

**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO DE PARTICULAS MAGNETICAS PARA  
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

**YEISON MAURICIO CORREA MARTINEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2014**

**DISEÑO Y FABRICACION DE EQUIPO DE PARTICULAS MAGNETICAS PARA  
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

**YEISON MAURICIO CORREA MARTINEZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
MECÁNICA INDUSTRIAL**

**ASESOR  
ING. ALFONSO LUIS AGUDELO VEGLIANTE**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2014**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a nuestros padres, hermanos, profesores y amigos que con su apoyo incondicional han hecho posible que nuestras vidas estén llenas de gozo y satisfacción personal; en una lucha constante por sacar adelante nuestras carreras.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradecemos a nuestros padres por habernos brindado la oportunidad de estudiar en esta Institución, por su lucha inagotable en los momentos difíciles donde se veía comprometida nuestra estancia en la misma.

De igual manera agradecemos a todos los profesores por compartir sus conocimientos sin esperar nada a cambio, pero con la convicción de ver en nosotros los profesionales del mañana.

## CONTENIDO

Pág.

CONTENIDO .....	5
INTRODUCCIÓN .....	15
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
2 JUSTIFICACIÓN.....	17
3 OBJETIVOS.....	18
3.1 GENERAL .....	18
3.2 ESPECÍFICOS.....	18
4 MARCO TEÓRICO .....	19
4.1 LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	19
4.2 ANTECEDENTES.....	19
4.3 OBJETIVOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	21
4.3 TIPOS DE PRUEBAS.....	22
4.4.1 Pruebas no destructivas superficiales .....	23
4.4.2 Pruebas no destructivas de hermeticidad.....	27
4.4.3 Pruebas no destructivas volumétricas .....	27
4.5 MÉTODOS PARA REALIZAR Y APLICAR EL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNÉTICAS.....	32
4.5.1 Normas de referencia .....	32
4.5.2 Inspección con partículas magnéticas.....	32
4.5.3 Principios Básicos .....	34
4.5.4 Etapas para la inspección .....	37
5 PROCEDIMIENTO.....	42

6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	44
7 CONCLUSIONES .....	45
8 PLANOS .....	46
9 RECOMENDACIONES .....	48
10 ANEXOS.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Aplicación típica del método de corrientes de Eddy.	28
Figura 2. Aplicación típica del método de radiografía.	29
Figura 3. Flujo del campo magnético.	35
Figura 4. Perturbación o fuga del campo magnético.	37
Figura 5. Magnetización entre cabezales.	38

## LISTADO DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto 1. Medición de altura de filete con galgas AWS.	24
Foto 2. Inspección con líquidos penetrantes a tubería de acueducto American Pipe en acero al carbono.	26
Foto 3. Inspección con partículas magnéticas a tubería de acueducto American Pipe en acero al carbono.	27
Foto 4. Inspección de materiales con ultrasonido industrial.	32
Foto 5. Magnetización de la pieza por medio de yugo y aplicación de las partículas coloreadas.	39
Foto 6. Falta de fusión, método partículas secas coloreadas.	41
Foto 7. Grieta encontrada en pieza, método partículas húmedas fluorescentes.	42



## LISTADO DE PLANOS

	<b>Pág.</b>
Plano 1. Isométrico del equipo.	47
Plano 2. Vistas generales del equipo.	48

## LISTADO DE ANEXOS

**Pág.**

Anexo 1. Norma ASTM E 1444. Práctica Recomendada para el Examen por Partículas Magnéticas.

## GLOSARIO

**GRIETA:** Abertura o quiebra que surge de forma natural en alguna superficie.

**FUSIÓN:** Unión de dos o más partes por la acción del calor.

**INSPECCIÓN:** hace referencia a la acción y efecto de inspeccionar (examinar, investigar, revisar). Se trata de una exploración física que se realiza principalmente a través de la vista. El objetivo de una inspección es hallar características físicas significativas para determinar cuáles son normales y distinguirlas de aquellas características anormales.

**CATÓDICO:** Relativo al electrodo negativo.

**EMULSIÓN:** Líquido que tiene en suspensión pequeñísimas partículas de sustancias insolubles en agua.

**BOBINA:** la bobina por su forma (espiras de alambre arrollados) almacena energía en forma de campo magnético. Todo cable por el que circula una corriente tiene a su alrededor un campo magnético generado por la mencionada corriente, siendo el sentido de flujo del campo magnético el que establece la “**ley de la mano derecha**” .Al estar la bobina hecha de espiras de cable, el campo magnético circula por el centro de la bobina y cierra su camino por su parte exterior.

**PERMEABILIDAD:** es la capacidad que tiene un material de permitirle que un flujo magnético lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, es impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

**MAGNETISMO:** es un fenómeno físico por el cual los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. Hay algunos materiales conocidos que han presentado propiedades magnéticas detectables fácilmente como el níquel, hierro, cobalto y sus aleaciones que comúnmente se llaman imanes. Sin embargo todos los materiales son influidos, de mayor o menor forma, por la presencia de un campo magnético.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Referencia tomada de: Algunas definiciones de ingeniería. Recuperado el (15 de Agosto de 2014) disponible en: <http://www.wordreference.com/definicion>.

## **RESUMEN**

Este trabajo se basa en la utilización de ensayos no destructivos como lo son las partículas magnéticas para detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. La falla es el daño de una pieza que no le permite continuar en servicio, causando la sustitución prematura de los componentes. Las fallas de los materiales pueden producirse por defectos de fabricación, errores de operación o inadecuada selección de materiales.

Con el diseño y fabricación de este equipo de partículas magnéticas para ensayos no destructivos, se pretende crear una herramienta que permita a los estudiantes de la Institución conocer más a fondo sobre estos ensayos, ensayos de gran utilidad en la industria tanto en sus procesos de fabricación como en equipos y elementos en servicio. Dicha herramienta constituye un avance significativo en afianzar a los estudiantes a los procesos reales en la industria.

### **Palabras Claves:**

Ensayos no destructivos, partículas magnéticas, grieta, magnetización, ferromagnetismo.

## **ASBTRACT**

This work is based on the use of non -destructive testing such as magnetic particles for detecting surface and subsurface discontinuities in ferromagnetic materials. The failure is damage to a part that does not allow him to continue in service, causing premature replacement of components. Failures of materials may occur due to manufacturing defects, operating errors or improper material selection.

With the design and manufacture of this equipment magnetic particle NDT, is to create a tool that allows students of the institution to know further about these assays, useful in industry both in manufacturing processes and equipment and service elements. This tool is a significant step in strengthening students to the real processes in the industry.

### **Keyword:**

Non-destructive testing, magnetic particle, crack, magnetization, ferromagnetism.

## INTRODUCCIÓN

Los Ensayos No Destructivos (END) aparecen como una expresión de la actividad inteligente del hombre en sus primeros deseos de dominar y transformar la naturaleza.

El propósito de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas.

Cada día los proyectos de ingeniería tienen un objetivo principal: garantizar la seguridad e integridad de las estructuras de acero soldadas, convirtiéndola en una de las herramientas más importantes en el control de calidad (para evitar una eventual falla).

La realización de este equipo de partículas magnéticas constituye una herramienta excepcional para la enseñanza de estos Ensayos no Destructivos, ensayos de gran uso a nivel industrial, y que además, contribuye a la Institución Universitaria Pascual Bravo un adelanto en su afán por mejorar la competitividad y su nivel académico.

El objetivo con el cual se pretende realizar este trabajo es brindarles a los estudiantes de la Institución mayor facilidad de aprendizaje y un acercamiento a los procesos industriales reales.

## **1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Institución Universitaria Pascual Bravo cuenta con laboratorios para ofrecerles a los estudiantes alternativas de realizar sus prácticas en los distintos ámbitos durante su preparación académica.

El problema se encuentra en que los laboratorios de soldadura y resistencia de materiales de dicha Institución cuentan con tan solo un equipo de partículas magnéticas para ensayos no destructivos y, además, no cuenta con personal capacitado para la operación de dicho equipo ni tampoco con manuales e instructivos de uso y aplicación de los ensayos. Ensayos que cobran gran importancia a nivel industrial en el mejoramiento de los procesos de uniones soldadas y en la detección de piezas y componentes defectuosos.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Será de gran utilidad en el proceso de enseñanza de los Ensayos Destructivos?

¿Aumentará la competitividad de la Institución?

¿Su funcionamiento se verá afectado por factores propios de la Institución?



## 2 JUSTIFICACIÓN

El equipo de partículas magnéticas para realizar los ensayos no destructivos, constituye una estrategia novedosa educativa y tecnológica que servirá como apoyo para el docente en la enseñanza de los materiales y sus propiedades, para la verificación de la calidad de los procesos de soldadura; y en los estudiantes para el proceso de aprendizaje.

Este proyecto constituye una solución a la escasez de herramientas y de prácticas, indispensables para la formación de los estudiantes.

Con éste proyecto se pretende que los estudiantes de Mecánica y programas afines, tengan la opción de un aprendizaje teórico – práctico en donde encuentren las herramientas necesarias que los lleve a la experimentación, con un equipo e instrumentos reales para corroborar la parte teórica.

El proceso de enseñanza y de aprendizaje se sustenta en un proceso comunicacional donde alguien quiere compartir al otro algún concepto que sea incorporado por éste y que le signifique posteriormente una ayuda para resolver algún problema y, al mismo tiempo éste último retribuya al emisor inicial para que se construya un ciclo de cooperación mutua, donde uno forme y acompañe y otro aprenda y crezca. Así, con la fabricación del equipo de partículas magnéticas, los docentes tendrán mayor facilidad para transmitir el conocimiento hacia los alumnos.

Finalmente, la Institución tendrá un mejor nivel académico y su imagen no se verá afectada ya que los estudiantes no necesitarán desplazarse a otras instituciones. Es válido apuntar que, a futuro, la Institución podrá ofrecer los servicios del equipo a otras entidades educativas y empresas.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 GENERAL**

Diseñar y fabricar un equipo de partículas magnéticas para la Institución Universitaria Pascual Bravo, que permita a los estudiantes adquirir el conocimiento directo y real para realizar ensayos de tipo no destructivo.

### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Identificar las normas y requerimientos que regulan la fabricación de un equipo de Partículas Magnéticas.
- Seleccionar los instrumentos y herramientas necesarias para la fabricación del equipo.
- Diseñar plano del equipo.
- Realizar manuales de procedimientos y normas de uso del equipo.

## **4 MARCO TEÓRICO**

### **4.1 LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de non destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

Se denomina así a toda prueba que se realice sobre un material sin afectarlo metalúrgicamente no mecánicamente, se realizan con el fin de determinar el estado geométrico, mecánico o químico de la pieza para verificar si cumple con las reglas de aplicación que correspondan, ejemplo de ellos son: Radiografiado de cordones de soldadura (rayos x), tintas penetrantes, partículas magnéticas, medición de espesores por medios ultrasónicos.

### **4.2 ANTECEDENTES**

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras

inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las PND una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre las PND, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano.

A continuación se proporcionan una serie de fechas relacionadas con acontecimientos históricos, descubrimientos, avances y aplicaciones, de algunas pruebas no destructivas.

- 1868 Primer intento de trabajar con los campos magnéticos.
- 1879 David Hughes establece un campo de prueba.
- 1879 David Hughes estudia las Corrientes Eddy.
- 1895 Wilhelm Röntgen estudia el tubo de rayos catódicos.
- 1895 Wilhelm Röntgen descubre los Rayos X.
- 1896 Henri Becquerel descubre los Rayos gamma.
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC.

- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT.
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos.
- 1930 Theodore Zuschlag patenta las Corrientes Eddy.
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado.
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes.
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido.
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria.

La entidad que reúne a todas las instituciones debidamente constituidas es el Comité Internacional de Ensayos No Destructivos (ICNDT, por sus siglas en inglés) con sede en Viena.

La globalización en los mercados mundiales ha marcado el desarrollo de los ensayos no destructivos, los cuales tienen ya un alcance en cada rincón del planeta, y actualmente existen sociedades de ensayos no destructivos en la mayoría de los países como por ejemplo, La Sociedad Argentina de Ensayos No Destructivos (AAENDE), El Instituto Australiano para Ensayos No Destructivos (AINDT), La Sociedad Austriaca de Ensayos No Destructivos (OGFZP), La Asociación Belga de Ensayos No Destructivos (BANT), La Sociedad Brasileña de Ensayos No Destructivos (ABENDE), La Sociedad Canadiense de Ensayos No destructivos (CSNDT), La Sociedad China para Ensayos No Destructivos (ChSNDT), El Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C. (IMENDE A.C., Asociación Mexicana de Ensayos No Destructivos (AMEXEND A.C.).<sup>2</sup>

### **4.3 OBJETIVOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

---

<sup>2</sup> Referencia tomada de: Ensayos no Destructivos. De la página 21 a la 23. Recuperado el (26 de Agosto de 2014) disponible en: <http://ejemplon.com/ensayos-no-destructivos/>.

