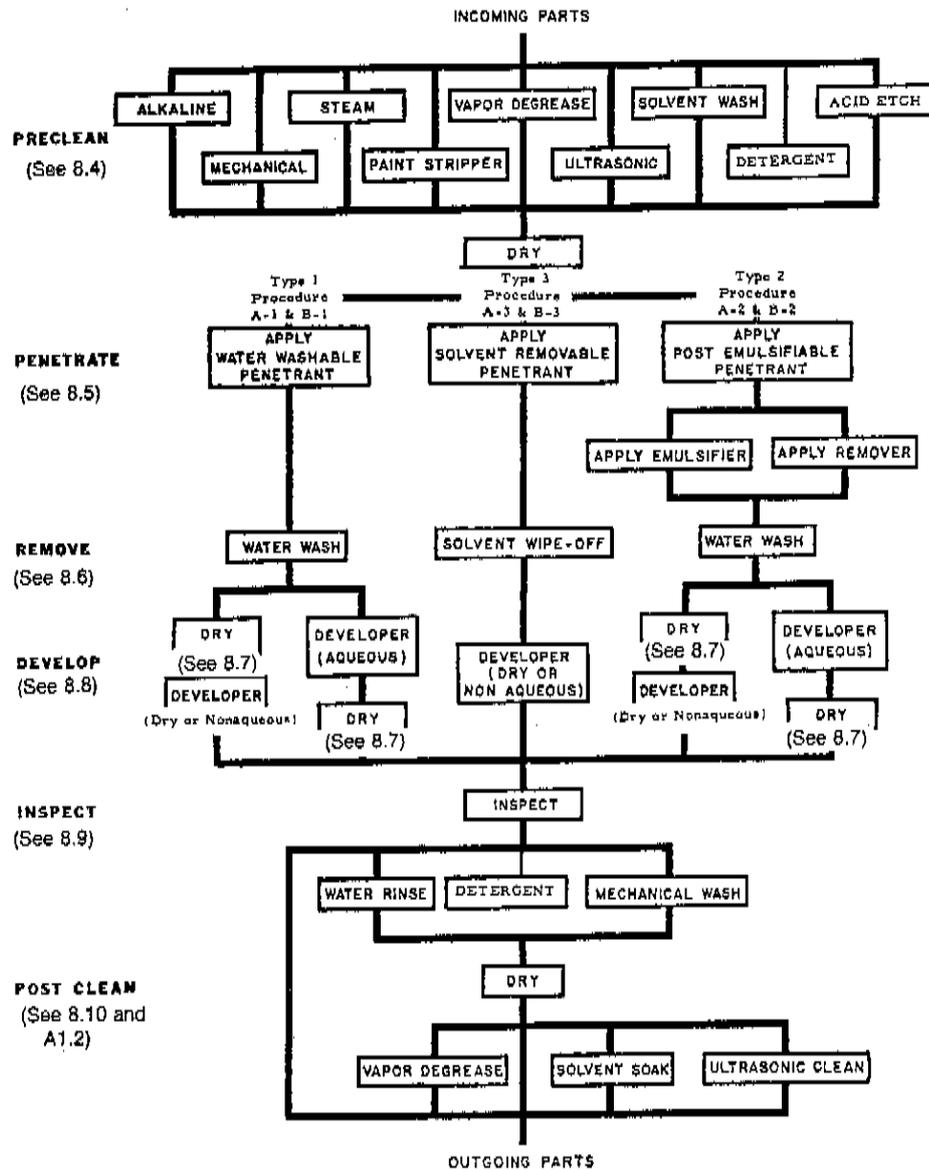


FIG. 1 FLUORESCENT AND VISIBLE PENETRANT INSPECTION GENERAL PROCESSING PROCEDURES FLOWSHEET

8. Procedure

8.1 The following general processing guidelines apply (see Figs. 2, 3, and 4) to both fluorescent and visible penetrant examination methods (see Fig. 1).

8.2 *Temperature Limits* — The temperature of the penetrant materials and the surface of the part to be processed should be between 50 and 100°F (10 and 38°C). Where

it is not practical to comply with these temperature limitations, qualify the procedure as described in 10.2 at the temperature of intended use and as agreed to by the contracting parties.

8.3 *Surface Conditioning Prior to Penetrant Examination* — Satisfactory results usually may be obtained on surfaces in the as-welded, as-rolled, as-cast, or as-forged

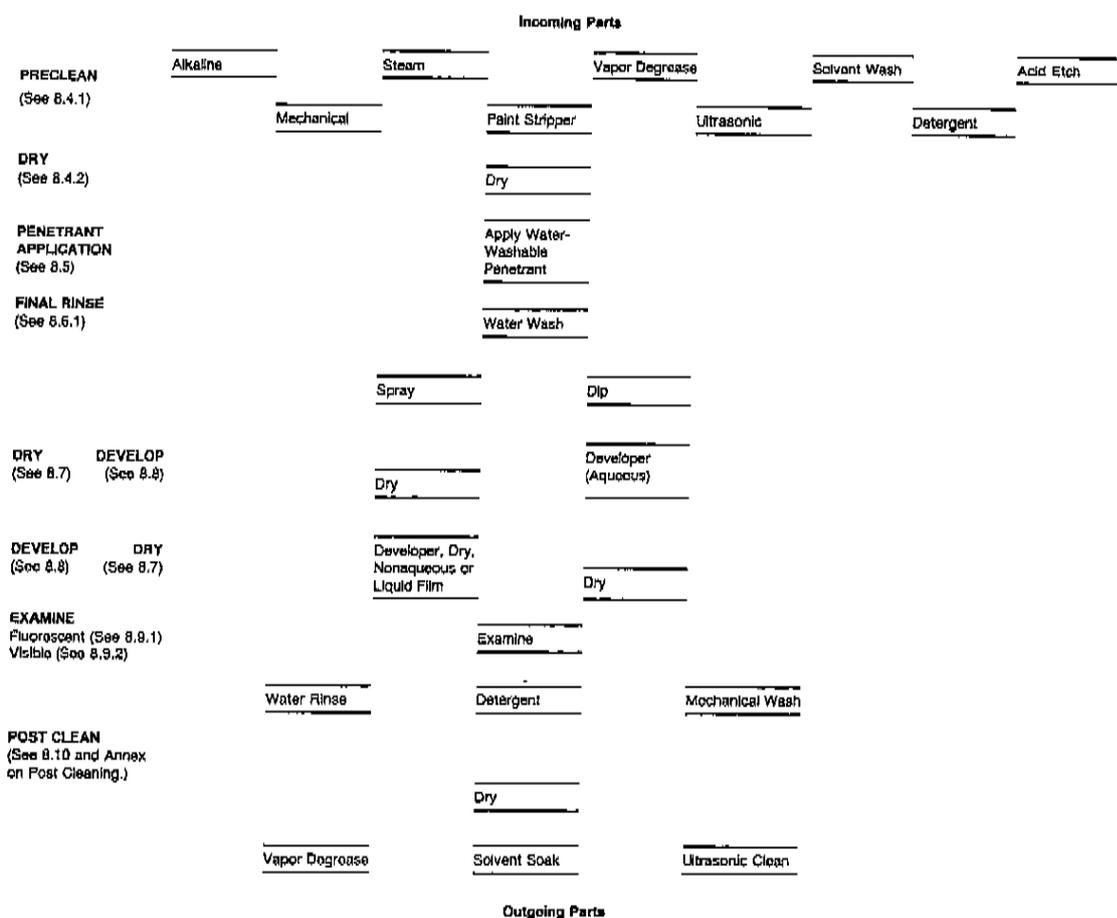


FIG. 2 GENERAL PROCEDURE FLOWSHEET FOR PENETRANT EXAMINATION USING THE WATER-WASHABLE PROCESS (TEST METHOD E 1209 FOR FLUORESCENT AND TEST METHOD E 1220 FOR VISIBLE LIGHT)

conditions (or for ceramics in the densified conditions). Sensitive penetrants are generally less easily rinsed away and are therefore less suitable for rough surfaces. When only loose surface residuals are present, these may be removed by wiping with clean lint-free cloths. However, precleaning of metals to remove processing residuals such as oil, graphite, scale, insulating materials, coatings, and so forth, should be done using cleaning solvents, vapor degreasing or chemical removing processes. Surface conditioning by grinding, machining, polishing or etching shall follow shot, sand, grit or vapor blasting to remove the peened skin and when penetrant entrapment in surface irregularities might mask the indications of unacceptable

discontinuities or otherwise interfere with the effectiveness of the examination. For metals, unless otherwise specified, etching shall be performed when evidence exists that previous cleaning, surface treatments or service usage have produced a surface condition that degrades the effectiveness of penetrant examination. (See Annex A1.1.1.8 for precautions.)

NOTE 8 — When agreed between purchaser and supplier, grit blasting without subsequent etching may be an acceptable cleaning method.

NOTE 9: Caution — Sand or shot blasting may possibly close discontinuities and extreme care should be used with grinding and machining operations to avoid masking discontinuities.

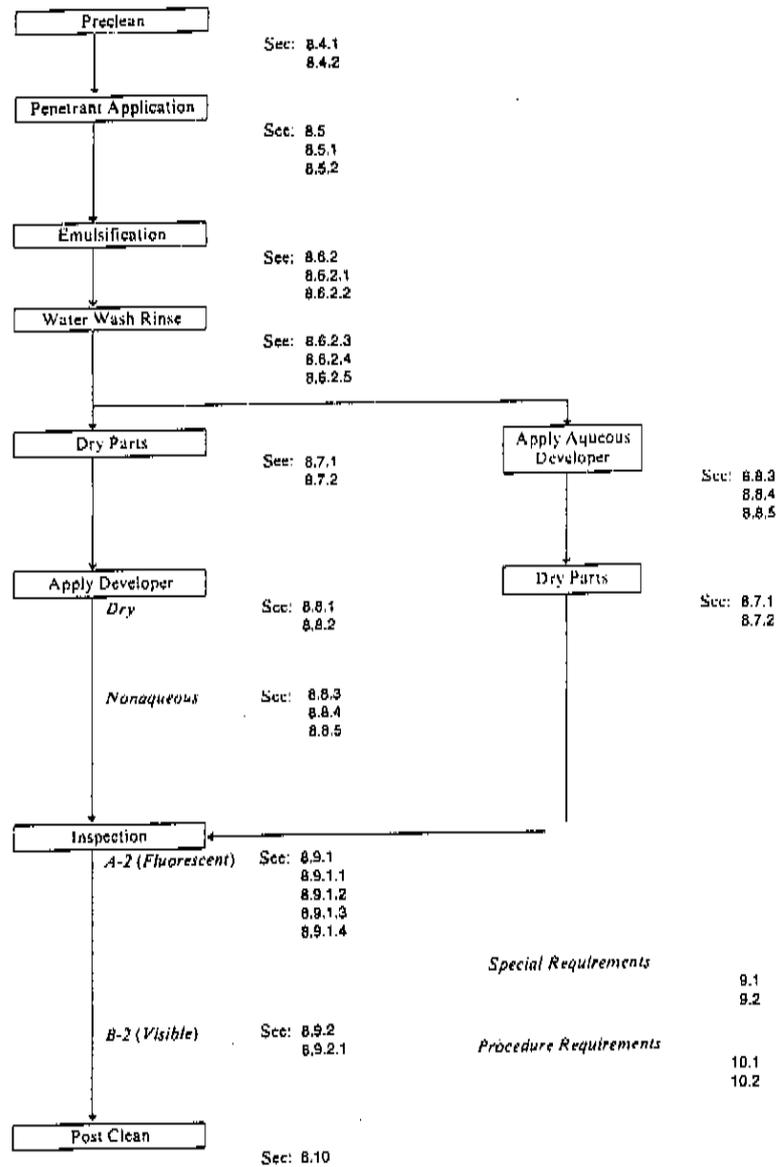


FIG. 3 TYPE 2 — POST EMULSIFIABLE PROCEDURES A-2 (FLUORESCENT) AND B-2 (VISIBLE)

NOTE 10 — For structural or electronic ceramics, surface preparation by grinding, sand blasting and etching for penetrant examination is not recommended because of the potential for damage.

8.4 Removal of Surface Contaminants:

8.4.1 Pre-cleaning — The success of any penetrant examination procedure is greatly dependent upon the surrounding surface and discontinuity being free of any contaminant (solid or liquid) that might interfere with the

penetrant process. All parts or areas of parts to be examined must be clean and dry before the penetrant is applied. If only a section of a part, such as a weld, including the heat affected zone is to be examined, all contaminants shall be removed from the area being examined as defined by the contracting parties. "Clean" is intended to mean that the surface must be free of rust, scale, welding flux, weld spatter, grease, paint, oily films, dirt, and so forth,

TABLE 2
RECOMMENDED MINIMUM DWELL TIMES

Material	Form	Type of Discontinuity	Dwell Times ^A (minutes)	
			Penetrant ^B	Developer ^C
Aluminum, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high-temperature alloys	castings and welds	cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks (all forms)	5	10
	wrought materials — extrusions, forgings, plate	laps, cracks (all forms)	10	10
Carbide-tipped tools		lack of fusion, porosity, cracks	5	10
Plastic	all forms	cracks	5	10
Glass	all forms	cracks	5	10
Ceramic	all forms	cracks, porosity	5	10

^A For temperature range from 50 to 100°F (10 to 38°C) for fluorescent penetrants and 50 to 125°F (10 to 52°C) for visible penetrant.

^B Maximum penetrant dwell time in accordance with 8.5.2.

^C Development time begins as soon as wet developer coating has dried on surface of parts (recommended minimum). Maximum development time in accordance with 8.8.6.

tank of penetrant. On larger parts, and those with complex geometries, penetrant can be applied effectively by brushing or spraying. Both conventional and electrostatic spray guns are effective means of applying liquid penetrants to the part surfaces. Electrostatic spray application can eliminate excess liquid build-up of penetrant on the part, minimize overspray, and minimize the amount of penetrant entering hollow-cored passages which might serve as penetrant reservoirs, causing severe bleedout problems during examination. Aerosol sprays are conveniently portable and suitable for local application.

NOTE 12: **Caution** — Not all penetrant materials are suitable for electrostatic spray applications, so tests should be conducted prior to use.

NOTE 13: **Warning** — With spray applications, it is important that there be proper ventilation. This is generally accomplished through the use of a properly designed spray booth and exhaust system.

8.5.2 Penetrant Dwell Time — After application, allow excess penetrant to drain from the part (care should be taken to prevent pools of penetrant from forming on the part), while allowing for proper penetrant dwell time (see Table 2). The length of time the penetrant must remain on the part to allow proper penetration should be as recommended by the penetrant manufacturer. Table 2, however, provides a guide for selection of penetrant dwell times for a variety of materials, forms, and types of discontinuity. Unless otherwise specified, the dwell time shall not exceed the maximum recommended by the manufacturer.

NOTE 14 — For some specific applications in structural ceramics (for example, detecting parting lines in slip-cast material), the required penetrant dwell time should be determined experimentally and may be longer than that shown in Table 1 and its notes.

8.6 Penetrant Removal

8.6.1 Water Washable:

8.6.1.1 Removal of Excess Penetrants — After the required penetration time, the excess penetrant on the surface being examined must be removed with water, usually a washing operation. It can be washed off manually, by the use of automatic or semi-automatic water-spray equipment or by immersion. For immersion rinsing, parts are completely immersed in the water bath with air or mechanical agitation. Accumulation of water in pockets or recesses of the surface must be avoided. If the final rinse step is not effective, as evidenced by excessive residual surface penetrant after rinsing, dry (see 8.7) and reclean the part, then reapply the penetrant for the prescribed dwell time.

(a) The temperature of the water should be relatively constant and should be maintained within the range of 50 to 100°F (10 to 38°C).

(b) Spray-rinse water pressure should not be greater than 40 psi (280 kPa).

(c) Rinse time should not exceed 120 s unless otherwise specified by part of material specification.

NOTE 15: **Caution** — Avoid overwashing. Excessive washing can cause penetrant to be washed out of discontinuities. With fluorescent penetrant methods perform the rinsing operation under black light so that it can be determined when the surface penetrant has been adequately removed.

8.6.1.2 Removal by Wiping — In special applications, penetrant removal may be performed by wiping the surface with a clean, absorbent material dampened with water until the excess surface penetrant is removed, as determined by examination under black light for fluorescent methods and white light for visible methods.

8.6.2 Lipophilic Emulsification:

8.6.2.1 Application of Emulsifier — After the required penetration time, the excess penetrant on the part must be emulsified by immersing or flooding the parts with the required emulsifier (the emulsifier combines with the excess surface penetrant and makes the mixture removable with water rinsing). After application of the emulsifier, the parts are drained in a manner that prevents the emulsifier from pooling on the part(s).

8.6.2.2 Emulsification Dwell Time begins as soon as the emulsifier has been applied. The length of time that the emulsifier is allowed to remain on a part and in contact with the penetrant is dependent on the type of emulsifier employed and the surface condition (smooth or rough). Nominal emulsification time should be as recommended by the manufacturer. The actual emulsification time must be determined experimentally for each specific application. The surface finish (roughness) of the part is a significant factor in the selection of and in the emulsification time of an emulsifier. Contact time should be kept to the least possible time consistent with an acceptable background and should not exceed the maximum time specified for the part or material.

8.6.2.3 Post Rinsing — Effective post rinsing of the emulsified penetrant from the surface can be accomplished using either manual, semi-automated, or automated water immersion or spray equipment or combinations thereof.

8.6.2.4 Immersion — For immersion post rinsing, parts are completely immersed in the water bath with air or mechanical agitation. The time and temperature should be kept constant.

(a) The maximum dip-rinse time should not exceed 120 s unless otherwise specified by part or material specification.

(b) The temperature of the water should be relatively constant and should be maintained within the range of 50 to 100°F (10 to 38°C). **Caution:** A touch-up rinse may be necessary after immersion.

8.6.2.5 Spray Post Rinsing — Effective post rinsing following emulsification can also be accomplished by either manual or automatic water spray rinsing of the parts as follows:

(a) Control rinse water temperature within the range of 50 to 100°F (10 to 38°C).

(b) Spray rinse water pressure should be in accordance with manufacturers' recommendations.

(c) The maximum spray rinse time should not exceed 120 s unless otherwise specified by part or materials specification.