El propósito de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes e partes fabricadas.

Los métodos de END, permiten el control del 100% de una producción y pueden obtener información de todo el volumen de una pieza, con lo que contribuyen a mantener un nivel de calidad uniforme, con la consiguiente conservación y aseguramiento de la calidad funcional de los sistemas y elementos. Además colaboran en prevenir accidentes, ya que se aplican en mantenimiento y en vigilancia de los sistemas a lo largo del servicio.

Por otra parte proporcionan beneficios económicos directos e indirectos. Beneficios directos, por la disminución de los costos de fabricación, al eliminar en las primeras etapas de fabricación, los productos que serían rechazados en la inspección final, y el aumento de la productividad, por reducirse el porcentaje de productos rechazados en dicha inspección final.

Entre los beneficios indirectos se pueden citar su contribución a la mejora de los diseños, por ejemplo, demostrando la necesidad de realizar un cambio de diseño de molde en zonas críticas de piezas fundidas o también contribuyendo en el control de procesos de fabricación.

#### **4.3 TIPOS DE PRUEBAS**

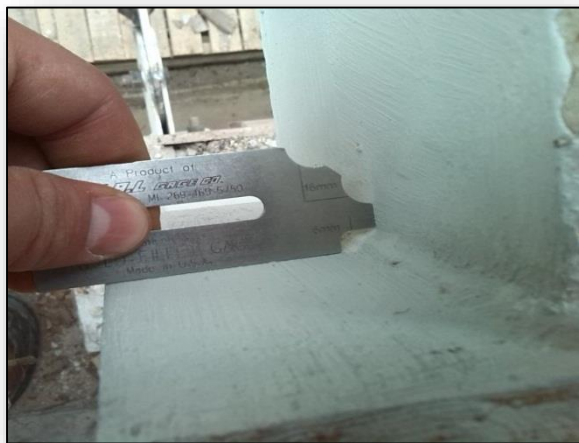
#### 4.4.1 Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

➤ **Inspección Visual (VT)**

Esta es una técnica que requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para una aceptada interpretación de las posibles indicaciones. Esta ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza.

**Foto 1.** Medición de altura de filete con galgas AWS (Arc Welding Society).



➤ **Líquidos penetrantes (PT)**

La inspección por líquidos penetrantes es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados. Generalmente se emplea en aleaciones no ferrosas, aunque también se puede utilizar para la inspección de materiales ferrosos cuando la inspección por partículas magnéticas es difícil de aplicar. En algunos casos se puede utilizar en materiales no metálicos. 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 remueve 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.

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. Se pueden inspeccionar materiales metálicos, cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos, entre otros. Una de las desventajas que presenta este método es que sólo es aplicable a defectos superficiales y a materiales no porosos.

**Foto 2.** Inspección con líquidos penetrantes a tubería de acueducto American Pipe en acero al carbono.





➤ **Partículas Magnéticas (MT)**

La prueba de partículas magnéticas es un método de prueba no destructivo para la detección de imperfecciones sobre o justamente debajo de la superficie de metales ferrosos que también se puede aplicar en soldadura. Es una técnica rápida y confiable para detección y localización de grietas superficiales.

Un flujo magnético es enviado a través del material y en el lugar de la imperfección se forma un campo de fuga que atrae el polvo de hierro que se rocía sobre la superficie, así la longitud de la imperfección puede ser determinada de forma muy confiable. Criterios de aceptación definen si la indicación es o no aceptable, es decir si se trata de un defecto o no.

En el ensayo no destructivo de partículas magnéticas inicialmente se somete a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y se espolvorea partículas finas de material ferromagnético. Es un tipo de ensayo no destructivo que permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferro-

magnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida con los líquidos penetrantes.

**Foto 3.** Inspección con partículas magnéticas a tubería de acueducto American Pipe en acero al carbono.

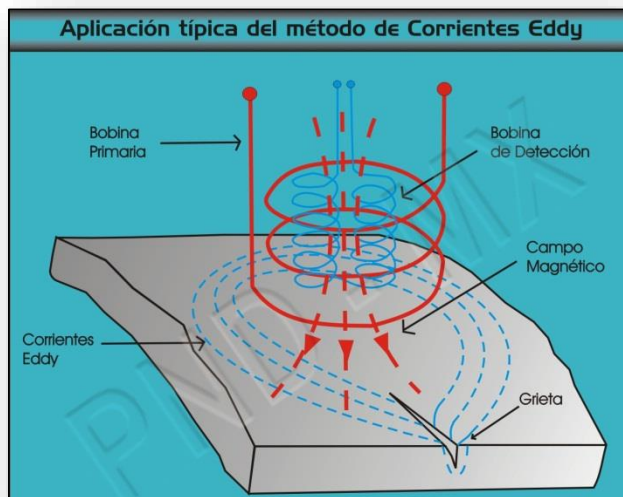


➤ **Electromagnetismo (ET)**

El electromagnetismo anteriormente llamado corrientes de Eddy o de Foucault se emplea para inspeccionar materiales que sean electro conductores, siendo especialmente aplicable aquellos que no son ferromagnéticos. La inspección por corriente EDDY, está basada en el efecto de inducción electromagnética. Ver figura 1.

En el caso de utilizar VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).

**Figura 1.** Aplicación típica del método de corrientes de Eddy.



#### **4.4.2 Pruebas no destructivas de hermeticidad**

Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control.

Los métodos de PND de hermeticidad son:

- Pruebas de Fuga.
- Pruebas por Cambio de Presión (Neumática o hidrostática).
- Pruebas de Burbuja.
- Pruebas por Espectrómetro de Masas Pruebas de Fuga con Rastreadores de Halógeno.

#### **4.4.3 Pruebas no destructivas volumétricas**

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND volumétricos son:

➤ **Radiografía Industrial (RT)**

Una radiografía es una imagen registrada en una placa o película fotográfica. La imagen se obtiene al exponer dicha placa o película a una fuente de radiación de alta energía, comúnmente rayos X o radiación gamma procedente de isótopos radiactivos (Iridio 192, Cobalto 60, Cesio 137, entre otros). Al interponer un objeto entre la fuente de radiación y la placa o película las partes más densas aparecen con un tono más o menos gris en función inversa a la densidad del objeto. Por ejemplo: si la radiación incide directamente sobre la placa o película, se registra un tono negro. Sus usos pueden ser tanto médicos, para detectar fisuras en huesos, como industriales en la detección de defectos en materiales y soldaduras tales como grietas, poros, "rechupes", entre otros.

**Figura 2.** Aplicación típica del método de radiografía.



La radiografía industrial de Molgilner ensayo no destructivo de tipo físico utilizado para inspeccionar materiales en busca de discontinuidades macroscópicas y

variaciones en su estructura interna. La radiación electromagnética de onda corta tiene la propiedad de poder penetrar diversos materiales sólidos, por lo que al utilizarla se puede generar una imagen de la estructura interna del material examinado. El principio de esta técnica consiste en que cuando la energía de los rayos X o gamma atraviesa una pieza, sufre una atenuación que es proporcional al espesor, densidad y estructura del material inspeccionado. Posteriormente, la energía que logra atravesar el material es registrada utilizando una placa fotosensible, de la cual se obtiene una imagen del área en estudio.

Los rayos x son una forma electromagnética (como una luz) que contiene una gran energía y por ello, es posible que penetre en el cuerpo humano, produciendo así, una imagen en una placa de fotografía durante este paso, las radiaciones se modifican, entonces, al pasar por estructuras de gran densidad como el hueso, la imagen que se producirá en la placa será de color blanco y si atraviesa estructuras con aire se formara una imagen de color negro. Los colores dependerán de la densidad de las estructuras.

- Se basa en la absorción diferencial de la radiación por los materiales.
- Peligrosa para los seres vivos.
- Da un registro permanente.<sup>3</sup>
  
- **Ultrasonido industrial (UT)**

La inspección por ultrasonido se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de

---

<sup>3</sup> Referencia tomada de: FRANCO GIMENO, José. Ensayos no destructivos para la industria y la construcción. España: Practicas universitarias de Zaragoza, 2002. De la página 23 a la 31. Recuperado el (05 de Septiembre de 2014) disponible en: <http://www.casadellibro.com/libro-ensayos-no-destructivos-para-industria-y-construccion/9788477335221/672646>.

propagación del sonido entre la densidad del material. Cuando se inventó este procedimiento, se medía la disminución de intensidad de energía acústica cuando se hacían viajar ondas supersónicas en un material, requiriéndose el empleo de un emisor y un receptor.

Actualmente se utiliza un único aparato que funciona como emisor y receptor, basándose en la propiedad característica del sonido de reflejarse al alcanzar una interface acústica.

Los equipos de ultrasonido que se utilizan actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas, dependiendo del tipo de palpado utilizado y de las frecuencias que se seleccionen dentro de un rango que va desde 0.25 hasta 25 MHz.

Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico denominado transductor y que tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.

Al ser excitado eléctricamente el transductor vibra a altas frecuencias generando ultrasonido. Las vibraciones generadas son recibidas por el material que se va a inspeccionar, y durante el trayecto la intensidad de la energía sónica se atenúa proporcionalmente a la distancia del recorrido. Al alcanzar la frontera del material, el haz sónico es reflejado, y se recibe el eco por otro (o el mismo) transductor. Su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio de rayos catódicos.

**Foto 4.** Inspección de materiales con ultrasonido industrial.



### ➤ Emisión Acústica (AE)

Es un método de inspección de carácter mecánico y se basa en la emisión de pulsos definidos que se propagan en el material de forma radial a la velocidad de sonido. Con lo anterior se detectan y miden, a través de instrumentos de AET, las ondas elásticas que se crea en forma espontánea en los puntos de un material que se somete a esfuerzo físico y al que se deforma de manera plástica. Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Referencia tomada de: Ensayos no Destructivos. De la página 32 a la 33. Recuperado el (05 de Agosto de 2014) disponible en: <http://chirinossilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/trabajo-de-ensayos-no-destructivos.pdf>.

## **4.5 MÉTODOS PARA REALIZAR Y APLICAR EL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNÉTICAS**

### **4.5.1 Normas de referencia**

- Código ASME Sección V, Artículos 7.
- ANSI / ASTM E-1444. Práctica Recomendada para el Examen por Partículas Magnéticas.
- ASNT SNT-TC-1A - Recommended Practice for Personal Qualification and Certification in Nondestructive Testing.

### **4.5.2 Inspección con partículas magnéticas**

El ensayo de Partículas Magnéticas es uno de los más antiguos que se conoce, encontrando en la actualidad, una gran variedad de aplicaciones en las diferentes industrias. Es aplicable únicamente para inspección de materiales con propiedades ferromagnéticas, ya que se utiliza fundamentalmente el flujo magnético dentro de la pieza, para la detección de discontinuidades.

Mediante este ensayo se puede lograr la detección de defectos superficiales y sub-superficiales (hasta 3 mm 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.

La aplicación del ensayo de Partículas Magnéticas consiste básicamente en magnetizar la pieza a inspeccionar, aplicar las partículas magnéticas (polvo fino de



limaduras de hierro) y evaluar las indicaciones producidas por la agrupación de las partículas en ciertos puntos. Este proceso varía según los materiales que se usen, los defectos a buscar y las condiciones físicas del objeto de inspección.

Para la magnetización se puede utilizar un banco estacionario, un yugo electromagnético, electrodos o un equipo portátil de bobina flexible, entre otros. Se utilizan los diferentes tipos de corrientes (alterna, directa, semi-rectificada, entre otros), según las necesidades de cada inspección. El uso de imanes permanentes ha ido desapareciendo, ya que en éstos no es posible controlar la fuerza del campo y son muy difíciles de manipular.

Para realizar la inspección por Partículas Magnéticas existen varios tipos de materiales que se pueden seleccionar según la sensibilidad deseada, las condiciones ambientales y los defectos que se quieren encontrar. Las partículas magnéticas pueden ser:

➤ **Secas**

Fluorescentes y visibles (varios colores).