8.6.2.6 Rinse Effectiveness — If the emulsification and final rinse step is not effective, as evidenced by excessive residual surface penetrant after emulsification and rinsing, dry (see 8.7) and reclean the part and reapply the penetrant for the prescribed dwell time.

8.6.3 Hydrophilic Emulsification:

8.6.3.1 Prerinsing — Directly after the required penetration time, it is recommended that the parts be prerinsed with water prior to emulsification (8.6.3.3). This step allows for the removal of excess surface penetrant from the parts prior to emulsification so as to minimize the degree of penetrant contamination in the hydrophilic emulsifier bath, thereby extending its life. In addition, prerinsing of penetrated parts minimizes possible oily penetrant pollution in the final rinse step of this process. This is accomplished by collecting the prerinsings in a holding tank, separating the penetrant from water.

8.6.3.2 Prerinsing Controls — Effective prerinsing is accomplished by either manual or automated water spray rinsing of the parts as follows:

(a) Water should be free of contaminants that could clog spray nozzles or leave a residue on parts.

(b) Control water temperature within the range of 50 to 100°F (10 to 38°C).

(c) Spray rinse at a water pressure of 25 to 40 psi (175 to 275 kPa).

(d) Prerinse time should be the least possible time (nominally 60 s maximum) to provide a consistent residue of penetrant on parts. Wash time is to be as specified by the part or material specification.

(e) Remove water trapped in cavities using filtered shop air at a nominal pressure 25 psi (175 kPa) or a suction device to remove water from pooled areas.

8.6.3.3 Application of Emulsifier — After the required penetration time and following the prerinse, the residual surface penetrant on part(s) must be emulsified by immersing the part(s) in a hydrophilic emulsifier bath (8.6.3.4) or by spraying the part(s) with the emulsifier (8.6.3.5) thereby rendering the remaining residual surface penetrant water-washable in the final rinse station (8.6.3.6).

8.6.3.4 Immersion — For immersion application, parts are completely immersed in the emulsifier bath. The hydrophilic emulsifier should be gently agitated throughout the contact cycle.

(a) Bath concentration should be as recommended by the manufacturer. Most hydrophilic emulsifiers are used within the range of 20 to 33% in water. Nominal use concentration for immersion applications is 20%.

(b) Bath temperatures should be maintained between 50 and 100°F (10 to 38°C).

(c) Immersion contact time should be kept to the minimum time consistent with an acceptable background and should not exceed 120 s or the maximum time stipulated by the part or material specification.

(d) Emulsifier drain time begins immediately after parts have been withdrawn from the emulsifier tank and continues until the parts are washed in the final rinse station (8.6.3.6). This drain time should be kept to a minimum to avoid over emulsification and should not exceed 90 s.

8.6.3.5 Spray Application — For spray application following the prerinse step, parts are emulsified by the spray application of an emulsifier. All part surfaces should be evenly and uniformly sprayed to effectively emulsify the residual penetrant on part surfaces to render it water-washable.

(a) The concentration of the emulsifier for spray application should be in accordance with the manufacturer's recommendations, but should not exceed 5%.

(b) Temperature to be maintained at 50 to 100°F (10 to 38°C).

(c) The spray pressure should be 25 psi (175 kPa) max for air and 40 psi (280 kPa) max for water.

(d) Contact time should be kept to the minimum consistent with an acceptable background and should not exceed 120 s or the maximum time stipulated by the part or material specification.

8.6.3.6 Post-Rinsing of Hydrophilic Emulsified Parts — Effective post-rinsing of emulsified penetrant from the surface can be accomplished using either manual, semi-automated, or automated water immersion or spray equipment or combinations thereof.

8.6.3.7 Immersion Post-Rinsing — Parts are to be completely immersed in the water bath with air or mechanical agitation.

(a) The temperature of the water should be relatively constant and should be maintained within the range of 50 to 100°F (10 to 38°C).

(b) The maximum dip rinse time should not exceed 120 s unless otherwise specified by part or material specification. **Caution:** A touch-up rinse may be necessary after immersion.

8.6.3.8 Spray Post-Rinsing — Following emulsification parts can be post-rinsed by water spray rinsing as follows:

(a) Control rinse water temperature within the range of 50 to 100°F (10 to 38°C).

(b) Spray rinse water pressure should be in accordance with manufacturer's instructions.

(c) The maximum spray rinse time should not exceed 120 s unless otherwise specified by part or materials specification.

8.6.3.9 If the emulsification and final rinse steps are not effective, as evidenced by excessive residual surface penetrant after emulsification and rinsing, dry (see 8.7) and reclean the part and reapply the penetrant for the prescribed dwell time.

8.6.4 Solvent-Removable Penetrants:

8.6.4.1 Removal of Excess Penetrant — After the required penetration time, the excess penetrant is removed insofar as possible, by using wipers of a dry, clean, lint-free material and repeating the operation until most traces of penetrant have been removed. Then using a lint-free material lightly moistened with solvent remove the remaining traces are gently wiped to avoid removing penetrant from discontinuities. Avoid the use of excess solvent. If the wiping step is not effective, as evidenced by difficulty in removing the excess penetrant, dry the part (see 8.7), and reapply the penetrant for the prescribed dwell time. Flushing the surface with solvent following the application of the penetrant and prior to developing is prohibited.

8.7 Drying — Drying the surface of the part(s) is necessary prior to applying dry or nonaqueous developers or following the application of the aqueous developer. Drying time will vary with the size, nature, and number of parts under examination.

8.7.1 Drying Modes — Parts can be dried by using a hot-air recirculating oven, a hot or cold air blast, or by exposure to ambient temperature, particularly when the excess surface penetrant was removed with a solvent. Drying is best done in a thermostatically controlled recirculating hot-air dryer. Local heating or cooling is permitted provided the temperature of the part remains in the range of 50 to 100°F (10 to 38°C) for fluorescent methods and in the range of 50 to 125°F (10 to 52°C) for visible methods unless otherwise agreed by the contracting parties.

NOTE 16: Caution — Drying oven temperature should not exceed 160°F (71°C).

8.7.2 Drying Time Limits — Do not allow parts to remain in the drying oven any longer than is necessary to dry the surface. Times over 30 min in the dryer may impair the sensitivity of the examination.

8.8 Developer Application:

8.8.1 Modes of Application — There are various modes of effective application of the various types of developers such as dusting, immersing, flooding or spraying. The size, configuration, surface condition, number of parts to be processed, and so forth, will influence the choice of developer application.

8.8.2 Dry Powder Developer — Dry powder developers should be applied immediately after drying in such

a manner as to ensure complete part coverage. Parts can be immersed in a container of dry developer or in a fluid bed of dry developer. They can also be dusted with the powder developer through a hand powder bulb or a conventional or electrostatic powder gun. It is common and effective to apply dry powder in an enclosed dust chamber, which creates an effective and controlled dust cloud. Other means suited to the size and geometry of the specimen may be used, provided the powder is dusted evenly over the entire surface being examined. Excess powder may be removed by shaking or tapping the part, or by blowing with low-pressure (5 to 10 psi) (34 to 70 kPa) dry, clean, compressed air.

NOTE 17: **Caution** — The air stream intensity should be established experimentally for each application.

8.8.3 Aqueous Developers — Aqueous developers should be applied to the part immediately after the excess penetrant has been removed and prior to drying. Aqueous developers should be prepared and maintained in accordance with the manufacturer's instructions and applied in such a manner as to ensure complete, even, part coverage. Caution should be exercised when using an aqueous developer with water-washable penetrants to avoid possible stripping of indications. Aqueous developers may be applied by spraying (see Note 17), flowing, or immersing the part. It is common to immerse the parts in a prepared developer bath. Immerse parts only long enough to coat all of the part surfaces with the developer (see Note 18). Then remove parts from the developer bath and allow to drain. Drain all excess developer from recesses and trapped sections to eliminate pooling of developer, which can obscure discontinuities. Dry the parts in accordance with 8.7. The dried developer coating appears as a translucent or white coating on the part.

NOTE 18: **Caution** — Atomized spraying is not recommended since a spotty film may result.

NOTE 19: **Caution** — If parts are left in the bath too long, indications may leach out.

8.8.4 Nonaqueous Wet Developers — After the excess penetrant has been removed and the surface has been dried, apply developer by spraying in such a manner as to ensure complete part coverage with a thin, even film of developer. These types of developer carrier evaporate very rapidly at normal room temperature and do not, therefore, require the use of a dryer (see Note 20). Dipping or flooding parts with nonaqueous developers is prohibited, since they may flush or dissolve the penetrant from within the discontinuities because of the solvent action of these types of developers.

NOTE 20: **Warning** — The vapors from the evaporating, volatile solvent developer carrier may be hazardous. Proper ventilation should

be provided in all cases, but especially when the surface to be examined is inside a closed volume, such as a process drum or a small storage tank.

8.8.5 Liquid Film Developers — Apply by spraying as recommended by the manufacturer. Spray parts in such a manner as to ensure complete part coverage of the area being examined with a thin, even film of developer.

8.8.6 Developing Time — The length of time the developer is to remain on the part prior to examination should be not less than 10 min. Developing time begins immediately after the application of dry powder developer and as soon as the wet (aqueous and nonaqueous) developer coating is dry (that is, the solvent carrier has evaporated to dryness). The maximum permitted developing times are 2 h for aqueous developers and 1 h for nonaqueous developers.

8.9 Examination — Perform examination of parts after the applicable development time as specified in 8.8.6 to allow for bleedout of penetrant from discontinuities into the developer coating. It is good practice to observe the bleedout while applying the developer as an aid in interpreting and evaluating indications.

8.9.1 Fluorescent Light Examination:

8.9.1.1 Visible Ambient Light Level — Examine fluorescent penetrant indications under black light in a darkened area. Visible ambient light should not exceed 2 ft candles (20 Lx). The measurement should be made with a suitable photographic-type visible light meter on the surface being examined.

8.9.1.2 Black Light Level Control — Black light intensity, minimum of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, should be measured on the surface being examined, with a suitable black light meter. The black light wavelength shall be in the range of 320 to 380 nm. The intensity should be checked weekly to ensure the required output. Reflectors and filters should be checked daily for cleanliness and integrity. Cracked or broken ultraviolet (UV) filters should be replaced immediately. Defective bulbs, which radiate UV energy, must be replaced before further use. Since a drop in line voltage can cause decreased black light output with consequent inconsistent performance, a constant-voltage transformer should be used when there is evidence of voltage fluctuation.

Caution: Certain high-intensity black light may emit unacceptable amounts of visible light, which will cause fluorescent indications to disappear. Care should be taken to use only bulbs certified by the supplier to be suitable for such examination purposes.

NOTE 21 — The recommended minimum light intensity in 8.9.1.2 is intended for general usage. For critical examinations, higher intensity levels may be required.

8.9.1.3 Black Light Warm-Up — Allow the black light to warm up for a minimum of 10 min prior to its

use or measurement of the intensity of the ultraviolet light emitted.

8.9.1.4 Visual Adaptation — The examiner should be in the darkened area for at least 1 min before examining parts. Longer times may be necessary under some circumstances.

NOTE 22: **Caution** — Photochromic lenses shall not be worn during examination.

8.9.2 Visible Light Examination:

8.9.2.1 Visible Light Level — Visible penetrant indications can be examined in either natural or artificial light. Adequate illumination is required to ensure no loss in the sensitivity of the examination. A minimum light intensity at the examination site of 100 fc (1000 Lx) is recommended.

8.9.3 Housekeeping — Keep the examination area free of interfering debris, including fluorescent objects. Practice good housekeeping at all times.

8.9.4 Evaluation — Unless otherwise agreed, it is normal practice to interpret and evaluate the discontinuity based on the size of the indication (see Referenced Photographs E 433).

8.10 Post Cleaning — Post cleaning is necessary in those cases where residual penetrant or developer could interfere with subsequent processing or with service requirements. It is particularly important where residual penetrant examination materials might combine with other factors in service to produce corrosion. A suitable technique, such as a simple water rinse, waterspray, machine wash, vapor degreasing, solvent soak, or ultrasonic cleaning may be employed (see Annex on Post Cleaning). It is recommended that if developer removal is necessary, it should be carried out as promptly as possible after examination so that it does not "fix" on the part.

NOTE 23: **Caution** — Developers should be removed prior to vapor degreasing. Vapor degreasing can bake the developer on parts.

9. Special Requirements

9.1 Impurities:

9.1.1 When using penetrant materials on austenitic stainless steels, titanium, nickel-base or other high-temperature alloys, the need to restrict impurities such as sulfur, halogens and alkali metals must be considered. These impurities may cause embrittlement or corrosion, particularly at elevated temperatures. Any such evaluation should also include consideration of the form in which the impurities are present. Some penetrant materials contain significant amounts of these impurities in

the form of volatile organic solvents. These normally evaporate quickly and usually do not cause problems. Other materials may contain impurities which are not volatile and may react with the part, particularly in the presence of moisture or elevated temperatures.

9.1.2 Because volatile solvents leave the surface quickly without reaction under normal examination procedures, penetrant materials are normally subjected to an evaporation procedure to remove the solvents before the materials are analyzed for impurities. The residue from this procedure is then analyzed in accordance with Test Method D 129, Test Method D 1552, or Test Method D 129 decomposition followed by Test Method D 516, Method B (Turbidimetric Method) for sulfur. The residue may also be analyzed by Test Method D 808 or Annex A2 on Methods for Measuring Total Chlorine Content in Combustible Liquid Penetrant Materials (for halogens other than fluorine) and Annex A3 on Method for Measuring Total Fluorine Content in Combustible Liquid Penetration Materials (for fluorine). An alternative procedure, Annex A4 on Determination of Anions by Ion Chromatography, provides a single instrumental technique for rapid sequential measurement of common anions such as chloride, fluoride, and sulfate. Alkali metals in the residue are determined by flame photometry or atomic absorption spectrophotometry.

NOTE 24: — Some current standards indicate that impurity levels of sulfur and halogens exceeding 1% of any one suspect element may be considered excessive. However, this high a level may be unacceptable for some applications, so the actual maximum acceptable impurity level must be decided between supplier and user on a case by case basis.

9.2 Evaluated-Temperature Examination — Where penetrant examination is performed on parts that must be maintained at elevated temperature during examination, special materials and processing techniques may be required. Such examination requires qualification in accordance with 10.2. Manufacturer's recommendations should be observed.

10. Qualification and Requalification

10.1 Personal Qualification — When required by user/supplier agreement, all examination personnel shall be qualified/certified in accordance with a written procedure conforming to the applicable edition of recommended Practice SNT-TC-1A or MIL-STD-410.

10.2 Procedure Qualification — Qualification of procedures using times or conditions differing from those specified or for new materials may be performed by any of several methods and should be agreed by the contracting parties. A test piece containing one or more discontinuities of the smallest relevant size is used. The test piece

may contain real or simulated discontinuities, providing it displays the characteristics of the discontinuities encountered in product examination.

10.3 *Nondestructive Testing Agency Qualification* — If a nondestructive testing agency as described in Practice E 543 is used to perform the examination, the agency shall meet the requirements of Practice E 543.

10.4 *Requalification* may be required when a change

or substitution is made in the type of penetrant materials or in the procedure (see 10.2).

11. Keywords

11.1 fluorescent liquid penetrant testing; hydrophilic emulsification; lipophilic emulsification; liquid penetrant testing; nondestructive testing; solvent removable; visible liquid penetrant testing; water-washable methods

STANDARD GUIDE FOR MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION



SE-709



(Identical with ASTM Specification E 709-95)

1. Scope

1.1 This guide describes techniques for both dry and wet magnetic particle examination, a nondestructive method for detecting cracks and other discontinuities at or near the surface in ferromagnetic materials. Magnetic particle examination may be applied to raw material, semifinished material (billets, blooms, castings, and forgings), finished material and welds, regardless of heat treatment or lack thereof. It is useful for preventive maintenance examination.

1.1.1 This guide is intended as a reference to aid in the preparation of specifications/standards, procedures and techniques.

1.2 This guide is also a reference that may be used as follows:

1.2.1 To establish a means by which magnetic particle examination procedures recommended or required by individual organizations can be reviewed to evaluate their applicability and completeness.

1.2.2 To aid in the organization of the facilities and personnel concerned in magnetic particle examination.

1.2.3 To aid in the preparation of procedures dealing with the examination of materials and parts. This guide describes magnetic particle examination techniques that are recommended for a great variety of sizes and shapes of ferromagnetic materials and widely varying examination requirements. Since there are many acceptable differences in both procedure and technique, the explicit requirements should be covered by a written procedure (see Section 21).

1.3 This guide does not indicate, suggest, or specify acceptance standards for parts/pieces examined by these

techniques. It should be pointed out, however, that after indications have been produced, they must be interpreted or classified and then evaluated. For this purpose there should be a separate code, specification, or a specific agreement to define the type, size, location, degree of alignment and spacing, area concentration, and orientation of indications that are unacceptable in a specific part versus those which need not be removed before part acceptance. Conditions where rework or repair are not permitted should be specified.

1.4 This guide describes the use of the following magnetic particle method techniques.

1.4.1 Dry magnetic powder (see 8.3),

1.4.2 Wet magnetic particle (see 8.4),

1.4.3 Magnetic slurry/paint magnetic particle (see 8.4.8), and

1.4.4 Polymer magnetic particle (see 8.4.8).

1.5 *Personnel Qualification* — Personnel performing examination to this guide shall be qualified and certified in accordance with ASNT Qualification and Certification of NDT Personnel, or SNT-TC-1A, or MIL-STD-410 for military purposes, or as specified in the contract or purchase order.

1.6 *Nondestructive Testing Agency* — If a nondestructive testing agency as described in Practice E 543 is used to perform the examination, the testing agency shall meet the requirements of Practice E 543.