➤ **Húmedas**

Fluorescentes y visibles (varios colores).

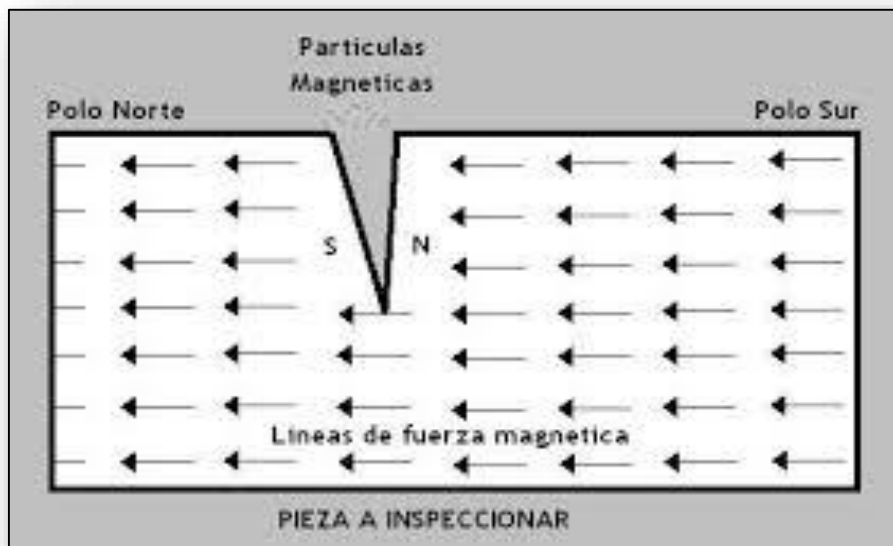
Los métodos de magnetización y los materiales se combinan de diferentes maneras según los resultados deseados en cada prueba y la geometría del objeto a inspeccionar.

### 4.5.3 Principios Básicos

Cuando se estudia el comportamiento de un imán permanente, se puede observar que éste se compone por dos polos, Norte y Sur, los cuales determinan la dirección de las líneas de flujo magnético que viajan a través de él y por el espacio que lo rodea, siendo cada vez más débiles con la distancia.

Si cortamos el imán en dos partes, observaremos que se crean dos imanes nuevos, cada uno con sus dos polos, Norte y Sur, y sus correspondientes líneas de flujo magnético. Esta característica de los imanes es la que permite encontrar las fisuras abiertas a la superficie, y los defectos internos en una pieza, como se explicará a continuación.

**Figura 3.** Flujo del campo magnético.



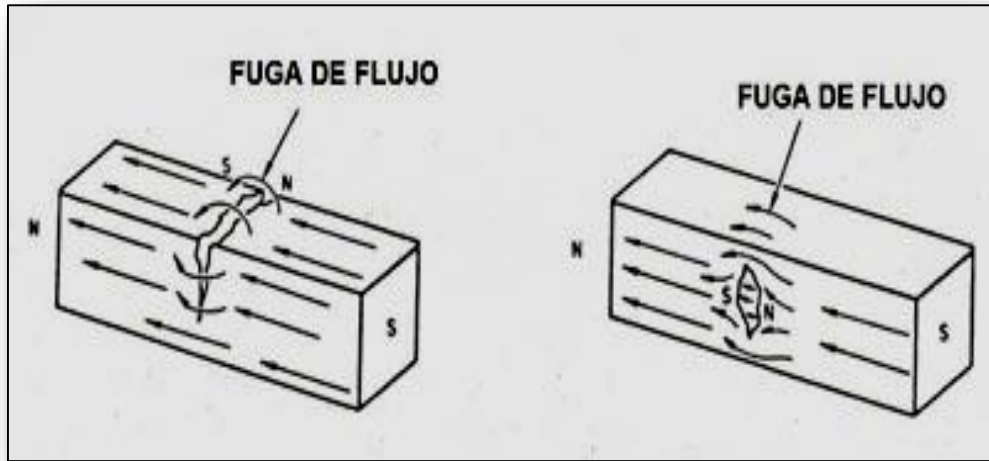
La magnetización de un material ferromagnético se puede lograr mediante la inducción de un campo magnético fuerte, desde una fuente externa de magnetización (un electroimán), o mediante el paso de corriente directamente a través de la pieza. La fuerza del campo generado es resultado de la cantidad de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

La perturbación o fuga del campo magnético se genera por la formación de dos polos pequeños N y S en los extremos del defecto (fisura, poro, inclusión no-metálica, entre otros). En la figura 6 se muestra este efecto.

**Figura 4.** Perturbación o fuga del campo magnético.



Al igual que en la mayoría de los Ensayos No Destructivos, en la inspección con Partículas Magnéticas intervienen muchas variables (corriente eléctrica, dirección del campo, tipo de materiales usados, etc.), las cuales deben ser correctamente manejadas por el inspector para obtener los mejores resultados. Por esta razón las normas MIL, ASTM, API, AWS y ASME entre muchas otras, y los manuales de mantenimiento de las aeronaves, exigen la calificación y certificación del personal que realiza este tipo de pruebas, con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados y así contribuir a la calidad del producto. Entre las regulaciones más conocidas de certificación de personal se encuentran: NAS-410, ISO 9712, SNT-TC-1A, ANSI/ASNT CP-189 y EN-473.<sup>5</sup>

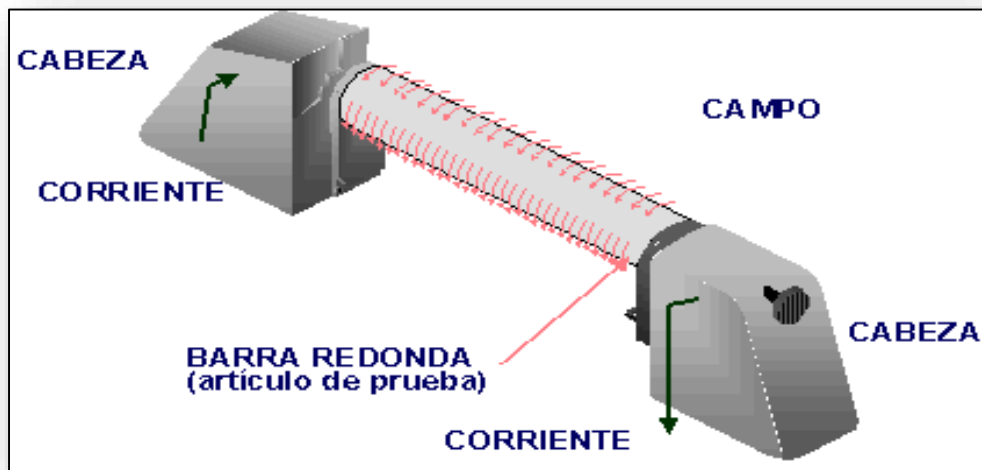
Actualmente existen 32 variantes del método, que al igual que los líquidos penetrantes sirven para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad. Algunas de ellas son:

---

<sup>5</sup> Referencia tomada de: Inspección con Partículas Magnéticas. De la página 47 a la 52. Recuperado el (08 de Agosto de 2014) disponible en: <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=55>.

- Magnetización por yugo.
- Magnetización por bobina.
- Magnetización con puntas de contacto.
- Magnetización entre cabezales.

**Figura 5.** Magnetización entre cabezales.



#### 4.5.4 Etapas para la inspección

Las etapas básicas involucradas en la realización de una inspección por este método son:

- **Limpieza**

Todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. La expresión "limpia" quiere decir que la superficie se encuentre libre de aceite, grasa, suciedad,

arena, óxido, cascarilla suelta u otro material extraño, el cual pueda interferir con el ensayo.

➤ **Magnetización de la pieza**

Este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza. El tipo de magnetización a emplear depende del tipo de pieza, las instalaciones existen en la empresa, el tipo de discontinuidad y la localización de la misma.

**Foto 5.** Magnetización de la pieza por medio de yugo y aplicación de las partículas coloreadas.



➤ **Corriente de magnetización**

Se seleccionará en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar sólo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente

alterna, ya que ésta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades sub-superficiales.

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y sub-superficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que esta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza.

### ➤ **Forma de Magnetizar**

La forma de magnetizar es también importante, ya que conforme a las normas comúnmente adoptadas, la magnetización con yugo sólo se permite para la detección de discontinuidades superficiales. Los yugos de AC o DC producen campos lineales entre sus polos y por este motivo tienen poca penetración. Otra técnica de magnetización lineal es emplear una bobina (solenoides). Si se selecciona esta técnica, es importante procurar que la pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina; problema que se elimina al enredar el cable de magnetización alrededor de la pieza. Entre mayor número de vueltas (espiras) tenga una bobina, presentará un mayor poder de magnetización.

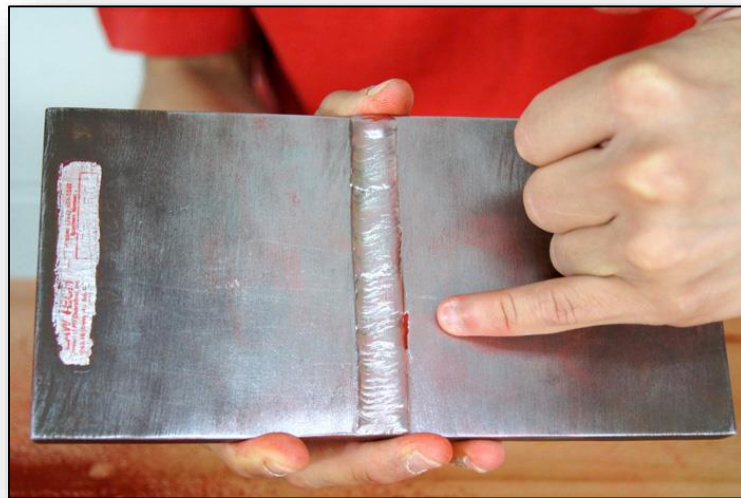
Cuando la pieza es de forma regular (cilíndrica), se puede emplear la técnica de cabezales, que produce magnetización circular y permite la detección de defectos paralelos al eje mayor de la pieza. Una variante de esta técnica es emplear contactos en los extremos de la pieza, que permiten obtener resultados similares.

Para la inspección de piezas con alta permeabilidad y baja retentividad, como es el caso de los aceros al carbono o sin tratamiento térmico de endurecimiento, es recomendada la técnica de magnetización continua, siendo el campo magnético más intenso y permite que las partículas sean atraídas hacia cualquier distorsión o fuga de campo, para así indicar la presencia de una posible discontinuidad.

➤ **Observación e interpretación de los resultados**

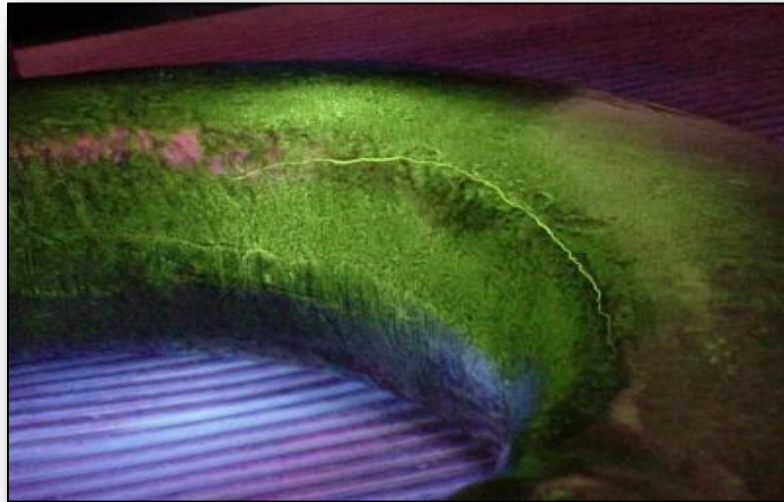
La inspección visual de las indicaciones se efectuará en parte durante la magnetización y continuará el tiempo necesario después de que el medio de examen se haya estabilizado, para explorar toda la zona de ensayo. Las discontinuidades quedarán indicadas por la retención de las partículas magnéticas. Con base en lo anterior, se puede determinar la existencia de discontinuidades así como su forma, tamaño y localización.

**Foto 6.** Falta de fusión, método partículas secas coloreadas.





**Foto 7.** Grieta encontrada en pieza, método partículas húmedas fluorescentes.



### ➤ **Desmagnetización**

Debido a que algunos materiales presentan magnetismo residual, en ocasiones es necesario efectuar la desmagnetización de la pieza para evitar que el magnetismo residual afecte el funcionamiento o el procesamiento posterior de la misma. Como regla general se recomienda que si se emplea corriente alterna, se desmagnetice con corriente alterna; de manera similar, si se magnetiza con corriente rectificada, se debe desmagnetizar con corriente rectificada.

La desmagnetización consiste en aplicar un campo magnético que se va reduciendo de intensidad y cambiando de dirección hasta que el magnetismo residual en el material queda dentro de los límites permisibles.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Referencia tomada de: Inspección con Partículas Magnéticas. De la página 53 a la 57. Recuperado el (12 de Agosto de 2014) disponible en: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>.

## 5 PROCEDIMIENTO

La realización del equipo de partículas magnéticas consiste en adecuar una herramienta para la realización de los ensayos no destructivos en los laboratorios de la Institución.

Para su fabricación se utilizaron los siguientes materiales:

- 24 platinas de acero blando ferromagnético.
- Carcasa plástica.
- 10 pernos.
- 8 remaches.
- Enchufe macho.
- Taladro y remachadora.
- Interruptor.
- Limadura de hierro.

En la fabricación se siguieron los siguientes pasos:

- Selección y adquisición de los materiales.
- Corte de las platinas, según dimensiones de plano.
- Unión de las partes pernadas y remachadas.
- Conformación de la bobina interna del equipo.
- Unión de la carcasa del equipo.
- Prueba de funcionalidad.

**NOTA:** Ver plano de fabricación para especificaciones de dimensiones.



## 6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	MES															
	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Recolección de información.																
2 Asistencia a asesorías.																
3 Realización del informe escrito.																
4 Diseño del equipo en software.																
5 Diseño de planos.																
6 Fabricación del equipo.																
7 Informes.																

## 7 CONCLUSIONES

Los ensayos no destructivos permiten conocer con anterioridad a que una pieza falle, los posibles defectos e imperfecciones presentes.

La importancia y gran ventaja de los ensayos no destructivos es que permiten realizar las pruebas sin deteriorar ni maltratar la pieza y, además, brindan información valiosa de su estado.

Dentro de la soldadura se practican mucho este tipo de pruebas, ya que permiten evaluar de manera muy precisa los acabados superficiales y sub-superficiales y encontrar los defectos en el procedimiento.<sup>7</sup>

Los ensayos no destructivos requieren personal calificado y con experiencia, pues no es posible realizar estas pruebas únicamente teniendo disponibilidad de los equipos.

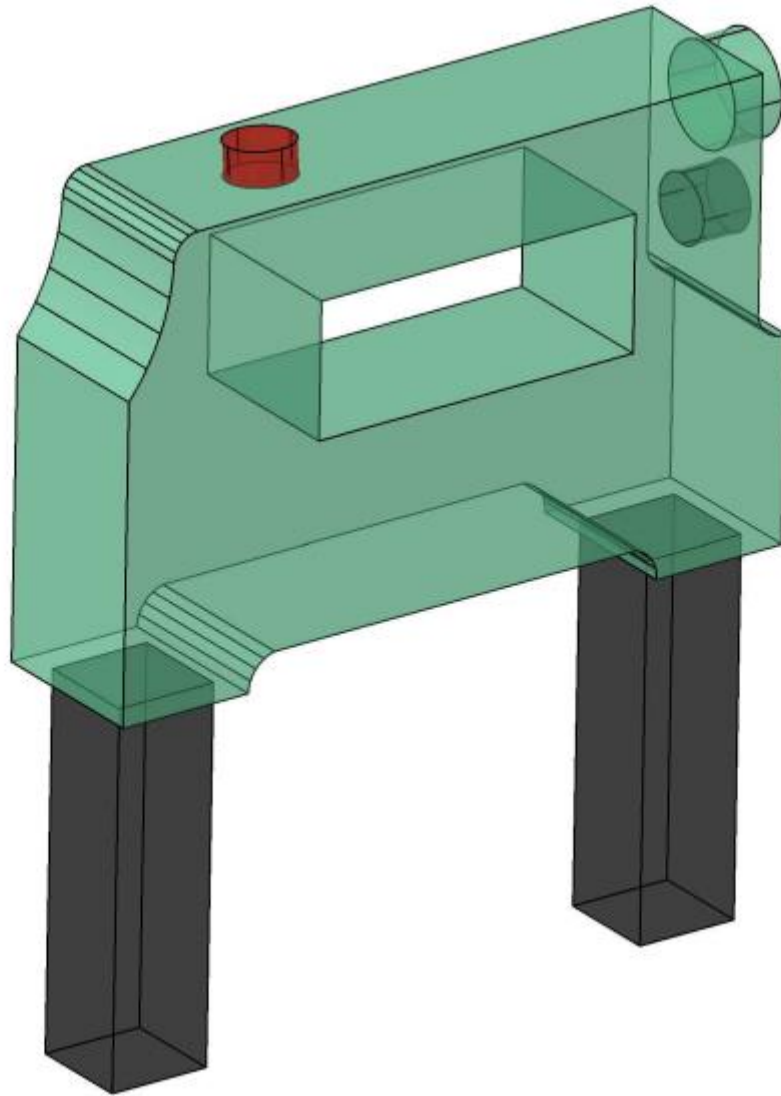
Este proyecto nos ayudó a reafirmar nuestros conocimientos y a sentirnos seguros con la información que tenemos en nuestras manos. Esperamos que este proyecto sirva de referencia a futuros estudiantes de la carrera.

---

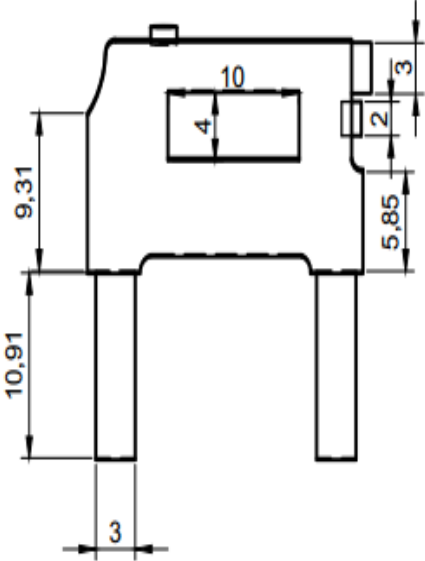
<sup>7</sup> Referencia tomada de: FERNANDEZ, Alonso. Ensayos no destructivos por líquidos penetrantes y partículas magnéticas. España: Instituto de Fomento regional, 1998. Recuperado el (18 de Octubre de 2014) disponible en: <http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>

## 8 PLANOS

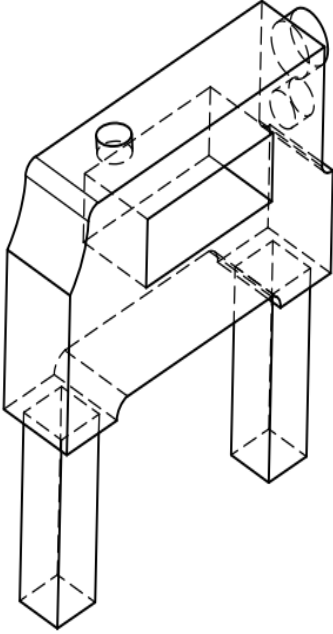
**Plano 1.** Isométrico del equipo.



Plano 2. Vistas generales del equipo.



4.72



## 9 RECOMENDACIONES

Para la operación correcta del equipo de Partículas Magnéticas se debe tener en cuenta los principios de funcionalidad del mismo, mencionados anteriormente en este trabajo. El equipo puede operar hasta 5 horas continuas, luego de las cinco horas se recomienda dos horas de reposo.

Se recomienda no dejar agotar las partículas magnéticas (limadura fina de hierro), enrollar el enchufe del equipo de tal forma que no se generen quiebres o dobleces, evítese destapar el equipo y procúrese no dejarlo golpear o caer.

Para el mantenimiento preventivo del equipo se recomienda:

- Limpiar el equipo inmediatamente después de usarlo y antes de guardarlo.
- Lubricar los brazos ecualizables con aceite lubricante penetrante 336 o aplicar gránulos finos de grafito.


El equipo cuenta con un líquido revelador (Developer) en aerosol de color blanco que se aplica en la soldadura o parte inspeccionada antes de realizar el ensayo con las partículas magnéticas para darle contraste a las partículas y como ayuda al operario del equipo para la interpretación de los hallazgos.

Finalmente, es de gran importancia que el operario del equipo esté capacitado y conozca los principios de funcionalidad del equipo y del ensayo por partículas magnéticas, además del conocimiento de las normas aplicables mencionadas anteriormente en este trabajo.



## 10 ANEXOS

### Anexo 1. Norma ASTM E 1444. Práctica Recomendada para el Examen por Partículas Magnéticas.

 Designation: E 1444 – 94a An American National Standard

### Standard Practice for Magnetic Particle Examination<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 1444; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 This practice establishes minimum requirements for magnetic particle examination used for the detection of surface or slightly subsurface discontinuities in ferromagnetic material. This practice is intended as a direct replacement of MIL-STD-1949. Guide E 709 can be used in conjunction with this practice as a tutorial.

1.2 The magnetic particle examination method is used to detect cracks, laps, seams, inclusions, and other discontinuities on or near the surface of ferromagnetic materials. Magnetic particle examination may be applied to raw material, billets, finished and semifinished materials, welds, and in-service parts. Magnetic particle examination is not applicable to nonferromagnetic metals and alloys such as austenitic stainless steels.

1.3 *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 The following documents form a part of this standard practice to the extent specified herein.

2.2 *ASTM Standards:*

- A 275/A 275M Test Method for Magnetic Particle Examination of Steel Forgings<sup>2</sup>
- A 456 Specification for Magnetic Particle Inspection of Large Crankshaft Forgings<sup>2</sup>
- D 96 Test Methods for Water and Sediment in Crude Oil by the Centrifuge Method (Field Procedure)<sup>3</sup>
- E 543 Practice for Evaluating Agencies that Perform Non-destructive Testing<sup>4</sup>
- E 709 Guide for Magnetic Particle Examination<sup>4</sup>
- E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations<sup>4</sup>

2.3 *ASNT Document:*

- SNT-TC-1A Recommended Practice and Supplement Magnetic Particle Inspection<sup>5</sup>
- 2.4 *Society of Automotive Engineers (SAE)-AMS Documents:*<sup>6</sup>
  - AMS 2300 Premium Aircraft-Quality Steel Cleanliness Magnetic Particle Inspection Procedure<sup>7</sup>
  - AMS 2301 Aircraft Quality Steel Cleanliness Magnetic Particle Inspection Procedure<sup>7</sup>
  - AMS 2303 Aircraft Quality Steel Cleanliness Martensitic Corrosion Resistant Steels Magnetic Particle Inspection Procedure<sup>7</sup>
  - AMS 2641 Magnetic Particle Inspection Vehicle<sup>7</sup>
  - AMS 3040 Magnetic Particles, Nonfluorescent, Dry Method<sup>7</sup>
  - AMS 3041 Magnetic Particles, Nonfluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Ready-To-Use<sup>7</sup>
  - AMS 3042 Magnetic Particles, Nonfluorescent, Wet Method, Dry Powder<sup>7</sup>
  - AMS 3043 Magnetic Particles, Nonfluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Aerosol Packaged<sup>7</sup>
  - AMS 3044 Magnetic Particles, Fluorescent, Wet Method, Dry Powder<sup>7</sup>
  - AMS 3045 Magnetic Particles, Fluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Ready-To-Use<sup>7</sup>
  - AMS 3046 Magnetic Particles, Fluorescent, Wet Method, Oil Vehicle, Aerosol Packaged<sup>7</sup>
  - AMS 5355 Investment Castings<sup>7</sup>
- 2.5 *Federal Standards:*<sup>6</sup>
  - FED-STD-313 Material Safety Data Sheets, Preparation and the Submission of<sup>8</sup>
  - FED-STD-595 Colors<sup>8</sup>
- 2.6 *Military Standards:*<sup>6</sup>
  - MIL-STD-1907 Inspection, Liquid Penetrant and Magnetic Particle Soundness Requirements for Materials, Parts, and Weldments<sup>8</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.03 on Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods.