1.7 Table of Contents:

	SECTION		
Scope	1	Application of Dry and Wet Magnetic Particles	15
Scope Description	1.1	Dry Magnetic Particles	15.1
A Reference Document	1.2	Wet Particle Application	15.2
Acceptance Standards for Parts Not Covered	1.3	Magnetic Slurry/Paints	15.3
Magnetic Particle Method Techniques	1.4	Magnetic Polymers	15.4
Personnel Qualifications	1.5	Interpretation of Indications	16
Nondestructive Testing Agency	1.6	Valid Indications	16.1
Table of Contents	1.7	Recording of Indications	17
SI Units	1.8	Means of Recording	17.1
Safety Caveat	1.9	Accompanying Information	17.2
Referenced Documents	2	Demagnetization	18
ASTM Standards	2.1	Applicability	18.1
SAE Documents	2.2	Demagnetization Methods	18.2
ASNT Documents	2.3	Extent of Demagnetization	18.3
U.S. Government Documents	2.4	Post Examination Cleaning	19
OSHA Document	2.5	Particle Removal	19.1
Terminology	3	Means of Particle Removal	19.2
Summary of Guide	4	Evaluation of System Performance/Sensitivity	20
Principle	4.1	Contributing Factors	20.1
Method	4.2	Maintenance and Calibration of Equipment	20.2
Magnetization	4.3	Equipment Checks	20.3
Types of Magnetic Particles and Their Use	4.4	Examination Area Light Level Control	20.4
Evaluation of Indications	4.5	Dry Particle Quality Control Tests	20.5
Typical Magnetic Particle Indications	4.6	Wet Particle Quality Control Tests	20.6
Significance and Use	5	Bath Characteristics Control	20.7
Equipment	6	Verifying System Performance	20.8
Types	6.1	Procedures	21
Portability	6.2	Written Procedure	21.1
Yokes	6.3	Written Reports	21.2
Prods	6.4	Acceptance Standards	22
Black Light	6.5	Safety	23
Equipment Verification	6.6	Precision and Bias	24
Examination Area	7	Keywords	25
Light Intensity for Examination	7.1	Annex	
Housekeeping	7.2		
Magnetic Particle Materials	8		
Particle Types	8.1		
Particle Characteristics	8.2		
Dry Particles	8.3		
Wet Particle Systems	8.4		
Part Preparation	9		
General	9.1		
Cleaning Examination Surface	9.2		
Sequence of Operations	10		
Sequencing Particle Application and Establishing Magnetic Flux Field	10.1		
Types of Magnetizing Currents	11		
Basic Current Types	11.1		
Part Magnetization Techniques	12		
Examination Coverage	12.1		
Direct and Indirect Magnetization	12.2		
Choosing a Magnetization Technique	12.3		
Direction of Magnetic Fields	13		
Discontinuity Orientation vs Magnetic Field Direction	13.1		
Circular Magnetization	13.2		
Toroidal Magnetization	13.3		
Longitudinal Magnetization	13.4		
Multidirectional Magnetization	13.5		
Magnetic Field Strength	14		
Magnetizing Field Strengths	14.1		
Establishing Field Strengths	14.2		
Guidelines for Establishing Magnetic Fields	14.3		

1.8 The numerical values shown in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

1.9 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 93 Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester
- D 96 Test Methods for Water and Sediment in Crude Oil by Centrifuge Method (Field Procedure)
- D 129 Test Method for Sulfur in Petroleum Products (General Bomb Method)
- D 445 Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity)

D 808 Test Method for Chlorine in New and Used Petroleum Products (Bomb Method)

E 165 Test Method for Liquid Penetrant Examination

E 543 Practice for Evaluating Agencies that Perform Nondestructive Testing

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations

2.2 *Society of Automotive Engineers (SAE): Aerospace Materials Specifications:*

AMS 2641 Vehicle Magnetic Particle Inspection

2.3 *American Society for Nondestructive Testing:*

SNT-TC-1A Recommended Practice Magnetic Particle Method

ASNT Qualification and Certification of NDT Personnel

2.4 *U.S. Government Publications:*

FED-STD 313 Material Safety Data Sheets Preparation and the Submission of

MIL-STD-410 Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification

MIL-STD-1949 Magnetic Particle Inspection, Method of

2.5 *OSHA Document:*

29CFR 1910.1200 Hazard Communication

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in the practice, refer to Terminology E 1316.

4. Summary of Guide

4.1 *Principle* — The magnetic particle method is based on the principle that magnetic field lines when present in a ferromagnetic material, will be distorted by a change in material continuity, such as a sharp dimensional change or a discontinuity. If the discontinuity is open to or close to the surface of a magnetized material, flux lines will be distorted at the surface, a condition termed as "flux leakage." When fine magnetic particles are distributed over the area of the discontinuity while the flux leakage exists, they will be held in place and the accumulation of particles will be visible under the proper lighting conditions. While there are variations in the magnetic particle method, they all are dependent on this principle, that magnetic particles will be retained at the locations of magnetic flux leakage.

4.2 *Method* — While this practice permits and describes many variables in equipment, materials, and procedures, there are three steps essential to the method:

4.2.1 The part must be magnetized.

4.2.2 Magnetic particles of the type designated in the contract/purchase order/specification must be applied while the part is magnetized.

4.2.3 Any accumulation of magnetic particles must be observed, interpreted, and evaluated.

4.3 Magnetization:

4.3.1 *Ways to Magnetize* — A ferromagnetic material can be magnetized either by passing an electric current through the material or by placing the material within a magnetic field originated by an external source. The entire mass or a portion of the mass can be magnetized as dictated by size and equipment capacity or need. As previously noted, the discontinuity must interrupt the normal path of the magnetic field lines. If a discontinuity is open to the surface, the flux leakage will be at the maximum for that particular discontinuity. When that same discontinuity is below the surface, flux leakage evident on the surface will be less. Practically, discontinuities must be open to the surface, to create sufficient flux leakage to accumulate magnetic particles.

4.3.2 *Field Direction* — If a discontinuity is oriented parallel to the magnetic field lines, it may be essentially undetectable. Therefore, since discontinuities may occur in any orientation, it may be necessary to magnetize the part or area of interest twice or more sequentially in different directions by the same method or a combination of methods (see Section 13) to induce magnetic field lines in a suitable direction in order to perform an adequate examination.

4.3.3 *Field Strength* — The magnetic field must be of sufficient strength to indicate those discontinuities which are unacceptable, yet must not be so strong that an excess of particles is accumulated locally thereby masking relevant indications (see Section 14).

4.4 *Types of Magnetic Particles and Their Use* — There are various types of magnetic particles available for use in magnetic particle examination. They are available as dry powders (fluorescent and nonfluorescent) ready for use as supplied (see 8.3), powder concentrates (fluorescent and nonfluorescent) for dispersion in water or suspending light petroleum distillates (see 8.4), magnetic slurries/paints (see 8.4.7), and magnetic polymer dispersions (see 8.4.8).

4.5 *Evaluation of Indications* — When the material to be examined has been properly magnetized, the magnetic particles have been properly applied, and the excess particles properly removed, there will be accumulations of magnetic particles at the points of flux leakage. These accumulations show the distortion of the magnetic field

and are called indications. Without disturbing the particles, the indications must be examined, classified, interpreted as to cause, compared with the acceptance standards, and a decision made concerning the disposition of the material that contains the indication.

4.6 Typical Magnetic Particle Indications:

4.6.1 Surface Discontinuities — Surface discontinuities, with few exceptions, produce sharp, distinct patterns (see Annex A).

4.6.2 Near-Surface Discontinuities — Near-surface discontinuities produce less distinct indications than those open to the surface. The patterns are broad, rather than sharp, and the particles are less tightly held (see Annex A).

5. Significance and Use

5.1 The magnetic particle method of nondestructive examination indicates the presence of surface and near-surface discontinuities in materials that can be magnetized (ferromagnetic). This method can be used for production examination of parts/components or structures and for field applications where portability of equipment and accessibility to the area to be examined are factors. The ability of the method to find small discontinuities can be enhanced by using fluorescent particles suspended in a suitable vehicle and by introducing a magnetic field of the proper strength whose orientation is as close as possible to 90° to the direction of the suspected discontinuity (see 4.3.2). Making the surface smoother improves mobility of the magnetic particles under the influence of the magnetic field to collect on the surface where magnetic flux leakage occurs.

6. Equipment

6.1 Types — There are a number of types of equipment available for magnetizing ferromagnetic parts and components. With the exception of a permanent magnet, all equipment requires a power source capable of delivering the required current levels to produce the magnetic field. The current used dictates the sizes of cables and the capability of relays, switching contacts, meters and rectifier if the power source is alternating current.

6.2 Portability — Portability, which includes the ability to hand carry the equipment, can be obtained from yokes. Their size limits their ability to provide the magnetic fields that can be obtained from equipment with larger current flows. General purpose mobile equipment which may be truck mounted is usually designed either for use with prods on the ends of two cables or with only the cables which are attached to the piece being examined, threaded through an opening in it or wrapped around it.

Mobility is limited by the cable and size and the environment. Underwater examination on oil drilling platforms and oil production platforms offshore are examples of a hostile environment.

6.3 Yokes — Yokes are usually C-shaped electromagnets which induce a magnetic field between the poles (legs) and are used for local magnetization (Fig. 1). Many portable yokes have articulated legs (poles) that allow the legs to be adjusted to contact irregular surfaces or two surfaces that join at an angle.

6.3.1 Permanent Magnets — Permanent magnets are available but their use may be restricted for many applications. Permanent magnets can lose their magnetic field generating capacity by being partially demagnetized by a stronger flux field, being damaged, or dropped. In addition, the particle mobility, created by AC and half-wave rectified current pulsations in electromagnetic yokes, is not present. Particles, steel filings, chips, and scale clinging to the poles can create a housekeeping problem.

6.4 Prods — Prods are used for local magnetizations, see Fig. 2. The prod tips that contact the piece should be aluminum, copper braid, or copper pads rather than solid copper. With solid copper tips, accidental arcing during prod placement or removal can cause copper penetration into the surface which may result in metallurgical damage (softening, hardening, cracking, etc.). See 12.3.1.1(a). Open-circuit voltages should not exceed 25 V.

6.4.1 Remote Control Switch — A remote-control switch, which may be built into the prod handles, should be provided to permit the current to be turned on after the prods have been properly placed and to turn it off before the prods are removed in order to minimize arcing (arc burns). [See 12.3.1.1(a).]

6.5 Black Light — The black light must be capable of developing the required wavelengths of 330 to 390 nm with an intensity at the examination surface that satisfies 7.1.2. Wavelengths at or near 365 nm shall predominate. Suitable filters should remove the extraneous visible light emitted by black lights (violet or blue 405 and 435-nm Hg lines and greenish-yellow 577-nm Hg line). Some high-intensity black light bulbs may emit unacceptable amounts of greenish-yellow light which may cause fluorescent indications to become invisible. A drop, greater than 10%, in line voltage greater than $\pm 10\%$ can cause a change in black light output with consequent inconsistent performance. A constant voltage transformer should be used where there is evidence of voltage changes greater than 10%.

6.6 Equipment Verification — See Section 20.

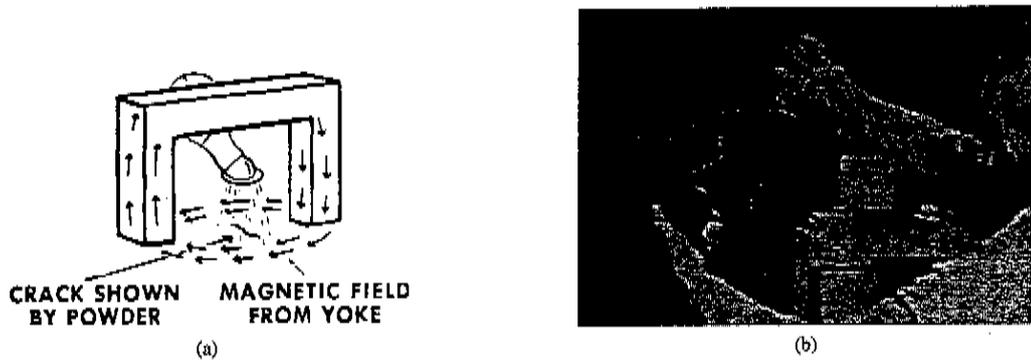
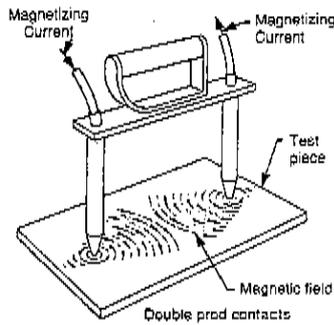
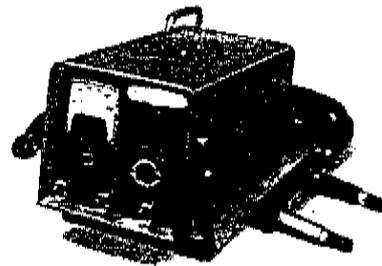
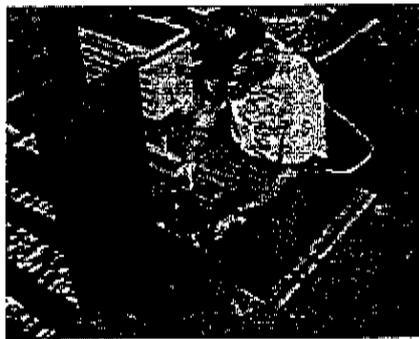
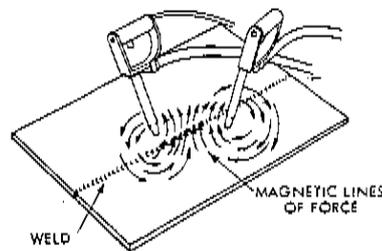


FIG. 1 YOKE METHOD OF PART MAGNETIZATION



(c) Single-Prod Contacts Magnetization



(d) Double-Prod Contacts

FIG. 2 LOCALIZED AREA MAGNETIZATION USING PROD TECHNIQUE

7. Examination Area

7.1 Light Intensity for Examination — Magnetic indications found using nonfluorescent particles are examined under visible light. Indications found using fluorescent particles must be examined under black (ultraviolet) light. This requires a darkened area with accompanying control of the visible light intensity.

7.1.1 Visible Light Intensity — The intensity of the visible light at the surface of the part/work piece undergoing examination should be a minimum of 100 foot candles (1000 lux). The intensity of ambient visible light in the darkened area where fluorescent magnetic particles examination is performed should not exceed 2 foot candles (20 lux).

7.1.1.1 Field Inspections — For some field inspections using nonfluorescent particles, visible light intensities as low as 50 foot candles (500 lux) may be used when agreed on by the contracting agency.

7.1.2 Black (Ultraviolet) Light:

7.1.2.1 Black Light Intensity — The black light intensity at the examination surface shall be not less than 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ when measured with a suitable black light meter.

7.1.2.2 Black Light Warm-up — Allow the black light to warm up for a minimum of 5 min prior to its use or measurement of the intensity of the ultraviolet light emitted.

7.1.3 Dark Area Eye Adaptation — It is recommended that the inspector be in the darkened area for at least 3 min prior to examining parts using black light so that his eyes will adapt to dark viewing. **Caution** — Photochromic or permanently tinted lenses shall not be worn during examination.

7.2 Housekeeping — The examination area should be kept free of interfering debris. If fluorescent materials are involved, the area should also be kept free of fluorescent objects not related to the part/piece being examined.

8. Magnetic Particle Materials

8.1 Particle Types — The particles used in either dry or wet magnetic particle examination techniques are basically finely divided ferromagnetic materials which have been treated to impart color (fluorescent and nonfluorescent) in order to make them highly visible (contrasting) against the background of the surface being examined. The particles are designed for use either as a free flowing dry powder or for suspension at a given concentration in a suitable liquid medium.

8.2 Particle Characteristics — The magnetic particles must have high permeability to allow ease of magnetizing and attraction to the discontinuity and low retentivity so they will not be attracted (magnetic agglomeration) to each other. Control of particle size and shape is required to obtain consistent results. The particles should be non-toxic, free from rust, grease, paint, dirt, and other deleterious materials that might interfere with their use; see 20.5 and 20.6. Both dry and wet particles are considered safe when used in accordance with the manufacturer's instructions. They generally afford a very low hazard potential with regard to flammability and toxicity.

8.3 Dry Particles — Dry magnetic powders are designed to be used as supplied and are applied by spraying or dusting directly onto the surface of the part being examined. They are generally used on an expendable

basis although the particles may be collected and reused. However, to maintain particle size and control possible contamination, this is not a normal practice. Dry powders may also be used under extreme environmental conditions. They are not affected by cold; therefore examination can be carried out at temperatures that would thicken or freeze wet baths. They are also heat resistant; some powders may be usable at temperatures up to 600°F (315°C). Some colored, organic coatings applied to dry particles to improve contrast lose their color at temperatures this high, making the contrast less effective. Fluorescent dry particles cannot be used at this high a temperature; the manufacturer should be contacted for the temperature limitation or tests should be run.

8.3.1 Advantages — The dry magnetic particle technique is generally superior to the wet technique for detection of near-surface discontinuities: (a) for large objects when using portable equipment for local magnetization; (b) superior particle mobility is obtained for relatively deep-seated flaws half-wave rectified current as the magnetizing source; (c) ease of removal.

8.3.2 Disadvantages — The dry magnetic particle technique; (a) cannot be used in confined areas without proper safety breathing apparatus; (b) Probability of Detection (POD) is appreciably less than the wet technique for fine surface discontinuities; (c) difficult to use in overhead magnetizing positions; (d) no evidence exists of complete coverage of part surface as with the wet technique; (e) lower production rates can be expected with the dry technique versus the wet technique; and (f) it is difficult to adapt to any type of automotive system.

8.3.3 Nonfluorescent Colors — Although dry magnetic particle powder can be almost any color, the most frequently employed colors are light gray, black, red, or yellow. The choice is generally based on maximum contrast with the surface to be examined. The examination is done under visible light.

8.3.4 Fluorescent — Fluorescent dry magnetic particles are also available, but are not in general use primarily because of their higher cost and use limitations. They require a black light source and a darkened work area. These requirements are not often available in the field-type location where dry magnetic particle examinations are especially suitable.

8.4 Wet Particle Systems — Wet magnetic particles are designed to be suspended in a vehicle such as water or light petroleum distillate at a given concentration for application to the test surface by flowing, spraying, or pouring. They are available in both fluorescent and non-fluorescent concentrates. In some cases the particles are premixed with the suspending vehicle by the supplier,

but usually the particles are supplied as a dry concentrate or paste concentrate which is mixed with the distillate or water by the user. The suspensions are normally used in wet horizontal magnetic particle equipment in which the suspension is retained in a reservoir and recirculated for continuous use. The suspension may also be used on an expendable basis dispensed from an aerosol.