Current edition approved Nov. 15, 1994. Published January 1995. Originally published as E 1444 – 91. Last previous edition E 1444 – 94.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.05.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

<sup>5</sup> Available from American Society for Nondestructive Testing, 1711 Arlington Plaza, P.O. Box 28518, Columbus, OH 43228-0518.

<sup>6</sup> Copies of standards, specifications, drawings, and publications required by manufacturers in connection with specification acquisition should be obtained from the contracting activity or as directed by the contracting officer.

<sup>7</sup> Available from Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

<sup>8</sup> Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.

 E 1444

MIL-STD-410 Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification<sup>8</sup>

MIL-STD-1949 Magnetic Particle Inspection, Method of<sup>8</sup>

MIL-STD-2175 Castings, Classification and Inspection of<sup>8</sup>

MIL-STD-45662 Calibration Systems Requirements

MIL-I-83387 Inspection Process, Magnetic Rubber<sup>8</sup>

DoD-F-87935 Fluid, Magnetic Particle Inspection, Suspension (Metric)<sup>8</sup>

2.7 *OSHA Document*:<sup>9</sup>

29CFR 1910.1200 Hazard Communication

2.8 *DoD Contracts*—Unless otherwise specified, the editions of the documents that are DoD adopted are those listed in the issue of the DoDISS (Department of Defense Index of Specifications and Standards) cited in the solicitation.

2.9 *Order of Precedence*—In the event of conflict between the text of this practice and the referenced documents cited herein, the text of this practice takes precedence.

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions relating to magnetic particle examination, which appear in Terminology E 1316, shall apply to the terms used in this practice.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

3.2.1 *alternating current (ac)*—an electrical current that reverses its direction of flow at regular intervals.

3.2.2 *ambient light*—the visible light level measured at the specimen surface with the black light(s) on.

3.2.3 *contracting agency*—a prime contractor, subcontractor, or government agency procuring magnetic particle inspection services.

3.2.4 *gauss (G)*—the unit of flux density or induction in the cgs electromagnetic unit system ( $1\text{ G} = 10^{-4}\text{ Tesla (T)}$ ); in air, 1 G is equivalent to 1 oersted (Oe), which equals 79.58 A/m).

3.2.5 *head shot*—the production of circular magnetization by passing current directly through the part being inspected, or central conductor, while being held in contact with the head stocks in a horizontal wet machine.

3.2.6 *magnetic flux*—a conceptualization of the magnetic field intensity based on the line pattern produced when iron filings are sprinkled on paper laid over a permanent magnet. The magnetic field lies in the direction of the flux lines and has an intensity proportional to the line density.

3.2.7 *magnetization*—the process by which the elementary magnetic domains of a material are predominantly aligned in one direction.

3.2.8 *retentivity*—the ability of a material to retain magnetism after the magnetizing force has been removed.

### 4. Significance and Use

4.1 Magnetic particle examination consists of magnetizing the area to be inspected, applying suitably prepared magnetic particles while the area is magnetized, and subsequently interpreting and evaluating any resulting particle accumula-

tions. Maximum detectability occurs when the discontinuity is positioned perpendicular to the magnetic flux. In order to detect discontinuities in all directions, at least two magnetic fields, perpendicular to one another in a plane parallel to the surface being inspected, shall be used, except when specifically exempted by the contracting agency.

### 5. General Practice

5.1 *Acceptance Requirements*—The acceptance requirements applicable to the part or group of parts shall be incorporated as part of the written procedure either specifically or by reference to other applicable documents, such as MIL-STD-1907, containing the necessary information. Applicable drawings or other documents shall specify the acceptance size and concentration of discontinuities for the component, with zoning of unique areas as required by design requirements. These acceptance requirements shall be as approved on or as specified by the contracting agency. Methods for establishing acceptance requirements for large crankshaft forgings are covered in Specification A 456. Methods for establishing requirements for steel forgings are covered in Test Method A 275/A 275M. Methods for classifying metal castings are given in MIL-STD-2175 and AMS 5355. MIL-STD-1907 provides a classification scheme for ferromagnetic forgings, castings, extrusions, and weldments.

5.1.1 *Aircraft-Quality Steel Cleanliness*—The examination of aircraft-quality steel for cleanliness using magnetic particle examination shall be as specified in AMS 2300, 2301, or 2303 as appropriate to the type of steel being inspected. However, inspection of parts fabricated from this material shall be in accordance with the requirements of this practice.

5.2 *Personnel Qualification*—Personnel performing examinations in accordance with this practice shall be qualified and certified in accordance with ASNT Personnel Qualification SNT-TC-1A or MIL-STD-410 for military purposes, or as specified in the contract or purchase order.

5.3 *Agency Qualification*—The agency performing the testing or examination shall meet, as a minimum, the requirements of Practice E 543.

5.4 *Written Procedure*—Magnetic particle examination shall be performed in accordance with a written procedure applicable to the parts or group of parts under testing. The procedure shall be in accordance with the requirements and guidelines of this practice. The procedure shall be capable of detecting the smallest rejectable discontinuities specified in the acceptance requirements. The written procedure may be general if it clearly applies to all of the specified parts being tested and meets the requirements of this practice. All written procedures shall be approved by an individual qualified and certified at Level III for magnetic particle examination in accordance with 5.2. Procedures shall be submitted to the contracting agency when requested.

5.4.1 *Elements of the Written Procedure*—The written procedure shall include at least the following elements, either directly or by reference to the applicable documents:

5.4.1.1 Procedure identification number and the date it was written;

5.4.1.2 Identification of the parts to which the procedure

<sup>9</sup> Available from Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.



applies; this shall include the material and alloy of which the parts are fabricated;

5.4.1.3 Sequence of magnetic particle examination as related to manufacturing process operation, if applicable;

5.4.1.4 Identification of test parts used for system performance verification (see 7.1.2 and 7.1.3);

5.4.1.5 Areas of the part to be examined (include an illustration—either sketch or photo);

5.4.1.6 Part preparation required before testing;

5.4.1.7 Directions for positioning the item with respect to the magnetizing equipment;

5.4.1.8 The type of magnetizing current and the equipment to be used;

5.4.1.9 Method of establishing the magnetization (head, coil, prods, yoke, cable wrap, etc.);

5.4.1.10 Directions of magnetization to be used, the order in which they are applied, and any demagnetization procedures to be used between shots;

5.4.1.11 The current level, or the number of ampere turns, to be used and the duration of its application;

5.4.1.12 Type of magnetic particle material (dry or wet, visible or fluorescent, etc.) to be used and the method and equipment to be used for its application and, for the case of wet particles, the particle concentration limits;

5.4.1.13 Type of records and method of marking parts after examination;

5.4.1.14 Acceptance requirements, to be used for evaluating indications and disposition of parts after evaluation; and

5.4.1.15 Postinspection demagnetization and cleaning requirements.

5.5 *Examination Sequence*—When magnetic particle examination is specified, it shall be performed after the completion of operations that could cause surface or near-surface defects. These operations include, but are not limited to, forging, heat treating, plating, passivation, cold forming, welding, grinding, straightening, machining, and proof loading. Unless otherwise approved by the contracting agency or as approved in 6.1.3, production parts shall be magnetic particle inspected before the application of any coatings. Also, parts heat treated to an ultimate tensile strength of 180 ksi or higher that are heat treated and subsequently electroplated shall be inspected after the electroplating operation.

5.6 *Record of Examination*—The results of all magnetic particle inspections shall be recorded. All recorded results shall be identified, filed, and made available for review by the contracting agency upon request. Records shall provide for traceability to the specific part or lot inspected, and they shall identify the inspection contractor or facility and the procedures used in the inspection, the lot size, and the number of parts accepted.

5.7 *Lighting*:

5.7.1 *Visible Light*—Visible light shall be used when examining with nonfluorescent particles. The intensity of the visible light at the surface of the part undergoing examination shall be maintained at a minimum of 100 fc (1000 lx). The intensity measurement shall be conducted with a suitable illuminance meter with a photopic spectral response.

5.7.1.1 *Ambient Visible Light*—Unless otherwise specified,

fluorescent magnetic particle examinations shall be performed in a darkened area with a maximum ambient visible light level of 2 fc (20 lx) measured at the part surface.

5.7.1.2 *Special Visible Internal Light Source*—When examinations of internal surfaces must be performed using special visible light sources, the image produced must have sufficient resolution to effectively evaluate the required discontinuities. Light intensity shall be measured at the expected working distance of the equipment.

5.7.2 *Black Lights*—All black lights shall be checked at the intervals specified in Table 1, and after bulb replacement, for output. A longer period may be used if a plan justifying this extension is prepared by the nondestructive testing facility and approved by the contracting agency. The minimum acceptable intensity is 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  at the part being examined. Black light reflectors and filters shall be checked daily for cleanliness and integrity. Damaged or dirty reflectors or filters shall be replaced or otherwise corrected as appropriate.

5.7.3 *Internal Part Examination*—Where lamps are physically too large to directly illuminate the examination surface, special lighting shall be used. Internal features such as bores, holes, and passages less than 0.5 in. (12.5 mm) nominal diameter shall not require magnetic particle examination unless otherwise specified by the contracting agency.

5.8 *Materials*:

5.8.1 *Dry Particle Requirements*—Dry particles shall meet the requirements of AMS 3040. In applying AMS 3040, the particles shall show indications as listed in Table 2 on the test ring specimen of Fig. 1 using the following procedure:

5.8.1.1 Place a conductor with a diameter between 1 and 1.25 in. (25 and 31 mm) and a length longer than 16 in. (40 cm) through the center of the ring. Center the ring on the length of the conductor. Magnetize the ring circularly by passing the current specified in Table 2 through the conductor. Using a squeeze bulb or other suitable applicator, apply the particles to the surface of the ring while the current is flowing. Examine the ring within 1 min after current application under a visible light of not less than 100 fc (1000 lx). The number of hole indications shall meet or exceed those specified in Table 2.

5.8.2 *Wet Particle Requirements*—Wet particles shall meet the requirements of AMS 3041, 3042, 3043, 3044, 3045, or 3046, as applicable. In applying these specifications, the particles shall show indications as listed in Table 2 on the test

TABLE 1 Required Verification Intervals

Item	Maximum Time Between Verification
<b>Lighting:</b>	
Black light intensity	1 day
Ambient light intensity	1 day
Visible light intensity	1 day
System Performance using the test piece or ring specimen of Fig. 1	1 day
Wet particle concentration	8 hours, or every shift change
Water break test	1 day
Wet particle contamination	1 week
<b>Equipment calibration check:</b>	
Gaussmeter reading (Teslameter) zero	Prior to Use
Gaussmeter (Teslameter) accuracy	6 months
Ammeter accuracy	6 months
Timer control	6 months
Quick break	6 months
Dead weight check	6 months

TABLE 2 Required Indications When Using the Ring Specimen of Fig. 1

Particles Used	Central Conductor FWDC Amperage	Minimum Number of Holes Indicated
Wet suspension, Fluorescent, or Nonfluorescent	1400	3
	2500	5
	3400	6
Dry powder	1400	4
	2500	6
	3400	7

ring specimen of Fig. 1 using the following procedure:

5.8.2.1 Place a conductor with a diameter between 1 and 1.25 in. (25 and 31 mm) and a length longer than 16 in. (40 cm) through the center of the ring. Center the ring on the length of the conductor. Magnetize the ring circularly by passing the current specified in Table 2 through the conductor. Apply the suspension to the ring using the continuous method. Examine the ring within 1 min after current application (examination of nonfluorescent baths shall be conducted under visible light of not less than 100 fc (1000 lx); examination of fluorescent baths shall be conducted under a black light of not less than 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). The number of hole indications shall meet or exceed those specified in Table 2.

5.8.3 *Suspension Vehicles*—The suspension vehicle for the wet method shall be a light petroleum distillate conforming to AMS 2641 (Type I) or DoD-F-87935, or a suitably conditioned water that conforms to the requirements of 5.8.4. When approved by the contracting agency, AMS 2641 (Type II) may be used. The flash point and viscosity shall be in accordance with the requirements of AMS 2641 or DoD-F-87935. The background fluorescence of the suspension vehicle shall be less than the limit specified in DoD-F-87935.

5.8.4 *Conditioned Water Vehicle*—When water is used as a suspension vehicle for magnetic particles, it shall be conditioned suitably to provide for proper wetting, particle dispersion, and corrosion protection. Proper wetting shall be determined by a water break test (see 7.1.4.2). Smoother test surfaces generally require that a greater percent of wetting agent be added than rough surfaces. Nonionic wetting agents are recommended. However, wetting agent additions shall be controlled in all cases by pH measurements to limit the alkalinity of the suspension to a maximum pH of 10.0 and the acidity to a minimum pH of 6.0.

5.8.5 *Particle Concentration*—The concentration of particles in the test bath shall be as specified in the written procedure. Particle concentrations outside of the range of 0.1 to 0.4 mL in a 100-mL bath sample for fluorescent particles and 1.2 to 2.4 mL for nonfluorescent particles shall not be used unless authorized by the contracting agency. Fluorescent particles and nonfluorescent particles shall not be used together.

## 6. Specific Practice

### 6.1 Preparation of Parts for Test:

6.1.1 *Preinspection Demagnetization*—The part shall be demagnetized before examination if prior operations have produced a residual magnetic field that may interfere with the examination.

6.1.2 *Surface Cleanliness and Finish*—The surface of the part to be inspected shall be essentially smooth, clean, dry, and

free of oil, scale, machining marks, or other contaminants or conditions that might interfere with the efficiency of the inspection.

6.1.3 *Coatings*—Magnetic particle examination shall not be performed with coatings in place that could prevent the detection of surface defects in ferromagnetic substrate. Such coatings normally include paint or chrome plate greater than 0.003 in. (0.08 mm) in thickness and ferromagnetic coatings such as electroplated nickel greater than 0.001 in. (0.03 mm) in thickness. If coatings greater than these limits are present during examination, it must be demonstrated that the minimum rejectable discontinuities can be detected through the maximum coating thickness applied. When such coatings are nonconductive, they must be removed where electrical contact is to be made. In high stress applications when detection of fine defects such as grinding cracks and nonmetallic stringers is required, examination with coatings in place shall be performed only when it has been verified that the minimum rejectable discontinuities can be detected in the presence of the coating.

6.1.4 *Plugging and Masking*—Unless otherwise specified by the contracting agency, small openings and oil holes leading to passages or cavities that could entrap or remain contaminated with inspection media shall be plugged with a suitable nonabrasive material that can be removed readily and, in the case of engine parts, is soluble in oil. Effective masking shall be used to protect those components, such as certain nonmetals, that may be damaged by contact with the suspension.

### 6.2 Magnetization Methods:

6.2.1 *Types of Magnetizing Current*—The types of currents used for magnetic particle examination are full-wave rectified alternating current (3 or 1 phase), half-wave rectified alternating current, and alternating current. The equipment used shall fulfill the magnetizing and demagnetizing requirements adequately, as outlined herein, without damage to the part under testing, and they shall include the necessary features required for safe operation.

6.2.2 *Permanent Magnets*—Permanent magnets are not to be used for magnetic particle examination unless specifically authorized by the contracting agency. When permanent magnets are used, adequate magnetic field strength shall be established in accordance with 7.1.5.4.

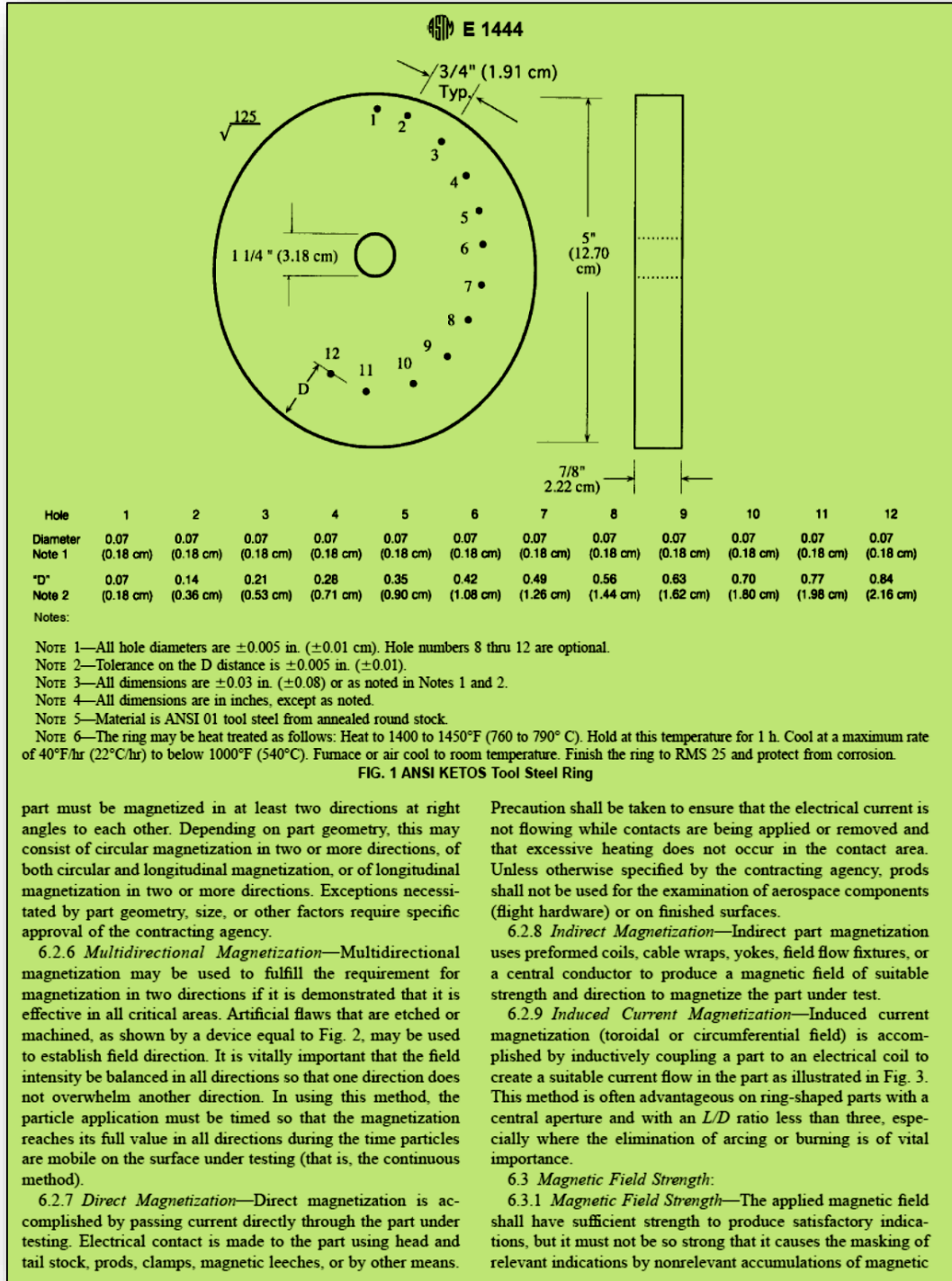
6.2.3 *Yokes*—When using yokes (electromagnetic probes) for magnetic particle examination, adequate magnetic field strength shall be established in accordance with 7.1.5.4.

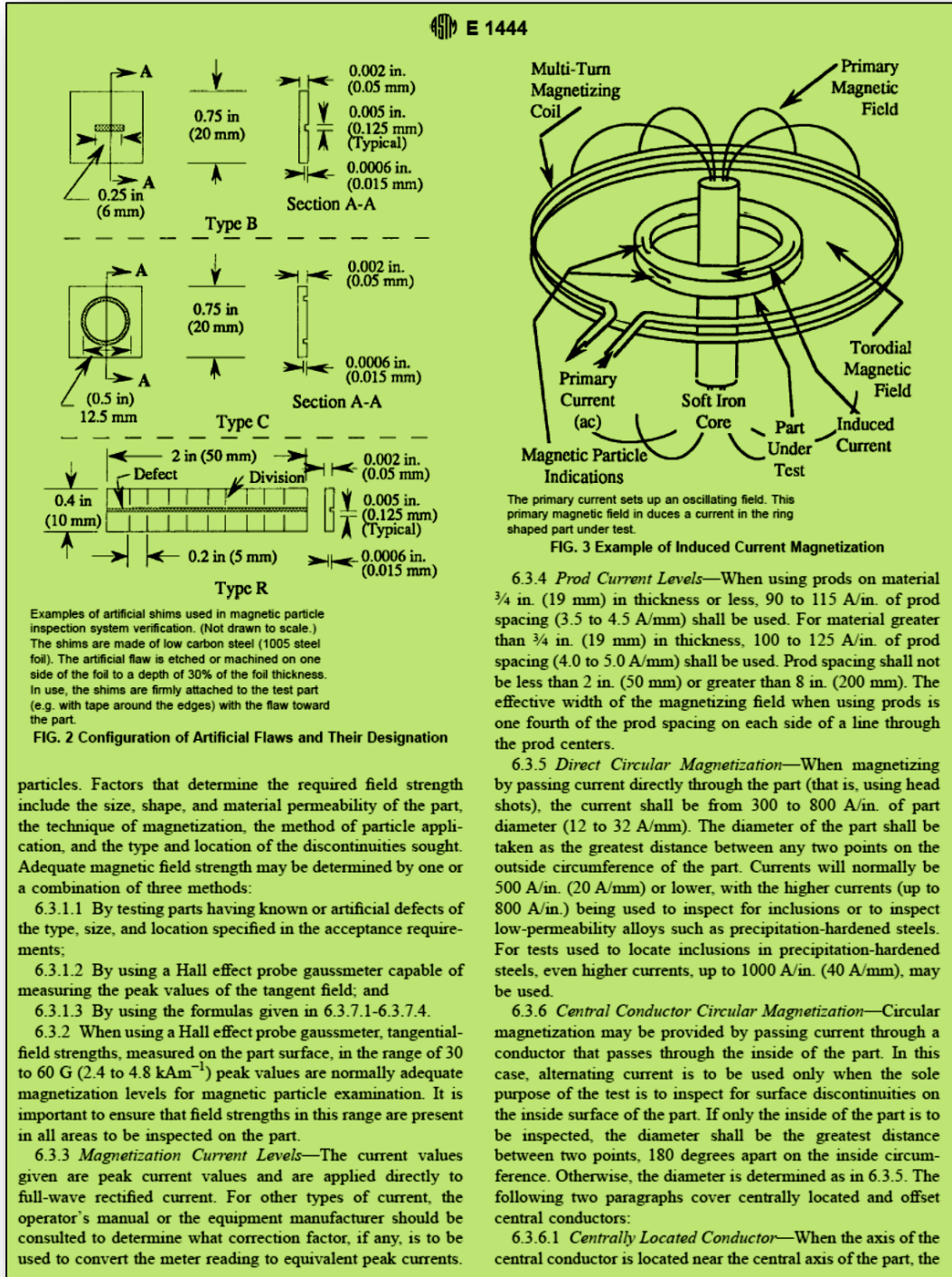
6.2.4 *Magnetizing Current Application*—Alternating current is to be used only for the detection of defects open to the surface. Full-wave rectified alternating current has the deepest possible penetration and must be used for inspection for defects below the surface when using the wet magnetic particle method. Half-wave rectified alternating current is advantageous for the dry powder method because it creates a pulsating unidirectional field that gives increased mobility to the particles.

6.2.5 *Magnetic Field Directions*—Discontinuities are difficult to detect by the magnetic particle method when they make an angle less than 45° to the direction of magnetization. To ensure the detection of discontinuities in any direction, each



Continúa la Norma ASTM E 1444.





same current levels as given in 6.3.5 shall apply.

**6.3.6.2 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 6.3.5 shall apply, except that the diameter shall be considered the sum of the diameter of the central conductor and twice the wall thickness. The distance along the part circumference (interior) that is effectively magnetized shall be taken as four times the diameter of the central conductor, as illustrated in Fig. 4. The entire circumference shall be inspected by rotating the part on the conductor, allowing for approximately a 10 % magnetic field overlap.

**6.3.7 Longitudinal Magnetization Using Coils**—Longitudinal magnetization is often accomplished by passing current through a coil encircling the part, or section of the part, to be tested (that is, by using a coil shot). This produces a magnetic field parallel to the axis of the coil. For low or intermediate fill factor coils, the effective field extends a distance on either side of the coil center approximately equal to the radius of the coil (see Fig. 5). For cable wrap or high-fill factor coils, the effective distance of magnetization is 9 in. (230 mm) on either side of the coil center (see Fig. 6). For parts longer than these effective distances, the entire length shall be inspected by repositioning the part within the coil, allowing for approximately 10 % effective magnetic field overlap.