8.4.1 Primary Use — Because the particles used are smaller, wet method techniques are generally used to locate smaller discontinuities than the dry method is used for. The liquid vehicles used will not perform satisfactorily when their viscosity exceeds 5cSt (5 mm²/s) at the operating temperature. If the suspension vehicle is a hydrocarbon, its flash point limits the top temperature. Mixing equipment is usually required to keep wet method particles uniformly in suspension.

8.4.2 Where Used — The wet fluorescent method usually is performed indoors or in areas where shelter and ambient light level can be controlled and where proper application equipment is available.

8.4.3 Color — Fluorescent wet method particles glow a bright greenish-yellow when viewed under black light. Nonfluorescent particles are usually black or reddish brown, although other colors are available. The color often chosen for any given examination should be one that contrasts most with the test surface. Because contrast is invariably higher with fluorescent materials, these are utilized in most wet process examinations.

8.4.4 Suspension Vehicles — Generally the particles are suspended in a light petroleum (low-viscosity) distillate or conditioned water. (If sulfur or chlorine limits are specified, use Test Methods D 129 and D 808 to determine their values.

8.4.4.1 Petroleum Distillates — Low-viscosity light petroleum distillates vehicles (AMS 2641 Type 1 or equal) are ideal for suspending both fluorescent and nonfluorescent magnetic particles and are commonly employed.

(1) **Advantages** — Two significant advantages for the use of petroleum distillate vehicles are: (a) the magnetic particles are suspended and dispersed in petroleum distillate vehicles without the use of conditioning agents; and (b) the petroleum distillate vehicles provide a measure of corrosion protection to parts and the equipment used.

(2) **Disadvantages** — Principal disadvantages are flammability and availability. It is essential, therefore, to select and maintain readily available sources of supply of petroleum distillate vehicles that have as high a flash point as practicable to avoid possible flammability problems.

(3) **Characteristics** — Petroleum distillate vehicles to be used in wet magnetic particle examination should possess the following: (a) viscosity should not exceed 3.0 cSt (3 mm²/s) at 100°F (38°C) and not more than 5.0 cSt (5 mm²/s) at the lowest temperature at which the vehicle will be used; when tested in accordance with Test Method D 445, in order not to impede particle mobility (see 20.7.1), (b) minimum flash point, when tested in accordance with Test Methods D 93, should be 200°F (93°C) in order to minimize fire hazards (see 20.7.2), (c) odorless; not objectionable to user, (d) low inherent fluorescence if used with fluorescent particles; that is, it should not interfere significantly with the fluorescent particle indications (see 20.6.4.1), and (e) nonreactive; should not degrade suspended particles.

8.4.4.2 Water Vehicles with Conditioning Agents — Water may be used as a suspension vehicle for wet magnetic particles provided suitable conditioning agents are added which provide proper wet dispersing, in addition to corrosion protection for the parts being tested and the equipment in use. Plain water does not disperse some types of magnetic particles, does not wet all surfaces, and is corrosive to parts and equipment. On the other hand, water suspensions of magnetic particles are safer to use since they are nonflammable. The selection and concentration of the conditioning agent should be as recommended by the particle manufacturer. The following are recommended properties for water vehicles containing conditioning agents for use with wet magnetic particle examination:

(1) **Wetting Characteristics** — The vehicle should have good wetting characteristics; that is, wet the surface to be tested, give even, complete coverage without evidence of dewetting the test surface. Smooth test surfaces require that a greater percentage of wetting agent be added than is required for rough surface. Nonionic wetting agents are recommended (see 20.7.3).

(2) **Suspension Characteristics** — Impart good dispersability; that is, thoroughly disperse the magnetic particles, without evidence of particle agglomeration.

(3) **Foaming** — Minimize foaming; that is, it should not produce excessive foam which would interfere with indication formation or cause particles to form scum with the foam.

(4) **Corrosiveness** — It should not corrode parts to be tested or the equipment in which it is used.

(5) **Viscosity Limit** — The viscosity of the conditioned water should not exceed a maximum viscosity of 3 cSt (3 mm²/s) at 100°F (38°C) (see 20.7.1).

(6) **Fluorescence** — The conditioned water should not fluoresce if intended for use with fluorescent particles.

(7) *Nonreactiveness* — The conditioned water should not cause deterioration of the suspended magnetic particles.

(8) *Water pH* — The pH of the conditioned water should not be less than 6.0 or exceed 10.5.

(9) *Odor* — The conditioned water should be essentially odorless.

8.4.5 Concentration of Wet Magnetic Particle Suspension — The initial bath concentration of suspended magnetic particles should be as specified or as recommended by the manufacturer and should be checked by settling volume measurements and maintained at the specified concentration on a daily basis. If the concentration is not maintained properly, test results can vary greatly (see 20.6).

8.4.6 Application of Wet Magnetic Particles (see 15.2).

8.4.7 Magnetic Slurry/Paint Systems — Another type of examination vehicle is the magnetic slurry/ paint type consisting of a heavy oil in which flakelike particles are suspended. The material is normally applied by brush before the part is magnetized. Because of the high viscosity, the material does not rapidly run off surfaces, facilitating the inspection of vertical or overhead surfaces. The vehicles may be combustible, but the fire hazard is very low. Other hazards are very similar to those of the oil and water vehicles previously described.

8.4.8 Polymer-Based Systems — The vehicle used in the magnetic polymer is basically a liquid polymer which disperses the magnetic particles and which cures to an elastic solid in a given period of time, forming fixed indications. Viscosity limits of standard wet technique vehicles do not apply. Care should be exercised in handling these polymer materials. Use in accordance with manufacturer's instructions and precautions. This technique is particularly applicable to examine areas of limited visual accessibility, such as bolt holes.

9. Part Preparation

9.1 General — The surface of the part to be examined should be essentially clean, dry, and free of contaminants such as dirt, oil, grease, loose rust, loose mill sand, loose mill scale, lint, thick paint, welding flux/slag, and weld splatter that might restrict particle movement. See 15.1.2 about applying dry particles to a damp/wet surface. When testing a local area, such as a weld, the areas adjacent to the surface to be examined, as agreed by the contracting parties, must also be cleaned to the extent necessary to permit detection of indications.

9.1.1 Nonconductive Coatings — Thin nonconductive coatings, such as paint in the order of 0.02 to 0.05

mm (1 or 2 mil) will not normally interfere with the formation of indications, but they must be removed at all points where electrical contact is to be made for direct magnetization. Indirect magnetization does not require electrical contact with the part/piece. See Section 12.2. If a nonconducting coating/plating is left on the area to be examined that has a thickness greater than 0.05 mm (2 mil), it must be demonstrated that discontinuities can be detected through the maximum thickness applied.

9.1.2 Conductive Coatings — A conductive coating (such as chrome plating and heavy mill scale on wrought products resulting from hot forming operations) can mask discontinuities. As with nonconductive coatings, it must be demonstrated that the discontinuities can be detected through the coating.

9.1.3 Residual Magnetic Fields — If the part/piece holds a residual magnetic field from a previous magnetization that will interfere with the examination, the part must be demagnetized. See Section 18.

9.2 Cleaning Examination Surface — Cleaning of the test surface may be accomplished by detergents, organic solvents, or mechanical means. As-welded, as-rolled, as-cast, or as-forged surfaces are generally satisfactory, but if the surface is unusually nonuniform, as with burned-in sand or a very rough weld deposit, interpretation may be difficult because of mechanical entrapment of the magnetic particles. In case of doubt, any questionable area should be recleaned and reexamined (see 9.1). An extensive presentation of applicable cleaning methods is described in Annex A1 of Test Method E 165.

9.2.1 Plugging and Masking Small Holes and Openings — Unless prohibited by the purchaser, small openings and oil holes leading to obscure passages or cavities can be plugged or masked with a suitable nonabrasive material which is readily removed. In the case of engine parts, the material must be soluble in oil. Effective masking must be used to protect components that may be damaged by contact with the particles or particle suspension.

10. Sequence of Operations

10.1 Sequencing Particle Application and Establishing Magnetic Flux Field — The sequence of operation in magnetic particle examination applies to the relationship between the timing and application of particles and establishing the magnetizing flux field. Two basic techniques apply, that is, continuous (see 10.1.1 and 10.1.2) and residual (see 10.1.3), both of which are commonly employed in industry.

10.1.1 Continuous Magnetization — Continuous magnetization is employed for most applications utilizing

either dry or wet particles and should be used unless specifically prohibited in the contract, purchase order, or specification. The sequence of operation for the dry and the wet continuous magnetization techniques are significantly different and are discussed separately in 10.1.1.1 and 10.1.1.2.

10.1.1.1 Dry Continuous Magnetization Technique — Unlike a wet suspension, dry particles lose most of their mobility when they contact the surface of a part. Therefore, it is imperative that the part/area of interest be under the influence of the applied magnetic field while the particles are still airborne and free to be attracted to leakage fields. This dictates that the flow of magnetizing current be initiated prior to the application of dry magnetic particles and terminated after the application of powder has been completed and any excess has been blown off. Magnetizing currents of the half-wave rectified alternating and unrectified AC provide additional particle mobility on the surface of the part. Examination with dry particles is usually carried out in conjunction with prod-type localized magnetizations, and buildup of indications is observed as the particles are being applied.

10.1.1.2 Wet Continuous Magnetization Technique — The wet continuous magnetization technique generally applies to those parts processed on a horizontal wet type unit. In practice, it involves bathing the part with the examination medium to provide an abundant source of suspended particles on the surface of the part and terminating the bath application immediately prior to cutting off of the magnetizing current. The duration of the magnetizing current is typically on the order of $\frac{1}{2}$ s with two or more shots given to the part.

10.1.1.3 Polymer or Slurry Continuous Magnetization Technique — Prolonged or repeated periods of magnetization are often necessary for polymer- or slurry-base suspensions because of slower inherent magnetic particle mobility in the high-viscosity suspension vehicles.

10.1.2 True Continuous Magnetization Technique — In this technique, the magnetizing current is sustained throughout both the processing and examination of the part.

10.1.3 Residual Magnetization Techniques:

10.1.3.1 Residual Magnetization — In this technique, the examination medium is applied after the magnetizing force has been discontinued. It can be used only if the material being tested has relatively high retentivity so the residual leakage field will be of sufficient strength to attract and hold the particles and produce indications. This technique may be advantageous for integration with production or handling requirements or for intentionally

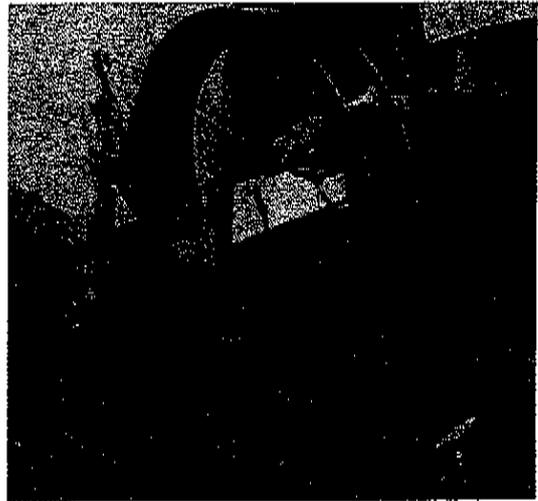


FIG. 3 COIL MAGNETIZATION

limiting the sensitivity of the examination. It has found wide use examining pipe and tubular goods. Unless demonstrations with typical parts indicate that the residual field has sufficient strength to produce relevant indications of discontinuities (see 20.8) when the field is in proper orientation, the continuous method should be used.

10.1.3.2 Current Quick Break — Equipment, full-wave rectified AC, for residual magnetization must be designed to provide a consistent quick break of the magnetizing current.

11. Types of Magnetizing Currents

11.1 Basic Current Types — The four basic types of current used in magnetic particle examination to establish part magnetization are alternating current, single phase half-wave rectified alternating current, full-wave rectified alternating current, and for a special application, DC.

11.1.1 Alternating Current (AC) — Part magnetization with alternating current is preferred for those applications where examination requirements call for the detection of discontinuities, such as fatigue cracks, that are open to the surface. Associated with AC is a "skin effect" that confines the magnetic field at or near to the surface of a part. In contrast, both half-wave rectified alternating current and full-wave rectified alternating current produce a magnetic field having maximum penetrating capabilities which should be used when near-surface discontinuities are of concern. Alternating current is also extensively used for the demagnetization of parts after examination. The through-coil technique is normally used for this purpose due to its simple, fast nature. See Fig. 3.

11.1.2 Half-Wave Rectified Alternating Current — Half-wave rectified alternating current is frequently used in conjunction with dry particles and localized magnetization (for example, prods or yokes) to achieve some depth of penetration for detection of typical discontinuities found in weldments and ferrous castings. As with AC for magnetization, single-phase current is utilized and average value measured as "magnetizing current."

11.1.3 Full-Wave Rectified Alternating Current — Full-wave rectified alternating current may utilize single- or three-phase current. Three-phase current has the advantage of lower line amperage whereas single-phase equipment is less expensive. Full-wave rectified AC is commonly used when the residual method is to be employed. With the continuous method, full-wave rectified AC is used for magnetization of coated and plated parts. Because particle movement, either dry or wet is noticeably slower, precautions must be taken to ensure that sufficient time is allowed for formation of indications.

11.1.4 Direct Current (DC) — A bank of batteries or a DC generator produce a direct magnetizing current. They have largely given way to half-wave rectified or full-wave rectified AC except for a few specialized applications, primarily because of battery cost and maintenance. One such example is the charging of a bank of capacitors, which on discharge is used to establish a residual magnetic field in tubing, casing, line pipe, and drill pipe.

12. Part Magnetization Techniques

12.1 Examination Coverage — All examinations should be conducted with sufficient area overlap to assure the required coverage at the specified sensitivity has been obtained.

12.2 Direct and Indirect Magnetization — A part can be magnetized either directly or indirectly. For direct magnetization the magnetizing current is passed directly through the part creating a circular magnetic field in the part. With indirect magnetization techniques a magnetic field is induced in the part which can create a circular/toroidal, longitudinal, or multidirectional magnetic field in the part. The techniques described in 20.8 for verifying that the magnetic fields have the anticipated direction and strength should be employed. This is especially important when using the multidirection technique to examine complex shapes.

12.3 Choosing a Magnetization Technique — The choice of direct or indirect magnetization will depend on such factors as size, configuration, or ease of processing. Table 1 compares the advantages and limitations of the various methods of part magnetization.

12.3.1 Direct Contact Magnetization — For direct magnetization, physical contact must be made between the ferromagnetic part and the current carrying electrodes connected to the power source. Both localized area magnetization and overall part magnetization are direct contact means of part magnetization achieved through the use of prods, head and tailstock, clamps, and magnetic leeches.

12.3.2 Localized Area Magnetization:

12.3.2.1 Prod Technique — The prod electrodes are first pressed firmly against the test part [Fig. 2(a)]. The magnetizing current is then passed through the prods and into the area of the part in contact with the prods. This establishes a circular magnetic field in the part around and between each prod electrode, sufficient to carry out a local magnetic particle examination (Figs. 2(c) and 2(d)). **Caution:** Extreme care should be taken to maintain clean prod tips, to minimize heating at the point of contact and to prevent arc burns and local overheating on the surface being examined since these may cause adverse effects on material properties. Arc burns cause metallurgical damage; if the tips are solid copper, copper penetration into the part may occur. Prods should not be used on machined surfaces or on aerospace component parts.

(1) Unrectified AC limits the prod technique to the detection of surface discontinuities. Half-wave rectified AC is most desirable since it will detect both surface and near-surface discontinuities. The prod technique generally utilizes dry magnetic particle materials due to better particle mobility. Wet magnetic particles are not generally used with the prod technique because of potential electrical and flammability hazards.

(2) Proper prod examination requires a second placement with the prods rotated approximately 90° from the first placement to assure that all existing discontinuities are revealed. Depending on the surface coverage requirements, overlap between successive prod placements may be necessary. On large surfaces, it is good practice to layout a grid for prod/yoke placement.

12.3.2.2 Manual Clamp/Magnetic Leech Technique — Local areas of complex components may be magnetized by electrical contacts manually clamped or attached with magnetic leeches to the part (Fig. 4). As with prods, sufficient overlap may be necessary if testing of the contact location is required.

12.3.2.3 Overall Magnetization:

(1) **Head and Tailstock Contact** — Parts may be clamped between two electrodes (such as a head and tailstock of horizontal wet magnetic particle equipment) and the magnetizing current applied directly through the part (Fig. 5). The size and shape of the part will determine

TABLE 1
ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF THE VARIOUS WAYS OF MAGNETIZING A PART

Magnetizing Technique and Material Form	Advantages	Limitations
I. Direct Contact Part Magnetization (see 12.3.1)		
Head/Tailstock Contact Solid, relatively small parts (castings, forgings, machined pieces) that can be processed on a horizontal wet unit	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fast, easy technique 2. Circular magnetic field surrounds current path. 3. Good sensitivity to surface and near-surface discontinuities. 4. Simple as well as relatively complex parts can usually be easily processed with one or more shots. 5. Complete magnetic path is conducive to maximizing residual characteristics of material. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Possibility of arc burns if poor contact conditions exist. 2. Long parts should be magnetized in sections to facilitate bath application without resorting to an overly long current shot.
Large castings and forgings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Large surface areas can be processed and examined in relatively short time. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. High amperage requirements (16 000 to 20 000 A) dictate special DC power supply.
Cylindrical parts such as tubing, pipe, hollow shafts, etc.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entire length can be circularly magnetized by contacting, end to end. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Effective field limited to outside surface and cannot be used for inside diameter examination. 2. Ends must be conductive to electrical contacts and capable of carrying required current without excessive heat. Cannot be used on oil country tubular goods because of possibility of arc burns.
Long solid parts such as billets, bars, shafts, etc.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entire length can be circularly magnetized by contacting, end to end. 2. Current requirements are independent of length. 3. No end loss. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Voltage requirements increase as length increases due to greater impedance of cable and part. 2. Ends must be conductive to electrical contact and capable of carrying required current without excessive heat.
Prods: Welds	<ol style="list-style-type: none"> 1. Circular field can be selectively directed to weld area by prod placement. 2. In conjunction with half-wave rectified alternating current and dry powder, provides excellent sensitivity to subsurface discontinuities as well as surface type. 3. Flexible, in that prods, cables, and power packs can be brought to examination site. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Only small area can be examined at one time. 2. Arc burns due to poor contact. 3. Surface must be dry when dry powder is being used. 4. Prod spacing must be in accordance with the magnetizing current level.

ARTICLE 25 — MAGNETIC PARTICLE STANDARDS

TABLE 1 (CONT'D)
ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF THE VARIOUS WAYS OF MAGNETIZING A PART

Magnetizing Technique and Material Form	Advantages	Limitations
Large castings or forgings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entire surface area can be examined in small increments using nominal current values. 2. Circular field can be concentrated in specific areas that historically are prone to discontinuities. 3. Equipment can be brought to the location of parts that are difficult to move. 4. In conjunction with half-wave rectified alternating current and dry powder, provides excellent sensitivity to near surface subsurface type discontinuities that are difficult to locate by other methods. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coverage of large surface area requires a multiplicity of shots that can be very time-consuming. 2. Possibility of arc burns due to poor contact. Surface should be dry when dry powder is being used.
II. Indirect Part Magnetization (see 12.3.2)		
<p>Central Conductor</p> <p>Miscellaneous parts having holes through which a conductor can be placed such as:</p> <p>Bearing race Hollow cylinder Gear Large nut Large clevis Pipe coupling, casing/tubing</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact to part and possibility of arc burns eliminated. 2. Circumferentially directed magnetic field is generated in all surfaces surrounding the conductor (inside diameter, faces, etc.). 3. Ideal for those cases where the residual method is applicable. 4. Light weight parts can be supported by the central conductor. 5. Multiple turns may be used to reduce current required. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Size of conductor must be ample to carry required current. 2. Ideally, conductor should be centrally located within hole. 3. Larger diameters require repeated magnetization with conductor against inside diameter and rotation of part between processes. Where continuous magnetization technique is being employed, examination is required after each magnetization.
<p>Tubular type parts such as:</p> <p>Pipe/Casting Tubing Hollow shaft</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact of part required. 2. Inside diameter as well as outside diameter examination. 3. Entire length of part circularly magnetized. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Outside surface sensitivity may be somewhat less than that obtained on the inside surface for large diameter and extremely heavy wall.
Large valve bodies and similar parts	<ol style="list-style-type: none"> 1. Provides good sensitivity for detection of discontinuities located on internal surfaces. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Outside surface sensitivity may be somewhat less than that obtained on the inside diameter for heavy wall.
<p>Coil/Cable Wrap</p> <p>Miscellaneous medium-sized parts where the length predominates such as a crankshaft</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. All generally longitudinal surfaces are longitudinally magnetized to effectively locate transverse discontinuities. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Length may dictate multiple shot as coil is repositioned.
Large castings, forgings, or shafting	<ol style="list-style-type: none"> 1. Longitudinal field easily attained by means of cable wrapping. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Multiple magnetization may be required due to configuration of part.

2004 SECTION V

TABLE 1 (CONT'D)
ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF THE VARIOUS WAYS OF MAGNETIZING A PART

Magnetizing Technique and Material Form	Advantages	Limitations
Miscellaneous small parts	<ol style="list-style-type: none"> 1. Easy and fast, especially where residual magnetization is applicable. 2. No electrical contact. 3. Relatively complex parts can usually be processed with same ease as those with simple cross section. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. L/D (length/diameter) ratio important consideration in determining adequacy of ampere-turns. 2. Effective L/D ratio can be altered by utilizing pieces of similar cross-sectional area. 3. Use smaller coil for more intense field. 4. Sensitivity diminishes at ends of part due to general leakage field pattern. 5. Quick break desirable to minimize end effect on short parts with low L/D ratio.
Induced Current Fixtures Examination of ring-shaped part for circumferential-type discontinuities.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact. 2. All surfaces of part subjected to toroidal-type magnetic field. 3. Single process for 100% coverage. 4. Can be automated. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Laminated core required through ring. 2. Type of magnetizing current must be compatible with method. 3. Other conductors encircling field must be avoided. 4. Large diameters require special consideration.
Ball examination	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact. 2. 100% coverage for discontinuities in any direction with three-step process and proper orientation between steps. 3. Can be automated. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. For small-diameter balls, limited to residual magnetization.
Disks and gears	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact. 2. Good sensitivity at or near periphery or rim. 3. Sensitivity in various areas can be varied by core or pole-piece selection. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 100% coverage may require two-step process with core or pole-piece variation, or both. 2. Type of magnetizing current must be compatible with part geometry.
Yokes: Examination of large surface areas for surface-type discontinuities.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact. 2. Highly portable. 3. Can locate discontinuities in any direction with proper orientation. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Time consuming. 2. Must be systematically repositioned in view of random discontinuity orientation.
Miscellaneous parts requiring examination of localized areas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No electrical contact. 2. Good sensitivity to direct surface discontinuities. 3. Highly portable. 4. Wet or dry technique. 5. Alternating-current type can also serve as demagnetizer in some instances. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Must be properly positioned relative to orientation or discontinuities. 2. Relatively good contact must be established between part and poles. 3. Complex part geometry may cause difficulty. 4. Poor sensitivity to subsurface-type discontinuities except in isolated areas.



FIG. 4 DIRECT-CONTACT MAGNETIZATION THROUGH MAGNETIC LEECH CLAMP OF PART

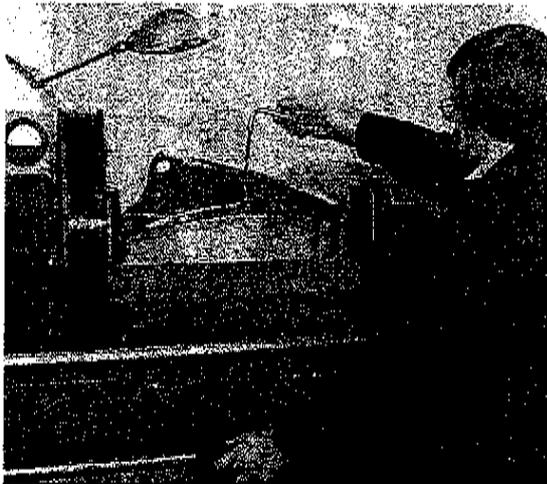


FIG. 5 DIRECT CONTACT MAGNETIZATION THROUGH HEAD/TAILSTOCK

whether both field directions can be obtained with such equipment.

(2) *Clamps* — The magnetizing current may be applied to the test part by clamping the current carrying electrodes to the part, producing a circular magnetic field (Fig. 6).

(3) *Multidirectional Magnetization Technique* — With suitable circuitry, it is possible to produce a multidirectional (oscillating) field in a part by selectively switching the magnetic field within the part between electrode contacts/clamps positioned approximately 90 deg. apart. This permits building up indications in all possible directions and may be considered the equivalent of magnetizing in two or more directions (Fig. 7). On some complex shapes as many as 16 to 20 steps may be required with conventional equipment. With multidirectional magnetization, it is usually possible to reduce the magnetizing steps required by more than half. It is essential that the wet continuous method be used and that the magnetic field direction and relative intensity be determined by one or more of the techniques described in 20.8.

12.3.3 Indirect Magnetization — Indirect part magnetization involves the use of a preformed coil, cable wrap, yoke, or a central conductor to induce a magnetic field. Coil, cable wrap, and yoke magnetization are referred to as longitudinal magnetization in the part (see 13.3).

12.3.3.1 Coil and Coil Magnetization — When coil (Fig. 3) or cable wrap (Fig. 8) techniques are used, the magnetic field strength is proportional to ampere turns and depends on simple geometry (see 14.3.2).

12.3.3.2 Central Conductor, Induced Current Magnetization — Indirect circular magnetization of hollow pieces/parts can be performed by passing the magnetizing current through a central conductor [Figs. 9(a) and 9(b)] or cable used as a central conductor or through an induced current fixture [Fig. 9(c)].

12.3.3.3 Yoke Magnetization — A magnetic field can be induced into a part by means of an electromagnet (see Fig. 1), where the part or a portion thereof becomes the magnetic path between the poles (acts as a keeper) and discontinuities preferentially transverse to the alignment of the pole pieces are indicated. Most yokes are energized by AC, half-wave rectified AC, or full-wave rectified AC. A permanent magnet can also introduce a magnetic field in the part but its use is restricted (see 6.3.1).

13. Direction of Magnetic Fields

13.1 Discontinuity Orientation vs. Magnetic Field Direction — Since indications are not normally obtained when discontinuities are parallel to the magnetic field, and since indications may occur in various or unknown directions in a part, each part must be magnetized in at least two directions approximately at right angles to each other as noted in 5.3.2. On some parts circular magnetization may be used in two or more directions, while on

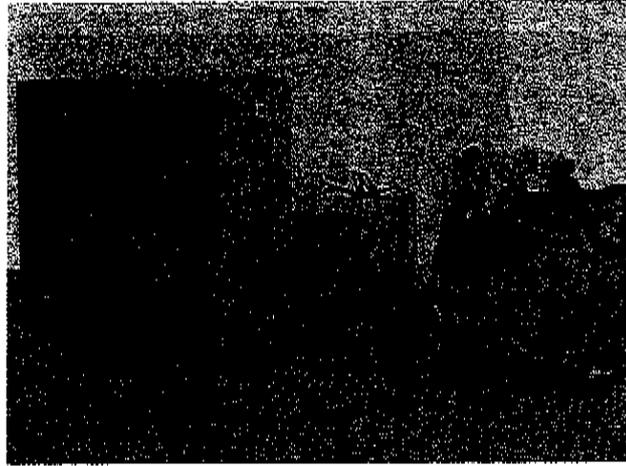
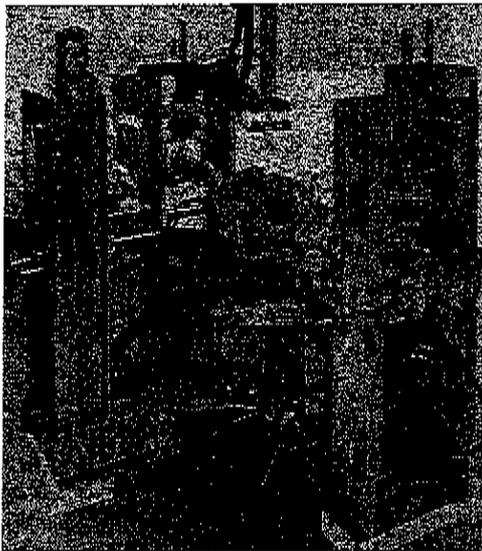


FIG. 6 DIRECT CONTACT OVERALL MAGNETIZATION

FIG. 7 MULTIDIRECTIONAL-OVERALL
MAGNETIZATION

others both circular and longitudinal magnetization are used. A multidirectional field can also be employed to achieve part magnetization in more than one direction.

13.2 Circular Magnetization — Circular magnetization (Fig. 10) is the term used when electric current is passed through a part, or by use of a central conductor (sec 12.3.3.2) through a central opening in the part, inducing a magnetic field at right angles to the current flow.

13.3 Toroidal Magnetization — When magnetizing a part with a toroidal shape, such as a solid wheel or the disk with a center opening, an induced field that is radial to the disk is most useful for the detection of discontinuities in a circumferential direction. In such applications this field may be more effective than multiple shots across the periphery.

13.4 Longitudinal Magnetization — Longitudinal magnetization (Fig. 11) is the term used when a magnetic field is generated by an electric current passing through a multiturn, Fig. 12, or laminated coil, Fig. 13, which encloses the part or section of the part to be examined.

13.5 Multidirectional Magnetization — The magnetic fields may be induced in the part by passing current through the part from different directions (sec 12.3.2.3 and Fig. 14). Artificial flaws, circular shims, or known defects should be used to establish magnetic field direction.

14. Magnetic Field Strength

14.1 Magnetizing Field Strengths — To produce interpretable indications, the magnetic field in the part must have sufficient strength and proper orientation. For the indications to be consistent, this field strength must be controlled within reasonable limits, usually $\pm 25\%$. Factors that affect the strength of the field are the size, shape, section thickness, material of the part/ piece, and the technique of magnetization. Since these factors vary widely, it is difficult to establish rigid rules for magnetic field strengths for every conceivable configuration.

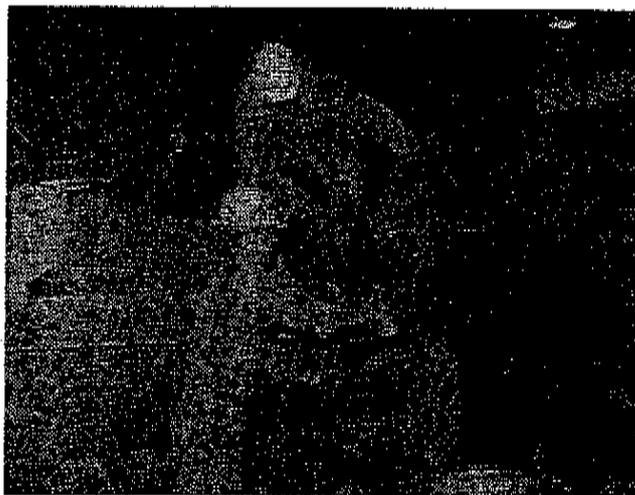


FIG. 8 CABLE MAGNETIZATION

14.2 Establishing Field Strengths — Sufficient magnetic field strength can be established by:

14.2.1 Known Discontinuities — Experiments with similar/identical parts having known discontinuities.

14.2.2 Artificial Discontinuities — The “pie” field indicator (Fig. 15) and slotted shims (Fig. 16) are artificial discontinuities. See 20.8.

14.2.3 Hall-effect Probe-Tangential Field Strengths — Tangentially applied field strengths, as measured with a Hall-effect probe/sensor, in the range from 30 to 60 G (2.4 to 4.8 kAmm⁻¹) should be adequate. See 20.8. Under some circumstances some fields in the range from 10 to 150 G may be required.

14.2.4 Using Empirical Formulas — Section 14.3 has four empirical formulas for establishing magnetic field strengths; they are rules of thumb. As such, they must be used with judgment. Their use may lead to:

14.2.4.1 Over magnetization, which causes excessive particle background that makes interpretation more difficult if not impossible.

14.2.4.2 Poor coverage.

14.2.4.3 Poor choice of test geometries.

14.2.4.4 A combination of the above.

14.3 Guidelines for Establishing Magnetic Fields — The following guidelines can be effectively applied for establishing proper levels of circular and longitudinal magnetization.

14.3.1 Circular Magnetization — Magnetic Field Strength:

14.3.1.1 Central Conductor Induced Magnetization — Central conductors are widely used in magnetic particle examination to provide:

(1) A circular field on both the inside surface and outside surface of tubular pieces that cannot be duplicated by the direct current technique.

(2) A non-contact means of part magnetization virtually eliminating the possibility of arc burning the material, as can be the case with current flow through contacts, such as prods or clamps.

(3) Substantial processing advantages over direct contact techniques on ring-shaped parts.

(4) In general it is desirable to centrally locate a central conductor to permit the entire circumference of the part to be processed at one time. The resulting field is concentric relative to the axis of the piece and is maximum at the inside surface. The strength of the magnetic field should be verified by the means discussed in 20.8. With a centrally located central conductor, the magnetizing current requirements would be the same as a solid piece having the same outside diameter.

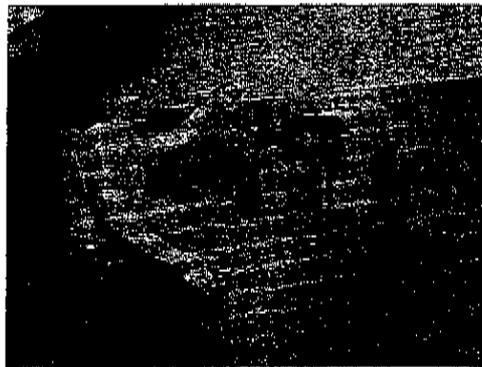
(5) When using offset central conductors the conductor passing through the inside of the part is placed against an inside wall of the part. The current shall be from 12 A per mm of part diameter to 32 A per mm of part diameter (300 to 800 A/in.). The diameter of the part shall be taken as the largest distance between any two points on the outside circumference of the part. Generally



(a) Use of Central Conductor on Multipart Magnetization



(b) Use of Central Conductor for Localized Magnetization



(c) Use of a Special Induced Current Fixture

FIG. 9 CENTRAL CONDUCTOR INDUCED MAGNETIZATION

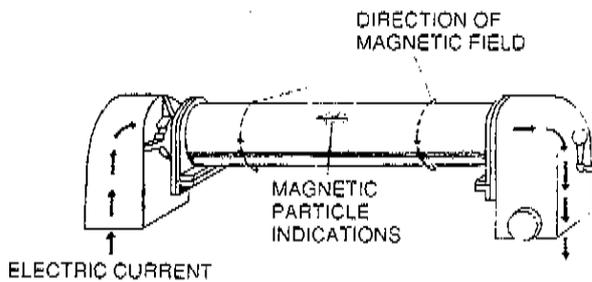


FIG. 10 CIRCULAR MAGNETIZATION

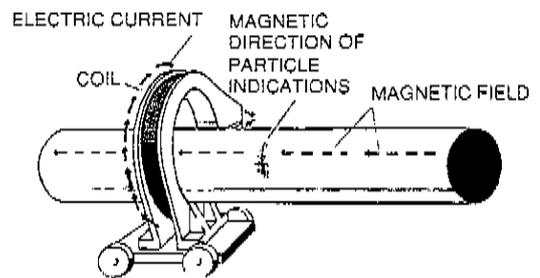


FIG. 11 LONGITUDINAL MAGNETIZATION

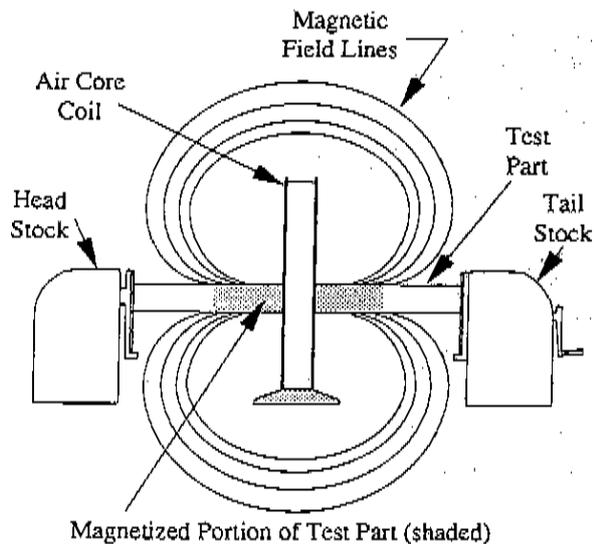


FIG. 12 MAGNETIC FIELD PRODUCED BY AN AIR CORE COIL

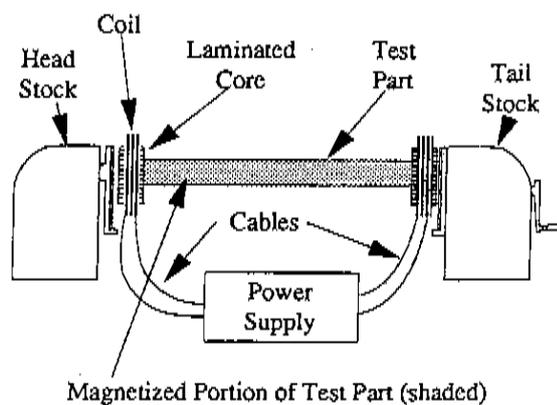


FIG. 13 MAGNETIC FIELD PRODUCED BY A LAMINATED CORE COIL

currents will be 500 A/in. (20 A per mm) or lower with the higher currents (up to 800 A/in.) being used to examine for inclusions or to examine low permeability alloys such as precipitation-hardening steels. For examinations used to locate inclusions in precipitation-hardening steels even higher currents, up to 1000 A/in. (40 A per mm) may be used. The distance along the part circumference which may be effectively examined shall be taken as approximately four times the diameter of the central conductor, as illustrated Fig. 17. The entire circumference shall be examined by rotating the part on

the conductor, allowing for approximately a 10% magnetic field overlap. Less overlap, different current levels, and larger effective regions (up to 360°) may be used if the presence of suitable field levels is verified.