**6.3.7.1 Longitudinal Magnetization with Low-Fill Factor Coils**—When the cross-sectional area of the coil is ten or more times the cross-sectional area of the part being inspected, the product of the number of coil turns,  $N$ , and the current in amperes through the coil,  $I$ , shall be as follows:

(1) For parts positioned to the side of the coil:

$$NI = \frac{K}{LD} (\pm 10\%) \quad (1)$$

where:

- $K$  = 45 000 A turns,
- $L$  = length of the part, and
- $D$  = diameter of the part (measured in the same units as the length).

(2) For parts positioned in the center of the coil:

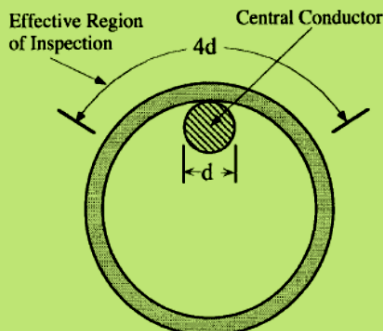


FIG. 4 The Effective Region of Inspection When Using an Offset Central Conductor is Equal to Four Times the Diameter of the Conductor as Indicated

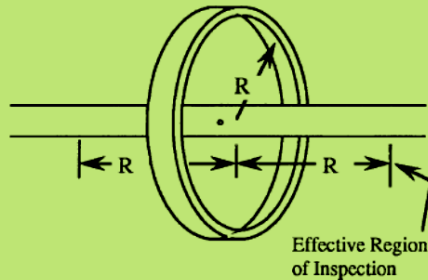


FIG. 5 Effective Region on Inspection for a Low Fill-Factor Coil

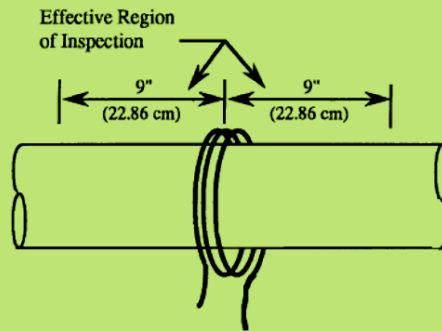


FIG. 6 Effective Region of Inspection for a High Fill-Factor

$$NI = \frac{KR}{(6L/D) - 5} (\pm 10\%) \quad (2)$$

where:

- $R$  = radius of the coil, mm (or in.),
- $K$  = 43 000 A turns per inch if  $R$  is measured in inches (1690 A turns per mm),
- $L$  = length of the part, and
- $D$  = diameter of the part (measured in the same units as the length).

If the part has hollow portions, replace  $D$  with  $D_{\text{eff}}$  as given in 6.3.7.4. These formulas hold only if  $L/D$  is greater than 2 and less than 15. If  $L/D$  is less than 2, pole pieces (pieces of ferromagnetic material with the same diameter as the part being tested) shall be placed on each end of the part to effectively increase the  $L/D$  to 2 or greater. If the  $L/D$  is greater than 15, the value of 15 shall be substituted for  $L/D$ .

**6.3.7.2 Longitudinal Magnetization with Cable Wrap or High-Fill Factor Coils**—When the cross-sectional area of the coil is less than twice the cross-sectional area (including hollow portions) of the part under testing, the product of the number of coils turns,  $N$ , and the current in amperes through the coil,  $I$ , shall be as follows:

$$NI = K\{(L/D) + 2\} (\pm 10\%) \quad (3)$$

where:

- $K$  = 35 000 A turns,
- $L$  = length of the part,



$D$  = diameter of the part (measured in the same units as the length).

If the part has hollow portions, replace  $D$  with  $D_{\text{eff}}$  as given in 6.3.7.4. These formulas hold only if  $L/D$  is greater than 2 and less than 15. If  $L/D$  is less than 2, pole pieces (pieces of ferromagnetic material with the same diameter as the part being tested) shall be placed on each end of the part to effectively increase the  $L/D$  to 2 or greater. If the  $L/D$  is greater than 15, the value of 15 shall be substituted for  $L/D$ .

**6.3.7.3 Longitudinal Magnetization for Intermediate-Fill Factor Coils**—When the cross-sectional area of the coil is between two and ten times the cross-sectional area of the part being inspected, the product of the number of turns,  $N$ , and the current through the coil,  $I$ , shall be as follows:

$$NI = (NI)_l(10 - \tau)/8 + (NI)_h(\tau - 2)/8 \quad (4)$$

where:

$(NI)_l$  = value of  $NI$  calculated for low-fill factor coils using 6.3.7.1,

$(NI)_h$  = value of  $NI$  calculated for high-fill factor coils using 6.3.7.2, and

$\tau$  = ratio of the cross-sectional area of the coil to the cross-sectional area of the part (for example, if the coil is 10 in. in diameter and the part is a rod 5 in. in diameter,  $\tau = (\pi \times 5^2)/(\pi \times 2.5^2) = 4$ ).

**6.3.7.4 Calculating the  $L/D$  Ratio for a Hollow or Cylindrical Part**—When calculating the  $L/D$  ratio for a hollow or cylindrical part,  $D$  shall be replaced with an effective diameter,  $D_{\text{eff}}$ , calculated using the following:

$$D_{\text{eff}} = 2[(A_t - A_h)/\pi]^{1/2} \quad (5)$$

where:

$A_t$  = total cross-sectional area of the part, and

$A_h$  = cross-sectional area of the hollow portions of the part.

For cylindrical parts, this is equal to the following:

$$D_{\text{eff}} = [(OD)^2 - (ID)^2]^{1/2} \quad (6)$$

where:

OD = outside diameter of the cylinder, and

ID = inside diameter of the cylinder.

#### 6.4 Particle Application:

**6.4.1 Continuous Method**—In the dry continuous method, magnetic particles are applied to the part while the magnetizing force is present. In the wet continuous method, the magnetizing current, or force, shall be applied simultaneously with or immediately after diverting the suspension. Application of the magnetic particles (see 6.4.4 and 6.4.5) and the magnetization method shall be as prescribed in the paragraphs referenced herein.

**6.4.2 Residual Magnetization Method**—In the residual magnetization method, the magnetic particles are applied to the test part immediately after the magnetizing force has been discontinued. The residual method is not as sensitive as the continuous method, but it can be useful, for example, in detecting in-service induced fatigue cracks on the surface of material with a high retentivity. It is also useful for the examination of parts in areas in which, because of geometric constraints, the

continuous method cannot be used. The residual method shall be used only when specifically approved by the contracting agency or when it has been documented that it can detect defects or artificial defects in test parts. The test parts shall have the same material and processing steps, and similar geometry to, the actual parts being inspected.

**6.4.3 Prolonged Magnetization**—When using polymers, slurries, or paints, prolonged or repeated periods of magnetization are necessary because of lower magnetic particle mobility in the high-viscosity vehicles.

**6.4.4 Dry Magnetic Particle Application**—When using dry particles, the flow of magnetizing current shall be initiated prior to application of the magnetic particles to the surface under testing and terminated after powder application has been completed and any excess blown off. The duration of the magnetizing current shall be at least  $\frac{1}{2}$  s, and precaution shall be taken to prevent any damage of the part due to overheating or other causes. Dry powder shall be applied in a manner such that a light, uniform, dust-like coating settles on the surface of the test part while the part is being magnetized. Specially designed powder blowers or shakers using compressed air or hand power shall be used. The applicators shall introduce the particles into the air in a manner such that they reach the part surface in a uniform cloud with a minimum of force. After the powder is applied, and before the magnetizing force is removed, excess powder shall be removed by means of a dry air current with sufficient force to remove the excess particles, but not strong enough to disturb particles held by a leakage field that is indicative of discontinuities. In order to recognize the broad, fuzzy, lightly held powder patterns formed by near-surface discontinuities, the formation of indications must be observed carefully during both powder application and removal of the excess powder. Sufficient time for the formation and examination of indications shall be permitted during the testing process. The dry particle method shall not be used to inspect aerospace components (flight hardware) without specific approval of the contracting agency.

**6.4.5 Wet Magnetic Particle Application**—Fluorescent or nonfluorescent particles suspended in a liquid vehicle at the required concentration shall be applied either by gently spraying or flowing the suspension over the area to be inspected. Proper sequencing and timing of part magnetization and application of particle suspension are required to obtain the proper formation and retention of indications. This generally requires that the stream of suspension be diverted from the part simultaneously with, or slightly before, energizing the magnetic circuit. The magnetizing current shall be applied for a duration of at least  $\frac{1}{2}$  s for each application, with a minimum of two shots being used. The second shot should follow the first in rapid succession. It should come after the flow of suspension has been interrupted and before the part is examined for indications. Under special circumstances, such as the use of automated equipment or for critical parts, the  $\frac{1}{2}$ -s duration and the two-shot requirement may be waived provided it is demonstrated that the test procedure given in 5.4 can detect known defects in representative test parts. Care shall be exercised to prevent any damage to the part due to overheating or other causes. Weakly held indications on highly finished



parts are readily washed away, and hence care must be exercised to prevent high-velocity flow over critical surfaces.

6.4.6 *Magnetic Slurry/Paint Application*—Magnetic paints or slurries are applied to the part with a brush, squeeze bottle, or aerosol can before or during the magnetization operation. This method is for special applications, such as overhead or underwater examination. This method shall be used only when specifically approved by the contracting agency.

6.4.7 *Magnetic Polymer Application*—Polymerizable material containing magnetic particles shall be held in contact with the test part during the period of its cure. Before curing takes place, and while the magnetic particles are still mobile, the part shall be magnetized to the specified level. This requires prolonged or repeated periods of magnetization. This method is for special applications, such as bolt holes, which cannot be tested readily by the wet or dry method, and shall be used only when specifically approved by the contracting agency. MIL-I-83387 establishes the inspection process for magnetic rubber.

6.5 *Evaluation*—Following magnetization and particle application, the parts shall be examined for indications. All indications will be identified as relevant or nonrelevant. Relevant indications will be compared to accept/reject criteria and the parts accepted or rejected accordingly.

6.6 *Recording of Indications*—When required by the written procedure, the location of all rejectable indications shall be marked on the part, and permanent records of the location, direction, and frequency of indications may be made by one or more of the following methods:

6.6.1 *Written Description*—By recording the location, length, direction, and number of indications in sketch or tabular form.

6.6.2 *Transparent Tape*—For dry particle indications, by applying transparent adhesive-backed tape to which the indications will adhere and placing it on an approved form along with information giving its location on the part.

6.6.3 *Strippable Film*—By covering the indication with a spray-on strippable film that fixes the indications in place and placing the resultant reproduction on an approved form along with information giving its location on the part.

6.6.4 *Photography*—By photographing or video recording the indications themselves, the tape, or the strippable film reproduction and placing the photograph in a tabular form along with information giving its location on the part.

6.7 *Postinspection Demagnetization and Cleaning*—Unless directed otherwise by the contracting agency, all parts shall be demagnetized, cleaned, and corrosion protected after examination.

6.7.1 *Demagnetization:*

6.7.1.1 When using ac demagnetization, the part shall be subjected to a field with a peak value greater than, and in nearly the same direction as, the field used during examination. This ac field is then decreased gradually to zero. When using an ac demagnetizing coil, hold the part approximately 1 ft (30 cm) in front of the coil and then move it slowly and steadily through the coil and at least 3 ft (100 cm) beyond the end of the coil. Repeat this process as necessary. Rotate and tumble parts of complex configuration while passing through the field of the coil.

6.7.1.2 When using dc demagnetization, the initial field shall be higher than, and in nearly the same direction as, the field reached during examination. The field shall then be reversed, decreased in magnitude, and the process repeated (cycled) until an acceptably low value of residual field is reached.

6.7.1.3 Whenever possible, parts that have been magnetized circularly shall be magnetized in the longitudinal direction before being demagnetized. After demagnetization, a magnetic field probe or strength meter shall not detect fields with an absolute value above 3 G ( $240 \text{ Am}^{-1}$ ) anywhere on the part.

6.7.2 *Postinspection Cleaning*—Cleaning shall be done with a suitable solvent, air blower, or by other means. Parts shall be inspected to ensure that the cleaning procedure has removed magnetic particle residues from coolant holes, crevices, passage ways, etc., since such residue could have an adverse effect on the intended use of the part. Care shall be taken to remove all plugs, masking, or other processing aids that may affect the intended use of the part. Parts shall be protected from any possible corrosion or damage during the cleaning process and shall be treated to prevent the occurrence of corrosion after final inspection.