14.3.1.2 Localized Magnetization:

(1) *Using Prods* — With prods, the strength circular magnetization is proportional to the amperage used but varies with the prod spacing and thickness of the section being examined. It is recommended that a magnetizing current from 1 in. (90 to 110 A/25 mm) of prod spacing should be used for material $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) and over in thickness. Prolonged energizing cycles may cause undesirable localized overheating. Prod spacing should not exceed 8 in. (200 mm). Prod spacing less than 3 in. (75 mm) is usually not practical due to banding of the particles around the prods. When the area of examination exceeds a width of one quarter of the prod spacing, measured from a centerline connecting the prod centers, the magnetic field intensity should be verified at the edges of the area being examined.

(2) *Using Yokes* — The field strength of a yoke (or a permanent magnet) can be empirically determined by measuring its lifting power (see 20.3.6). If a Hall-effect probe is used, it shall be placed on the surface midway between the poles.

14.3.2 Air-Core Coil Longitudinal Magnetization — Longitudinal part magnetization is produced by passing a current through a multiturn coil encircling the part or section of the part to be examined. A magnetic field is produced parallel to the axis of the coil. The unit of measurement is ampere turns (NI) (the actual amperage multiplied by the number of turns in the encircling coil or cable). The effective field extends on either side of the coil a distance approximately equal to the radius of the coil being employed. Long parts should be examined in sections not to exceed this length. There are four empirical longitudinal magnetization formulas employed for using encircling coils, the formula to be used depending on the fill factor. The formulas are included for historical continuity only. If used its use should be limited to simple shaped parts. It would be quicker and more accurate to use a Gauss (Tesla) meter, lay its probe on the part and measure the field rather than to calculate using the formulas.

14.3.2.1 Low Fill-Factor Coils — In this case, the cross-sectional area of the fixed encircling coil greatly exceeds the cross-sectional area of the part (less than 10% coil inside diameter). For proper part magnetization, such parts should be placed well within the coils and close to the inside wall of the coil. With this low fill-factor, adequate field strength for eccentrically positioned parts with a length-over-diameter ratio (L/D) between 3

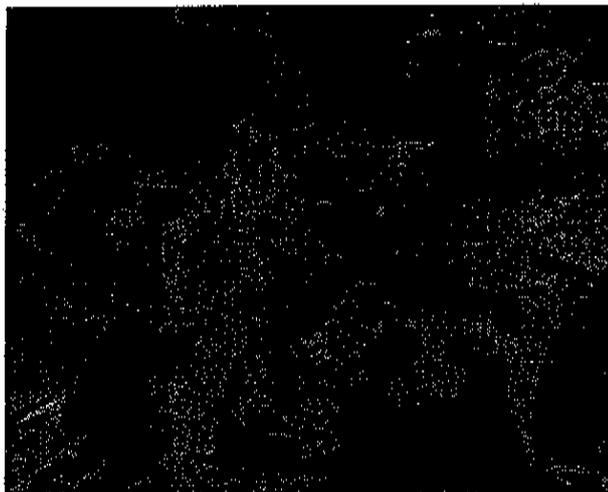


FIG. 14 MULTIDIRECTIONAL MAGNETIZATION

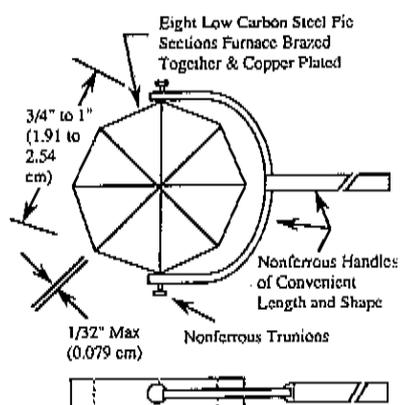


FIG. 15 MAGNETIC FIELD INDICATOR

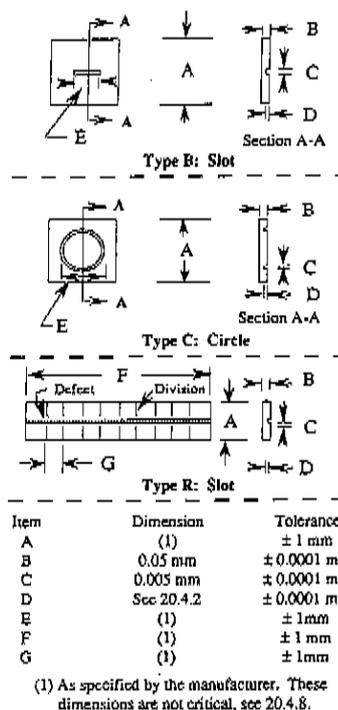


FIG. 16 TYPICAL SLOTTED SHIM DESIGNS

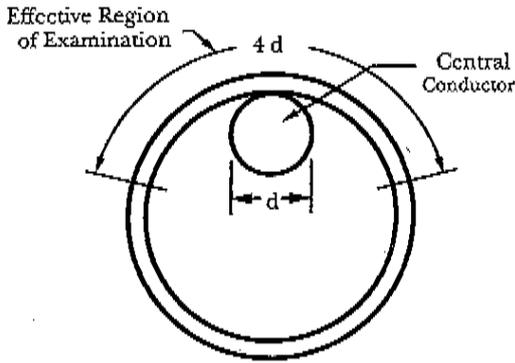


FIG. 17 APPROXIMATE EFFECTIVE REGION OF EXAMINATION WHEN USING AN OFFSET CENTRAL CONDUCTOR (THREADER BAR)

and 15 is calculated from the following equations:

(1) *Parts With Low Fill-Factor Positioned Close to Inside Wall of Coil:*

$$NI = K/(L/D)(\pm 10\%) \quad (1)$$

where:

- N = number of turns in the coil,
- I = coil current to be used, amperes (A),
- K = 45 000 (empirically derived constant),
- L = part length, in., (see Note),
- D = part diameter, in.; for hollow parts, see 14.3.2.4, and
- NI = ampere turns.

For example, a part 15 in. (38.1 cm) long with 5-in. (12.7-cm) outside diameter has an L/D ratio of 15/5 or 3. Accordingly, the ampere turn requirement ($NI = 45\,000/3$) to provide adequate field strength in the part would be 15 000 ampere turns. If a five-turn coil or cable is used, the coil amperage requirements would be ($I = 15\,000/5$) = 3000 A ($\pm 10\%$). A 500 turn coil would require 30 A ($\pm 10\%$).

(2) *Parts with a Low Fill-Factor Positioned in the Center of the Coil:*

$$NI = KR/[(6L/D) - 5](\pm 10\%) \quad (2)$$

where:

- N = number of turns in the coil,
- I = coil current to be used, A,
- K = 43 000 (empirically derived constant),
- R = coil radius, in.,
- L = part length, in. (see Note),
- D = part diameter, in., for hollow parts (see 14.3.2.4), and
- NI = ampere turns.

For example, a part 15 in. (38.1 cm) long with 5-in. (12.7-cm) outside diameter has a L/D ratio of 15/5 or 3. If a five-turn 12-in. diameter (6-in. radius) (30.8-cm diameter [15.4-cm radius]) coil or cable is used, (I) the ampere turns requirement would be as follows:

$$NI = \frac{(43\,000 \times 6)}{[(6 \times 3) - 5]} \text{ or } 19\,846$$

and (2) the coil amperage requirement would be as follows:

$$\frac{19\,846}{5} \text{ or } 3\,969 \text{ A } (\pm 10\%)$$

14.3.2.2 Intermediate Fill-Factor Coils — When the cross section of the coil is greater than twice and less than ten times the cross section of the part being examined:

$$NI = (NI)_{hf} (10 - Y) + (NI)_{lf} (Y - 2)/8 \quad (3)$$

where:

NI_{hf} = value of NI calculated for high fill-factor coils using Eq 4,

NI_{lf} = value of NI calculated for low fill-factor coils using Eq 1 or Eq 2, and

Y = ratio of the cross-sectional area of the coil to the cross section of the part. For example, if the coil has an inside diameter of 10 in. (25.4 cm) and part (a bar) has an outside diameter of 5 in. (12.2 cm)

$$Y = [\pi(5)^2]/[\pi(2.5)^2] = 4$$

14.3.2.3 High Fill-Factor Coils — In this case, when fixed coils or cable wraps are used and the cross-sectional area of the coil is less than twice the cross-sectional area (including hollow portions) of the part, the coil has a high fill-factor.

(1) *For Parts Within a High Fill-Factor Positioned Coil and for Parts with an L/D ratio equal to or greater than 3:*

$$NI = \frac{K}{(L/D) + 2} (\pm 10\%) \quad (4)$$

where:

- N = number of turns in the coil or cable wrap.
- I = coil current, A,
- K = 35 000 (empirically derived constant),
- L = part length, in.,
- D = part diameter, in., and
- NI = ampere turns.

For example, the application of Eq 4 can be illustrated as follows: a part 10 in. (25.4 cm) long with 2-in. (5.08-cm) outside diameter would have an L/D ratio of 5 and an ampere turn requirements of $NI = 35\,000/(5 + 2)$ or 5000 ($\pm 10\%$) ampere turns. If a five-turn coil or cable wrap is employed, the amperage requirement is 5000/5 or 1000 A ($\pm 10\%$).

Note — For L/D ratios less than 3, a pole piece (ferromagnetic material approximately the same diameter as part) should be used to effectively increase the L/D ratio or utilize an alternative magnetization method such as induced current. For L/D ratios greater than 15, a maximum L/D value of 15 should be used for all formulas cited above.

14.3.2.4 L/D Ratio for a Hollow Piece — When calculating the L/D ratio for a hollow piece, D shall be replaced with an effective diameter D_{eff} calculated using:

$$D_{\text{eff}} = [(A_t - A_h)/\pi]^{1/2}$$

where:

- A_t = total cross-sectional area of the part, and
- A_h = cross-sectional area of the hollow portion(s) of the part.

For a cylindrical piece, this is equivalent to:

$$D_{\text{eff}} = [(OD)^2 - (ID)^2]^{1/2}$$

where:

- OD = outside diameter of the cylinder, and
- ID = inside diameter of the cylinder.

15. Application of Dry and Wet Magnetic Particles

15.1 Dry Magnetic Particles:

15.1.1 Magnetic Fields for Dry Particles — Dry magnetic powders are generally applied with the continuous magnetizing techniques utilizing AC or half-wave rectified AC or yoke magnetization. A current duration of at least $\frac{1}{2}$ s should be used. The current duration should be short enough to prevent any damage from overheating or from other causes. It should be noted that AC and half-wave rectified AC impart better particle mobility to the powder than DC or full-wave rectified AC. Dry magnetic powders are widely used for magnetic particle examination of large parts as well as on localized areas such as welds. Dry magnetic particles are widely used for oil field applications and are frequently used in conjunction with capacitor discharge style equipment and the residual method.

15.1.2 Dry Powder Application — Dry powders should be applied in such a manner that a light uniform, dust-like coating settles upon the surface of the part/piece while it is being magnetized. Dry particles must not be applied to a wet surface; they will have limited mobility. Neither should they be applied where there is excessive wind. The preferred application technique suspends the particles in air in such a manner that they reach the part surface being magnetized in a uniform cloud with a minimum of force. Usually, specially designed powder blowers and hand powder applicators are employed. (Figs. 1b and 4). Dry particles should not be applied by pouring, throwing, or spreading with the fingers.

15.1.3 Excess Powder Removal — Care is needed in both the application and removal of excess dry powder. While the magnetizing current is present, care must be exercised to prevent the removal of particles attracted by a leakage field that may prove to be a relevant indication of a discontinuity.

15.1.4 Near-surface Discontinuities Powder Patterns — In order to recognize the broad, fuzzy, weakly held powder patterns produced by near-surface discontinuities, it is essential to observe carefully the formation of indications while the powder is being applied and also while the excess is being removed. Sufficient time for indication formation and examination should be allowed between successive magnetization cycles.

15.2 Wet Particle Application — Wet magnetic particles, fluorescent or nonfluorescent, suspended in a vehicle at a recommended concentration may be applied either by spraying or flowing over the areas to be inspected during the application of the magnetizing field current (continuous technique) or after turning off the current (residual technique). Proper sequencing of operation (part magnetization and timing of bath application) is essential to indication formation and retention. For the continuous technique multiple current shots should be applied. The last shot should be applied after the particle flow has been diverted and while the particle bath is still on the part. A single shot may be sufficient. Care should be taken to prevent damage to a part due to overheating or other causes. Since fine or weakly held indications on highly finished or polished surfaces may be washed away or obliterated, care must be taken to prevent high-velocity flow over critical surfaces and to cut off the bath application before removing the magnetic field. Since a residual field has a lower intensity than a continuous field, less pronounced indications tend to form.

15.3 Magnetic Slurry/Paints — Magnetic slurry/paints are applied to the part with a brush before or during part magnetization. Indications appear as a dark line against a light silvery background. Magnetic slurry is ideal for overhead or underwater magnetic particle examination.

15.4 Magnetic Polymers — Magnetic polymers are applied to the test part as a liquid polymer suspension. The part is then magnetized, the polymer is allowed to cure, and the elastic coating is removed from the test surface for examination. Care must be exercised to ensure that magnetization is completed within the active migration period of the polymer which is usually about 10 min. This method is particularly applicable to areas of limited visual access such as bolt holes. Detailed application and

use instructions of the manufacturer should be followed for optimum results.

16. Interpretation of Indications

16.1 Valid Indications — All valid indications formed by magnetic particle examination are the result of magnetic leakage fields. Indications may be relevant (16.1.1), nonrelevant (16.1.2), or false (16.1.3).

16.1.1 Relevant Indications — Relevant indications are produced by leakage fields which are the result of discontinuities. Relevant indications require evaluation with regard to the acceptance standards agreed upon between the manufacturer/test agency and the purchaser (see Annex A1).

16.1.2 Nonrelevant Indications — Nonrelevant indications can occur singly or in patterns as a result of leakage fields created by conditions that require no evaluation such as changes in section (like keyways and drilled holes), inherent material properties (like the edge of a bimetallic weld), magnetic writing, etc.

16.1.3 False Indications — False indications are not the result of magnetic forces. Examples are particles held mechanically or by gravity in shallow depressions or particles held by rust or scale on the surface.

17. Recording of Indications

17.1 Means of Recording — When required by a written procedure, permanent records of the location, type, direction, length(s), and spacing(s) of indications may be made by one or more of the following means.

17.1.1 Sketches — Sketching the indication(s) and their locations.

17.1.2 Transfer (Dry Powder Only) — Covering the indication(s) with transparent adhesive-backed tape, removing the tape with the magnetic particle indication(s) adhering to it, and placing it on paper or other appropriate background material indicating locations.

17.1.3 Strippable Film (Dry Powder Only) — Covering the indication(s) with a spray-on strippable film that fixes the indication(s) in place. When the film is stripped from the part, the magnetic particle indication(s) adhere to it.

17.1.4 Photographing — Photographing the indications themselves, the tape, or the strippable film reproductions of the indications.

17.1.5 Written Records — Recording the location, length, orientation, and number of indications.

17.2 Accompanying Information — A record of the procedure parameters listed below as applicable should accompany the inspection results:

17.2.1 Method Used — Magnetic particle method (dry, wet, fluorescent, etc.).

17.2.2 Magnetizing Technique — Magnetizing technique (continuous, true-continuous, residual).

17.2.3 Current Type — Magnetizing current (AC, half-wave rectified or full-wave rectified AC, etc.).

17.2.4 Field Direction — Direction of magnetic field (prod placement, cable wrap sequence, etc.).

17.2.5 Field Strength — Magnetic current strength [ampere turns, amperes per millimetre (inch) of prod spacing, lifting force, etc.].

18. Demagnetization

18.1 Applicability — All ferromagnetic material will retain some residual magnetism, the strength of which is dependent on the retentivity of the part. Residual magnetism does not affect the mechanical properties of the part. However, a residual field may cause chips, filing, scale, etc. to adhere to the surface affecting subsequent machining operations, painting, or plating. Additionally, if the part will be used in locations near sensitive instruments, high residual fields could affect the operation of these instruments. Furthermore, a strong residual magnetic field in a part to be arc welded could interfere with welding. Residual fields may also interfere with later magnetic particle examination. Demagnetization is required only if specified in the drawings, specification, or purchase order. When required, an acceptable level of residual magnetization and the measuring method shall also be specified. See 18.3.

18.2 Demagnetization Methods — The ease of demagnetization is dependent on the coercive force of the metal. High retentivity is not necessarily related to high coercive force in that the strength of the residual field is not always an indicator of ease of demagnetizing. In general, demagnetization is accomplished by subjecting the part to a field equal to or greater than that used to magnetize the part and in nearly the same direction, then continuously reversing the field direction while gradually decreasing it to zero.

18.2.1 Withdrawal from Alternating Current Coil — The fastest and most simple technique is to pass the part through a high intensity alternating current coil and then slowly withdraw the part from the field of the coil. A coil of 5000 to 10 000 ampere turns is recommended. Line frequency is usually from 50 to 60 Hz alternating current. The piece should enter the coil from a 12-in. (300-mm) distance and move through it steadily and slowly until the piece is at least 36 in. (900 mm) beyond the coil. Care should be exercised to ensure that the part

is entirely removed from the influence of the coil before the demagnetizing force is discontinued, otherwise the demagnetizer may have the reverse effect of magnetizing the part. This should be repeated as necessary to reduce the residual field to an acceptable level. See 18.3. Small parts of complex figuration can be rotated and tumbled while passing through the field of the coil.

18.2.2 Decreasing Alternating Current — An alternative technique for part demagnetization is subjecting the part to the field while gradually reducing its strength to a desired level.

18.2.3 Demagnetizing With Yokes — Alternating current yokes may be used for local demagnetization by placing the poles on the surface, moving them around the area, and slowly withdrawing the yoke while it is still energized.

18.2.4 Reversing Direct Current — The part to be demagnetized is subjected to consecutive steps of reversed and reduced direct current magnetization to a desired level. (This is the most effective process of demagnetizing large parts in which the alternating current field has insufficient penetration to remove the internal residual magnetization.) This technique requires special equipment for reversing the current while simultaneously reducing it in small increments.

18.3 Extent of Demagnetization — The effectiveness of the demagnetizing operation can be indicated by the use of appropriate magnetic field indicators or field strength meters. **Caution:** A part may retain a strong residual field after having been circularly magnetized and exhibit little or no external evidence of this field. Therefore, the circular magnetization should be conducted before longitudinal magnetization if complete demagnetization is required.

18.3.1 After demagnetization residual fields should not exceed 3 G (240 Am^{-1}) anywhere in the piece, absolute value, unless otherwise agreed upon or as specified on the engineering drawing or in the contract, purchase order, or specification.

19. Post Examination Cleaning

19.1 Particle Removal — Post-test cleaning is necessary where magnetic particle material(s) could interfere with subsequent processing or with service requirements. The purchaser should specify when post-test cleaning is needed and the extent required.

19.2 Means of Particle Removal — Typical post-test cleaning techniques employed are: (a) the use of compressed air to blow off unwanted dry magnetic particles; (b) drying of wet particles and subsequent removal by

brushing or with compressed air; (c) removal of wet particles by flushing with solvent; and (d) other suitable post-examination cleaning techniques may be used if they will not interfere with subsequent requirements.

20. Evaluation of System Performance/Sensitivity

20.1 Contributing Factors — The overall performance/sensitivity of a magnetic particle examination system is dependent upon the following:

20.1.1 Operator capability, if a manual operation is involved.

20.1.2 Control of process steps.

20.1.3 The particles or suspension, or both.

20.1.4 The equipment.

20.1.5 Visible light level.

20.1.6 Black light monitoring where applicable.

20.1.7 Magnetic field strength.

20.1.8 Field direction of orientation.

20.1.9 Residual field strength.

20.1.10 These factors should all be controlled individually.

20.2 Maintenance and Calibration of Equipment — The magnetic particle equipment employed should be maintained in proper working order at all times. The frequency of verification calibration, usually every six months, see Table 2, or whenever a malfunction is suspected, should be specified in the written procedures of the testing facility. Records of the checks and results provide useful information for quality control purposes and should be maintained. In addition, any or all of the tests described should be performed whenever a malfunction of the system is suspected. Calibration tests should be conducted in accordance with the specifications or documents that are applicable.

20.3 Equipment Checks — The following tests are recommended for ensuring the accuracy of magnetic particle magnetizing equipment.

20.3.1 Ammeter Accuracy — The equipment meter readings should be compared to those of a control test meter incorporating a shunt or current transformer connected to monitor the output current. The accuracy of the entire control test meter arrangement should be verified at six-month intervals or as agreed upon between the purchaser and supplier by a means traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST). Comparative readings shall be taken at a minimum of three output levels encompassing the usable range. The equipment meter reading shall not deviate by more than

TABLE 2
RECOMMENDED VERIFICATION INTERVALS

Item	Maximum Time	
	Between Verifications ^A	Reference Paragraphs
Lighting:		
Visible light intensity	1 week	7.1.1
Black light intensity	1 week	7.1.2
Background visible light intensity	1 week	7.1.1
System performance using test piece or ring specimen of Fig. 18	1 day	20.8.3
Wet particle concentration	8 h. or every shift change	20.6
Wet particle contamination	1 week	20.6.4
Water break test	1 day	20.7.3
Equipment calibration/check:		
Ammeter accuracy	6 months	20.3.1
Timer control	6 months	20.3.2
Quick break	6 months	20.3.3
Dead weight check	6 months	20.3.6
Light meter checks	6 months	20.4

^A NOTE — The maximum time between verifications may be extended when substantiated by actual technical stability/reliability data.

±10% of full scale relative to the actual current values as shown by the test meter. **Caution:** When measuring half-wave rectified AC, the direct current reading of a conventional DC test meter reading must be doubled.

20.3.2 Timer Control Check — On equipment utilizing a timer to control the duration of the current flow, the timer should be checked for accuracy as specified in Table 2 or whenever a malfunction is suspected.

20.3.3 Magnetic Field Quick Break Check — On equipment that has a quick break feature, the functioning of this circuit should be checked and verified. This test may be performed using a suitable oscilloscope or a simple test device usually available from the manufacturer. On electronic power packs or machines, failure to achieve indication of a "quick break" would indicate that a malfunction exists in the energizing circuit.

20.3.4 Equipment Current Output Check — To ensure the continued accuracy of the equipment, ammeter readings at each transformer tap should be made with a calibrated ammeter-shunt combination. This accessory is placed in series with the contacts. The equipment shunt should not be used to check the machine of which it is a part. For infinite current control units (non-tap switch), settings at 500-A intervals should be used. Variations exceeding ±10% from the equipment ammeter readings indicate the equipment needs service or repair.

20.3.5 Internal Short Circuit Check — Magnetic particle equipment should be checked periodically for

TABLE 3
MINIMUM YOKE LIFTING FORCE

Type Current	Yoke Pole Leg Spacing	
	50 to 100 mm (2 to 4 in.)	100 to 150 mm (4 to 6 in.)
AC	45 N (10 lb)	
DC	135 N (30 lb)	225 N (50 lb)

internal short circuiting. With the equipment set for maximum amperage output, any deflection of the ammeter when the current is activated with no conductor between the contacts is an indication of an internal short circuit.

20.3.6 Electromagnetic Yoke Lifting Force Test — The magnetizing force of a yoke (or a permanent magnet) should be tested by determining its lifting power on a steel plate. See Table 3. The lifting force relates to the electromagnetic strength of the yoke.

20.3.7 Powder Blower — The performance of powder blowers used to apply the dry magnetic particles should be checked at routine intervals or whenever a malfunction is suspected. The check should be made on a representative test part. The blower should coat the area under test with a light, uniform dust-like coating of dry magnetic particles and have sufficient force to remove the excess particles without disturbing those particles that are evidence of indications. Necessary adjustments to the blower's flow rate or air velocity should be made in accordance with the manufacturer's recommendations.

20.4 Examination Area Light Level Control:

20.4.1 Visible Light Intensity — Light intensity in the examination area should be checked at specified intervals with the designated light meter at the surface of the parts being examined. See Table 2.

20.4.2 Black (ultraviolet) Light Intensity — Black light intensity and wavelength should be checked at the specified intervals but not to exceed one-week intervals and whenever a bulb is changed. Reflectors and filters should be cleaned daily and checked for integrity. See Table 2. Cracked or broken UV filters shall be replaced immediately. Defective bulbs which radiate UV energy must also be replaced before further use.

20.5 Dry Particle Quality Control Tests — In order to assure uniform and consistent performance from the dry magnetic powder selected for use, it is advisable that all incoming powders be certified or tested for conformance with quality control standards established between the user and supplier.

20.5.1 Contamination:

20.5.1.1 Degradation Factors — Dry magnetic particles are generally very rugged and perform with a

high degree of consistency over a wide process envelope. Their performance, however, is susceptible to degradation from such contaminants as moisture, grease, oil, rust and mill scale particles, nonmagnetic particles such as foundry sand, and excessive heat. These contaminants will usually manifest themselves in the form of particle color change and particle agglomeration, the degree of which will determine further use of the powder. Overheated dry particles can lose their color, thereby reducing the color contrast with the part and thus hinder part examination. Particle agglomeration can reduce particle mobility during processing, and large particle agglomerates may not be retained at an indication.

20.5.1.2 Ensuring Particle Quality — To ensure against deleterious effects from possible contaminants, it is recommended that a routine performance/sensitivity test be conducted (see 20.8.3).

20.6 Wet Particle Quality Control Tests — The following tests for wet magnetic particle suspensions should be conducted at startup and at regular intervals to assure consistent performance. See Table 2. Since bath contamination will occur as the bath is used, monitoring the working bath at regular intervals is essential.

20.6.1 Determining Bath Concentration — Bath concentration and sometimes bath contamination are determined by measuring its settling volume through the use of a Test Method D 96 pear-shaped centrifuge tube with a 1-mL stem (0.05-mL divisions) for fluorescent particle suspensions or a 1.5-mL stem (0.1-mL divisions) for nonfluorescent suspensions. Before sampling, the suspension should be run through the recirculating system for at least 30 min to ensure thorough mixing of all particles which could have settled on the sump screen and along the sides or bottom of the tank. Take a 100-mL portion of the suspension from the hose or nozzle, demagnetize and allow it to settle for approximately 60 min with petroleum distillate suspensions or 30 min with water-based suspensions before reading. The volume settling out at the bottom of the tube is indicative of the particle concentration in the bath.

20.6.2 Sample Interpretation — If the bath concentration is low in particle content, add a sufficient amount of particle materials to obtain the desired concentration; if the suspension is high in particle content, add sufficient vehicle to obtain the desired concentration. If the settled particles appear to be loose agglomerates rather than a solid layer, take a second sample. If still agglomerated, the particles may have become magnetized; replace the suspension.

20.6.3 Settling Volumes — For fluorescent particles, the recommended settling volume (see 8.4.6) is from 0.1

to 0.4 mL in a 100-mL bath sample and from 1.2 to 2.4 mL per 100 mL of vehicle for nonfluorescent particles unless otherwise specified by the particle manufacturer.

20.6.4 Bath Contamination — Both fluorescent and nonfluorescent suspensions should be checked periodically for contaminants such as dirt, scale, oil, lint, loose fluorescent pigment, water (in the case of oil suspensions), and particle agglomerates which can adversely affect the performance of the magnetic particle examination process. See Table 2.

20.6.4.1 Carrier Contamination — For fluorescent baths, the liquid directly above the precipitate should be examined with black light. The liquid will have a little fluorescence. Its color can be compared with a freshly made-up sample using the same materials or with an unused sample from the original bath that was retained for this purpose. If the "used" sample is noticeably more fluorescent than the comparison standard, the bath should be replaced.

20.6.4.2 Particle Contamination — The graduated portion of the tube should be examined under black light if the bath is fluorescent and under visible light (for both fluorescent and nonfluorescent particles) for striations or bands, differences in color or appearance. Bands or striations may indicate contamination. If the total volume of the contaminates, including bands or striations exceeds 30% of the volume of magnetic particles, or if the liquid is noticeably fluorescent (see 20.6.4.1), the bath should be replaced.

20.6.5 Particle Durability — The durability of both the fluorescent and nonfluorescent magnetic particles in suspension should be checked periodically to ensure that the particles have not degraded due to chemical attack from the suspending oil or conditioned water vehicles or mechanically degraded by the rotational forces of the recirculating pump in a wet horizontal magnetic particle unit. Fluorescent magnetic particle breakdown in particular can result in a decrease in sensitivity and an increase in nonmagnetic fluorescent background. Lost fluorescent pigment can produce false indications that can interfere with the examination process.

20.6.6 Fluorescent Brightness — It is important that the brightness of fluorescent magnetic particle powder be maintained at the established level so that indication and background brightness can be kept at a relatively constant level. Variations in contrast can noticeably affect test results. Lack of adequate contrast is generally caused by:

20.6.6.1 An increase in contamination level of the vehicle increasing background fluorescence, or

20.6.6.2 Loss of vehicle because of evaporation, increasing concentration, or

20.6.6.3 Degradation of fluorescent particles. A change in contrast ratio can be observed by using a test ring specimen with an etched surface.

20.6.7 Performance/Sensitivity — Failure to find a known discontinuity in a part or obtain the specified indications on the test ring (see 20.8.3) indicates a need for changing of the entire bath. If a part was used, it must have been ultrasonically cleaned so that no fluorescent background can be detected when viewed under black light with a surface intensity of at least $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. If any background is noted that interferes with either detection or interpretation, the bath should be drained and a new suspension made.

20.7 Bath Characteristics Control:

20.7.1 Viscosity — The viscosity of the suspension should not exceed $5 \text{ mm}^2/\text{s}$ (5.0 cSt), at any temperature at which the bath may be used, when tested in accordance with Test Method D 445.

20.7.2 Flash Point — The flash point of wet magnetic particle light petroleum distillate suspension should be a minimum of 200°F (93°C); use Test Method D 93.

20.7.3 Water Break Test for Conditioned Water Vehicles — Properly conditioned water will provide proper wetting, particle dispersion, and corrosion protection. The water break test should be performed by flooding a part, similar in surface finish to those under test, with suspension, and then noting the appearance of the surface of the part after the flooding is stopped. If the film of suspension is continuous and even all over the part, sufficient wetting agent is present. If the film of suspension breaks, exposing bare surfaces of the part, and the suspension forms many separate droplets on the surface, more wetting agent is needed or the part has not been sufficiently cleaned.

20.7.4 pH of Conditioned Water Vehicles — The pH of the conditioned water bath should be between 6.0 and 10.5 as determined by a suitable pH meter or special pH paper.

20.8 Verifying System Performance

20.8.1 Production Test Parts with Discontinuities — A practical way to evaluate the performance and sensitivity of the dry or wet magnetic particles or overall system performance, or both, is to use representative test parts with known discontinuities of the type and severity normally encountered during actual production inspection. However, the usefulness of such parts is limited because the orientation and magnitude of the discontinuities cannot be controlled. The use of flawed parts with

gross discontinuities is not recommended. **Caution** — If such parts are used, they must be thoroughly cleaned and demagnetized after each use.

20.8.2 Fabricated Test Parts with Discontinuities — Often, production test parts with known discontinuities of the type and severity needed for evaluation are not available. As an alternative, fabricated test specimens with discontinuities of varying degree and severity can be used to provide an indication of the effectiveness of the dry or wet magnetic particle examination process.

20.8.3 Test Plate — The magnetic particle system performance test plate shown in Fig. 18 is useful for testing overall performance of systems using prods and yokes.

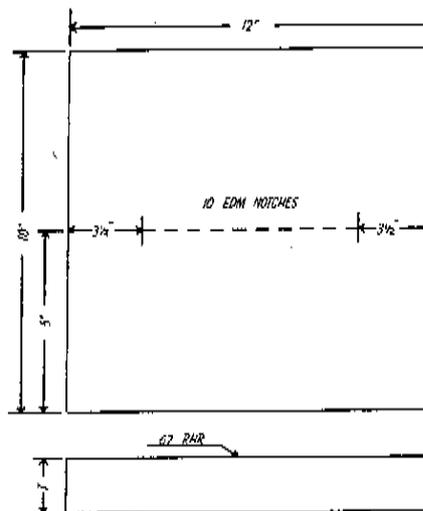
20.8.4 Test Ring Specimen — The test (Ketos) ring specimen (Fig. 19) is also used in evaluating and comparing the overall performance and sensitivity of both dry and wet, fluorescent and nonfluorescent magnetic particle techniques using a central conductor magnetization technique.

20.8.4.1 Test Ring Material — The tool steel (Ketos) ring should be machined from AISI O1 material in accordance with Fig. 19. Either the machined ring or the steel blank should be annealed at 1650°F (900°C), cooled 50°F (28°C) per hour to 1000°F (540°C) and then air cooled to ambient temperature to give comparable results using similar rings that have had the same treatment. Material and heat treatment are important variables. Experience indicates controlling the softness of the ring by hardness (90 to 95 HRB) alone is insufficient.

20.8.4.2 Using the Test Ring — The test ring, Fig. 19, is circularly magnetized with full-wave rectified AC passing through a central conductor with a 1 to $1\frac{1}{4}$ -in. (25 to 31-mm) diameter hole located in the ring center. The conductor should have a length greater than 16 in. (400 mm). The current used, unless otherwise agreed upon by the user and the particle manufacturer, shall be 1400 amps. For dry particles the minimum number of holes shown shall be four. For wet particles the minimum number of holes shown shall be three. The ring edge should be examined after 1 min with either black light or visible light, see 20.4 depending on the type of particles involved.

20.8.5 Magnetic Field Indicators:

20.8.5.1 "Pie" Field Indicator — The magnetic field indicator shown in Fig. 15 relies on the slots between the pie shaped segments to show the presence and the approximate direction of the magnetic field. A suitable field strength is indicated when a clearly defined line of magnetic particles forms across the copper face of the



- NOTE 1—EDM = Electronic Discharge Machine.
 NOTE 2—RHR = Roughness Height Rating.
 NOTE 3—Material should be the same type as material to be tested (a low-alloy steel plate is suitable for all low-alloy steel material to be tested).
 NOTE 4— T should be within $\pm 1/4$ in. of material to be tested up to $3/4$ in. $T = 3/4$ in. for material $3/4$ in. and over.
 NOTE 5—Ten notches are cut by the EDM process and are $1/8$ in. (3 mm) long, 5 through 50 mills deep and 5 ± 1 mil wide.
 NOTE 6—Notches are to be filled flush to the surface with a nonconducting material, such as epoxy, to prevent the mechanical holding of the indicating medium.

FIG. 18 MAGNETIC PARTICLE SYSTEM PERFORMANCE TEST PLATE

indicator (the slots are against the piece) when the magnetic particles are applied simultaneously with the magnetizing force. Failure to obtain an indication can result from: (1) insufficient magnetic field, or (2) the magnetic properties of the material being examined, or both.

20.8.5.2 Slotted Shims — Several types of slotted shims exist. Three, shown in Fig. 16, similar but not identical, have been used by the Japanese for a number of years and are being manufactured in the United States. Slot depths of 15, 30, and 60% of the shim thickness can be obtained; the slots being chemically milled. The slotted side is placed in close contact with the piece. The linear (bar) slot is useful when discontinuities are critical in a specific direction. The circular slot indicates the direction of maximum field strength and the angular tolerance of sensitivity. It can be used for developing multidirectional magnetizing procedures. The radially slotted strip has been found most useful for parts with narrow spaces and small radii. The true continuous method (10.1.2) of magnetization must be used, that is, the particles must be applied before the current flow is stopped. For dry powder applications, the excess powder must be blown off before the current stops flowing.

20.8.6 Half-effect Probe — The Hall-effect probe or sensor measures the tangential field strength (in air adjacent to the part) of the magnetizing force (H) and is calibrated in gauss. The sensor must be used with care. It must be kept close to the part surface. The manufacturer's instructions should be followed. These instruments can be used to detect a residual field or measure fields produced during head shots and shots using a central conductor.

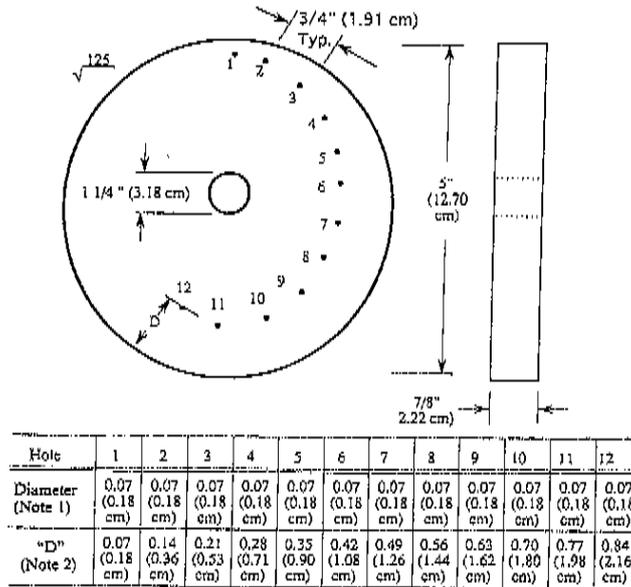
21. Procedures

21.1 When specified a procedure should be written for all magnetic particle examinations and should include as a minimum the following information. A sketch is usually used for illustrating part geometry, techniques, and areas for examination. This sketch may also be used for recording location of magnetic field indicators and for recording location of discontinuities.

21.1.1 Area to be examined (entire part or specific area),

21.1.2 Type of magnetic particle material (dry or wet, visible or fluorescent),

21.1.3 Magnetic particle equipment,



NOTE 1—All hole diameters are ± 0.005 in. (± 0.01 cm). Hole numbers 8 thru 12 are optional.

NOTE 2—Tolerance on the D distance is ± 0.005 in. (± 0.01).

NOTE 3—All dimensions are ± 0.03 in. (± 0.08) or as noted in 1 and 2.

NOTE 4—All dimension are in inches, except as noted.

NOTE 5—Material is ANSI O1 tool steel from annealed round stock.

NOTE 6—The ring may be heat treated as follows: Heat to 1400 to 1450°F (760 to 790°C) Hold at this temperature for one hour. Cool to a maximum rate of 40°F/h (22°C/h) to below 1000°F (540°C). Furnace or air cool to room temperature. Finish the ring to RMS 25 and protect from corrosion.

FIG. 19 TEST RING

- 21.1.4 Part surface preparation requirements,
- 21.1.5 Magnetizing process (continuous, true-continuous, residual),
- 21.1.6 Magnetizing current (alternating, half-wave rectified AC, full-wave rectified AC, direct),
- 21.1.7 Means of establishing part magnetization (direct-prods, head/tailstock contact or cable wrap, indirect-coil/cable wrap, yoke, central conductor, and so forth),
- 21.1.8 Direction of magnetic field (circular or longitudinal),
- 21.1.9 System performance/sensitivity checks,
- 21.1.10 Magnetic field strength (ampere turns, field density, magnetizing force, and number and duration of application of magnetizing current),
- 21.1.11 Application of examination media,
- 21.1.12 Interpretation and evaluation of indications,
- 21.1.13 Type of records including accept/reject criteria,

- 21.1.14 Demagnetizing techniques, if required, and
- 21.1.15 Post-examination cleaning, if required,

21.2 *Written Reports* — Written reports shall be prepared as agreed upon between the testing agency/ department and the purchaser/user.

22. Acceptance Standards

22.1 The acceptability of parts examined by this method is not specified herein. Acceptance standards are a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser and should be stated in a referenced contract, specification, or code.

23. Safety

23.1 Those involved with hands-on magnetic particle examination exposure to hazards include:

23.1.1 *Electric Shock and Burns* — Electric short circuits can cause shock and particularly burns from the high amperages at relatively low voltages that are used.

Equipment handling water suspensions should have good electrical grounds.

23.1.2 Flying Particles — Magnetic particles, particularly the dry ones, dirt, foundry sand, rust, and mill scale can enter the eyes and ears when they are blown off the part when applying them to a vertical or overhead surface or when cleaning an examined surface with compressed air. Dry particles are easy to inhale and the use of a dust respirator is recommended.

23.1.3 Falls — A fall from a scaffold or ladder if working on a large structure in the field or shop.

23.1.4 Fire — Ignition of a petroleum distillate bath.

23.1.5 Environment — Doing magnetic particle examination where flammable vapors are present as in a petrochemical plant or oil refinery. Underwater work has its own set of hazards.

23.1.6 Wet Floors — Slipping on a floor wetted with a particle suspension.

23.1.7 Shifting or Dropping of Large Components — Large components, especially those on temporary supports, can shift during examination or fall while being lifted. In addition, operators should be alert to the possibility of injury to body members being caught beneath a sling/chain or between head/tail stock and the piece.

23.1.8 Ultraviolet Light Exposure — Ultraviolet light in excess of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ can adversely affect the

eyes and skin. Safety goggles designed to absorb UV wavelength radiation are suggested where high intensity blacklight is used.

23.1.9 Materials and Concentrates — The safe handling of magnetic particles and concentrates are governed by the supplier's Material Safety Data Sheets (MSDS). The MSDS conforming to 29 CFR 1910.1200 or equivalent must be provided by the supplier to any user and must be prepared in accordance with FED-STD-313.

24. Precision and Bias

24.1 The methodology described in the practice will produce repeatable results provided:

24.1.1 The strength of the magnetic flux field in the part/piece is confirmed and,

24.1.2 The field has the proper orientation with respect to the discontinuities being sought.

24.2 It must be recognized that the surface condition of the material being examined, the material's magnetic properties, its shape, and control of the factors listed in 20.1 influence the results obtained.

25. Keywords

25.1 dye; evaluation; examination; fluorescent; inspection; magnetic particle; nondestructive; testing

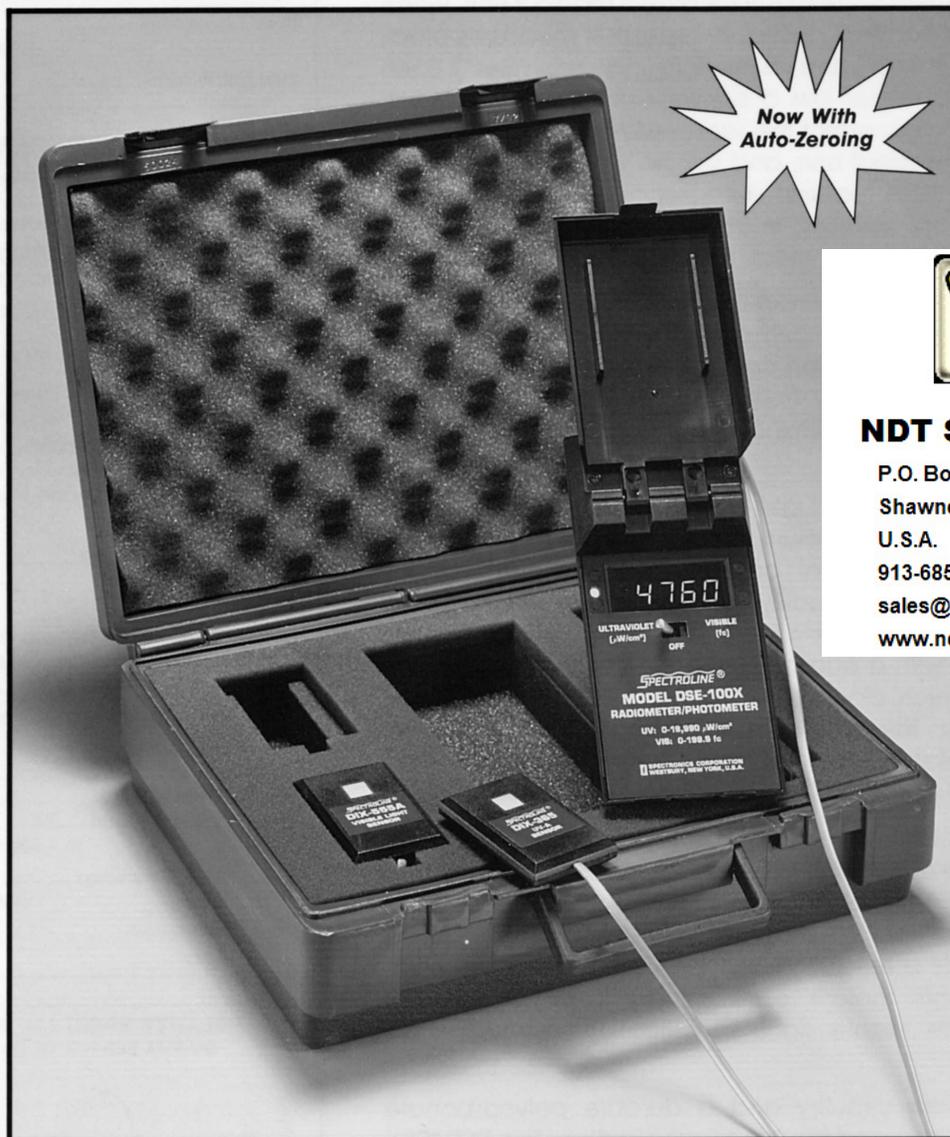
ANEXO C:

**HOJA DE DATOS DEL
KIT FOTÓMETRO**

NEW AND IMPROVED!

SPECTROLINE®

DSE-100X Radiometer/Photometer
Measures Both Visible and Black Light



**Now With
Auto-Zeroing**



NDT Supply.com, Inc.

P.O. Box 7350

Shawnee Mission, KS 66207-0350

U.S.A.

913-685-0675, fax: 913-685-1125

sales@ndtsupply.com

www.ndtsupply.com

*Finally, one convenient meter can assure your compliance with MIL and ASTM standards for **both** visible and black light. Perfect for NDT and QC inspection, the cost-effective DSE-100X does it all. It provides readings in footcandles **and** microwatts per square centimeter—with **unmatched** accuracy and reliability!*

*Manufactured for high performance by Spectronics Corporation...
the world leader in UV technology since 1955*

The Spectroline Model DSE-100X Radiometer/Photometer is uniquely designed to measure *both visible and black light* (long wave UV). It features an unmatched overall accuracy of better than $\pm 5\%$, traceable to NIST, over its *entire* measurement range. This versatile system assures compliance with both MIL and ASTM standards, making it a necessity for effective FPI and MPI. It is approved by GE, Pratt & Whitney, Rolls-Royce, Boeing, the U.S. Navy and many other companies.

Central to the system is the DSE-100X digital readout unit. When used with two separately available sensors, it measures black light (in microwatts/cm²) and visible light (in footcandles*). Each interchangeable sensor has a convenient 3-foot cord with a modular jack. Simply select the sensor which suits your needs, plug it into the readout unit, and set the wavelength selector switch. The DSE-100X features auto-zeroing and ultra-reliable electronic circuitry, resulting in improved linearity and better signal-to-noise ratio in the measurements.

Because the DSE-100X is direct reading on both the UV and visible scales, it is unlike competitive meters which require measuring range conversion computations. With its simplified dual-measuring capability, from 0-19,990 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ or 0-199.9 fc, this cost-effective system eliminates the need for two separate meters.

The Model DIX-365 Black Light Sensor is calibrated by pyro-electric methods for maximum precision. To ensure the most closely controlled spectral coverage possible, this sensor uniquely features a high-quality interference filter. The *new and improved* Model DIX-555A Visible Light Sensor is calibrated photometrically with a quartz-halogen lamp and has a spectral response which closely follows the CIE relative photopic luminosity curve. The electro-optic circuitries in the sensors provide excellent signal-to-noise ratio. A certificate of calibration is provided with each sensor and readout unit.

For ease of operation, the DSE-100X readout unit features a simple-to-read 3 1/2/4 1/2 digit LED display for direct visible and black light readings that are easy to see, even in low levels of ambient light. Perfect for Type 1, "Darkened Booth" inspections, the DSE-100X has a resolution of 1 part in 1,999. Unlike competitive units, this meter's extraordinary sensitivity assures compliance with visible light specifications to within 0.1 footcandle.

Reliable solid-state circuitry and a durable polycarbonate housing ensure long and trouble-free operation. The DSE-100X is powered by four "AA" alkaline or NiCad batteries and features a battery-level indicator light for fail-safe usage. It has excellent linearity and cosine response. The optional Model DR-75 Carrying Case holds one readout unit and up to four sensors.

The DSE-2000 System provides everything you need for visible and black light measurements. It contains the DSE-100X readout unit along with the DIX-365 and DIX-555A sensors, all packed inside the DR-75 plastic carrying case.

SPECTRONICS CORPORATION
 956 Brush Hollow Road, P.O. Box 483
 Westbury, New York 11590
 (Tel.) 516-333-4840 • (Fax) 516-333-4859
 Call Toll-Free 1-800-274-8888

Technical Data

Readout Unit Specifications

Display.....	4 1/2 digit LED for black light 3 1/2 digit LED for visible light
Conversion Rate.....	3 readings per second nominal
Resolution.....	1 part in 1999
Temperature Coefficient.....	$\pm 0.025\%$ of reading + 0.1 digit / °C (0 to 50 °C)
Case Dimensions.....	7 1/4 L x 3 1/2 W x 2 "H (18.4L x 9.0W x 5.1cmH)
Total Net Weight.....	1 lb. (0.45kg)

Sensor Head Specifications

Overall Accuracy.....	Better than $\pm 5\%$ with reference to NIST standards
Spectral Ranges.....	320-400nm for black light 380-760nm for visible light
Measuring Ranges.....	0-19,990 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ for black light 0-199.9 fc for visible light
Resolution.....	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ for black light 0.1 fc for visible light
Filters.....	High-quality, vacuum-deposited, interference type for black light. Color band-pass filter** for visible light.
Angular Response.....	Cosine
Temperature Coefficient.....	$\pm 0.20\%$ / °C (0 to 50 °C)

Power Requirements:

- 4 nonrechargeable "AA" size, 1.5 volt Alkaline battery cells are included as standard
- 4 rechargeable "AA" size, 1.25 volt NiCad battery cells and recharger are available as an option

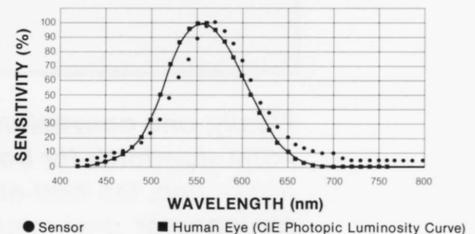
Reference Conditions:

- Temperature.....23 °C ± 1 °C
- Relative Humidity.....30 to 60%
- Atmospheric Pressure.....575 to 800mm Hg
to 7,500 ft. (2,286m) altitude

Sensor Head Dimensions.....3L x 2W x 1/2"H
(7.6L x 5.1W x 1.3cmH)

Sensor Cord Length.....3 ft. (0.9m)

RELATIVE SPECTRAL RESPONSE DIX-555A SENSOR VS. HUMAN EYE



*The DSE-100X/L and DIX-555A/L versions are also available, which provide visible light readings in lux rather than footcandles.

**Corrected to match the

DISTRIBUTED BY:



NDT Supply.com, Inc.

P.O. Box 7350
 Shawnee Mission, KS 66207-0350
 U.S.A.
 913-685-0675, fax: 913-685-1125
 sales@ndtsupply.com
 www.ndtsupply.com

ANEXO D:

**HOJA DE VIDA DEL
GRADUADO**

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

NOMBRE: Valverde Amagua Cristian Fernando

NACIONALIDAD: Ecuatoriana

FECHA DE NACIMIENTO: 11 de Noviembre de 1989

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 172229433-5

TELÉFONOS: 022855-565 / 0984044991

CORREO ELECTRÓNICO: crisej_11@hotmail.com

DIRECCIÓN: Uyumbicho Barrio Villa Lola



ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA: Escuela "Isidro Ayora"

SECUNDARIA: Colegio Nacional "Juan de Salinas"

SUPERIOR: Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico

TÍTULOS OBTENIDOS

Bachiller en Ciencias especialidad Físico Matemático

EXPERIENCIA PROFESIONAL O PRÁCTICAS PRE PROFESIONALES

FUERZA TERRESTRE ECUATORIANA

Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército

FUERZA AÉREA ECUATORIANA

Escuadrón de Mantenimiento 2323 Súper Tucano

TAME LÍNEA AÉREA DEL ECUADOR

CURSOS Y SEMINARIOS

Suficiencia en el Idioma Inglés

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA
EL AUTOR**

Valberde Amagua Cristian Fernando

DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**Ing. Atencio Hebert
Subs. Téc. Avc.**

Latacunga, 19 de Noviembre del 2012

CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, VALBERDE AMAGUA CRISTIAN FERNANDO, Egresado de la carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Aviones, en el año 2012, con Cédula de Ciudadanía N° 172229433-5, autor del Trabajo de Graduación **ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CAPACITACIÓN DE NDI PARA LOS MÉTODOS: TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT FOTÓMETRO, INDICADOR DE FLUJO MAGNÉTICO Y PIE GAGE**, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

Valberde Amagua Cristian Fernando

Latacunga, 19 de Noviembre del 2012