## 7. Quality Control

7.1 *System Performance:*

7.1.1 *System Performance Verification*—The overall performance of the magnetic particle examination system, including the equipment, materials, and the lighting environment being used, shall be verified initially and at regular intervals thereafter. The required verification intervals are stated in Table 1. Records of the verification results shall be maintained and retained for the time period specified in the contract. Frequency of calibration for current and voltage measuring devices, ammeter shunts, timers, and gaussmeters used in the verification shall comply with the requirements of MIL-STD-45662 or Table 1, as specified by the cognizant Level III.

7.1.2 *Use of Test Parts with Discontinuities*—A reliable method for inspection system verification is the use of representative test parts containing defects of the type, location, and size specified in the acceptance requirements. If correct magnetic particle indications can be produced and identified in these representative parts, the overall system and inspection procedure is verified. Parts used for verification will be demagnetized, cleaned thoroughly following the examination, and checked under black or visible light, as appropriate to the examination process, to ensure that residual indications do not remain.

7.1.3 *Fabricated Test Parts with Artificial Discontinuities*—

When actual production parts with known discontinuities of the type, location, and size needed for verification are not available or are impractical, fabricated test parts with artificial discontinuities shall be used. Artificial discontinuities may be fabricated to meet a particular need or may be commercially available magnetic field indicators or shims as shown in Fig. 2 and Fig. 7. All applicable conditions for the use of such test parts, as described in 7.1.2, shall apply. When commercial devices are used, their magnetic properties, flaw types, and surface condition shall be as close to the production part as possible.

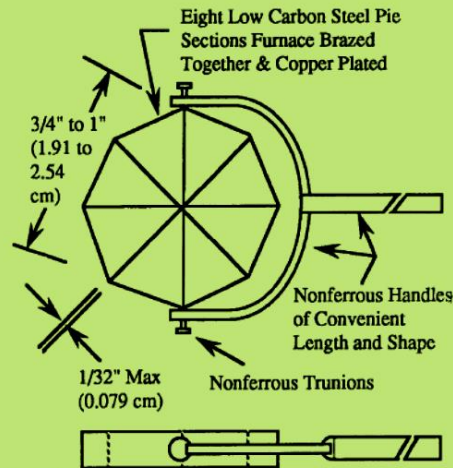


FIG. 7 Pie-field Indicator for Use in Magnetic Particle Inspection System Verification (All Dimensions are in Inches)

7.1.4 *Suspension Vehicle Tests* (Not required for aerosol can solutions):

7.1.4.1 *Concentration/Contamination Tests*—Particle concentration and contamination shall be determined upon start up, at regular intervals thereafter, and whenever the bath is changed or adjusted. The required testing intervals are stated in Table 1.

(1) *Determination of Wet Particle Concentration*—Agitate the particle suspension a minimum of 30 min to ensure uniform distribution of particles throughout the bath. Place a 100-mL sample of the agitated suspension in a pear-shaped centrifuge tube (of the size and shape specified in Test Methods D 96, except graduated to 1 mL in 0.05-mL increments). Demagnetize the sample and allow the tube to stand undisturbed for at least 60 min if using the petroleum distillate in AMS 2641 or 30 min settling time for conditioned water suspension. Read the volume of settled particles. If the concentration is out of the tolerance stated in the written procedure (or that given in 5.8.5), add the particles or suspension vehicle, as required, and redetermine the particle concentration. If the settled particles appear to be loose agglomerates rather than a solid layer, take a second sample. If the second sample also appears agglomerated, replace the entire suspension. Thirty-minute settling times, or other accelerated tests, may be used if they have been verified to give results equivalent to the procedure described in this paragraph.

(2) *Determination of Wet Particle Contamination*—Perform the tests specified in 7.1.4.1 (1). In addition, for fluorescent baths, examine the liquid above the precipitate with black light. The liquid shall be comparable to the fluorescence of the original solution. Examine the graduated portion of the tube, under both black light (for fluorescent baths only) and visible light (for both fluorescent and nonfluorescent baths), for striations or bands, different 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 of magnetic particles, or if the liquid is noticeably fluorescent, the bath must be replaced.

7.1.4.2 *Water Break Test*—In this test of water-based vehicles, a clean part with a surface finish the same as the parts to be tested is flooded with the conditioned water, and the appearance of the surface is noted after flooding is stopped. If a continuous even film forms over the entire part, sufficient wetting agent is present. If the film of suspension breaks, exposing bare surface, insufficient wetting agent is present or the part has not been cleaned adequately.

7.1.5 *Equipment Calibration*—Magnetic particle testing equipment shall be checked for performance and accuracy at the time of purchase and at intervals thereafter as given in Table 1, whenever malfunction is suspected or when specified by the contracting agency, and whenever electrical maintenance that might affect equipment accuracy is performed.

7.1.5.1 *Ammeter Accuracy*—To check the equipment ammeter, a calibrated ammeter shall be connected in series with the output circuit. Comparative readings shall be taken at three output levels encompassing the useable range of the equipment. The equipment meter reading shall not deviate by more than  $\pm 10\%$  of full scale from the current value shown by the calibrated ammeter. (When measuring half-wave alternating current, the current values shown by the calibrated dc ammeter readings shall be doubled.) The frequency of the ammeter check is specified in Table 1.

7.1.5.2 *Timer Control Check*—On equipment using a timer to control the current duration, the timer should be checked to within  $\pm 0.1$  s using a suitable electronic timer.

7.1.5.3 *Magnetic Field Quick Break Check*—On equipment that uses a quick break feature, proper functioning of this circuit shall be verified. The test may be performed using a suitable oscilloscope or other applicable method as specified by the equipment manufacturer.

7.1.5.4 *Dead Weight Check*—Yokes and permanent magnetics (when allowed) shall be dead weight tested at intervals as stated in Table 1. Alternating current yokes shall have a lifting force of at least 10 lb (45 N), with a 2 to 4-in. (50 to 100-mm) spacing between legs. Direct current yokes shall have a lifting force of at least 30 lb (135 N), with a 2 to 4-in. (50 to 100-mm) spacing between legs, or 50 lb (225 N), with a 4 to 6-in. (100 to 150-mm) spacing.

7.2 *Marking of Inspected Parts*—Unless otherwise specified by the contracting agency, parts that have been accepted using magnetic particle examination shall be marked in accordance with the applicable drawing, purchase order, contract, or as specified herein. Marking shall be applied in such a manner and location as to be harmless to the part. The identification shall not be obliterated or smeared by subsequent handling and, when practicable, placed in a location that will be visible after assembly. When subsequent processing would remove the identification, the applicable marking shall be affixed to the record accompanying the finished parts or assembly. Bolts and nuts and other fastener products may be identified as having met the requirements of magnetic particle examination by marking each package conspicuously.

7.2.1 *Impression Stamping, Ink Stamping, Laser Marking,*



 E 1444

*or Vibro Engraving*—Impression stamping, ink stamping, laser marking, or vibro engraving shall be used when permitted or required by the applicable written procedure, detail specification or drawing, or when the nature of the part is such as to provide for impression stamping of part numbers or other inspector's markings. Impression stamping shall be located only in the area provided adjacent to the part number or inspector's stamp unless otherwise specified by the contracting agency.

7.2.2 *Etching*—When impression stamping, ink stamping, laser marking, or vibro engraving is prohibited, parts shall be etched using an etching fluid or other means and a method of application acceptable to the contracting agency. The etching process and location shall not affect the functioning of the part adversely.

7.2.3 *Dyeing*—When stamping, vibro engraving, or etching is not permissible, identification shall be accomplished by dyeing.

7.2.4 *Other Identification*—Other means of identification, such as tagging, shall be used for parts that have a construction or function precluding the use of stamping, vibro engraving, or etching, as in the case of completely ground or polished balls, rollers, pins, or bushings.

7.2.5 *Identifying Symbols and Color Markings:*

7.2.5.1 *One-Hundred Percent Examination*—When items are examined and accepted by 100 % examination, each item shall be marked as follows:

(1) *Dyeing*—When dyeing is applicable, a dye of acceptable adherence which is predominantly blue (per FED-STD-595) shall be employed. However, if a color conflict is incurred with any other method, magnetic particle examination can be indicated by two adjacent blue dots or other suitable means.

(2) *Stamping, Laser Marking, Vibro Engraving, or Etching*—When impression stamping or ink stamping, laser marking, vibro engraving, or etching is used to mark 100 % inspected parts, the letter "M" with a circle around it will be employed.

7.2.5.2 *Lot Inspection*—When items are accepted by means of a sampling procedure, each item of an accepted lot shall be marked as follows:

(1) *Dyeing*—When dyeing is applicable, a dye of acceptable adherence that is predominantly orange (per FED-STD-595) shall be employed.

(2) *Stamping, Vibro Engraving, or Etching*—When impression stamping, vibro engraving or etching is used to mark lot inspected parts, the letter "M" shall be employed.

7.3 *Eye Glasses*—When using fluorescent materials, inspectors shall not wear eye glasses that are photochromic or that have permanently darkened lenses. This is not intended to prohibit the use of eyeglasses with lenses treated to absorb ultraviolet light.

7.4 *Safety*—The safe handling of magnetic particles (wet or dry), oil vehicles water baths, and water conditioner concentrates are governed by the suppliers' Material Safety Data Sheets (MSDS). Material Safety Data Sheets, conforming to 29 CFR 1910.1200, or equivalent, must be provided by the supplier to any user and shall be prepared in accordance with FED-STD-313.

7.4.1 *Flammability*—Flash point of oil vehicles shall be in accordance with AMS 2641 or DoD-F-87935. The suppliers' MSDS shall certify the flash point.

7.4.2 *Personnel Hazards*—Precautions against inhalation, skin contact, and eye exposure are detailed in the suppliers' MSDS. These precautions shall be observed.

7.4.3 *Electrical Hazards*—Magnetizing equipment shall be maintained properly to prevent personnel hazards from electrical short circuits. Care must be taken to reduce arcing and the possible ignition of oil baths.

7.4.4 *Black Light*—It is recommended that the intensity of black light incident on unprotected skin or eyes not exceed 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Cracked or broken ultraviolet filters shall be replaced immediately. Broken bulbs can continue to radiate ultraviolet energy and must be replaced immediately. Spectacles designed to absorb ultraviolet wavelength radiation are suggested for close, high, black light intensity examination.

7.5 *Dark Adaptation*—Personnel must wait at least 1 min after entering a darkened area for their eyes to adjust to the low-level lighting before performing fluorescent magnetic particle examination.

## 8. Keywords

8.1 dye; fluorescent; magnetic particle; nondestructive evaluation; nondestructive examination; nondestructive testing



E 1444

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. MEASUREMENT OF TANGENTIAL FIELD STRENGTH

X1.1 Care must be exercised when measuring the tangential applied field strengths specified in 6.3.2. The active area of the Hall effect probe should be no larger than 0.2 in. (5 mm) by 0.2 in. (5 mm) and should have a maximum center location 5 mm from the part surface. The plane of the probe must be perpendicular to the surface of the part at the location of measurement to within 5 degrees. This is difficult to accomplish by hand orientation, therefore the probe should be held in a jig or fixture of some type. If the current is being applied in shots, or if alternating current or half-wave rectified alternating

current is being used, the gaussmeter should be set to read the peak value during the shot. The gaussmeter should have a frequency response of 0 to 300 Hz or higher. The direction and magnitude of the tangential field on the part surface can be determined by two measurements made at right angles to each other at the same spot. The gaussmeter probe leads should be shielded or twisted to prevent reading errors due to voltage induced during the large field changes encountered during magnetic particle examination.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Referencia tomada de: FRANCO GIMENO, José. Ensayos no destructivos por la industria y la construcción. España: Practicas universitarias de Zaragoza, 2002. De la página 23 a la 31. Recuperado el (05 de Septiembre de 2014) disponible en: <http://www.casadellibro.com/libro-ensayos-no-destructivos-para-industria-y-construccion/9788477335221/672646>.
- Referencia tomada de: FERNANDEZ, Alonso. Ensayos no destructivos por líquidos penetrantes y partículas magnéticas. España: Instituto de Fomento regional, 1998. Recuperado el (18 de Mayo de 2014) disponible en: <http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>.
- Referencia tomada de: Algunas definiciones de ingeniería. Recuperado el (15 de Agosto de 2014) disponible en: <http://www.wordreference.com/definicion>.
- Referencia tomada de: Ensayos no Destructivos. De la página 21 a la 23. Recuperado el (26 de Agosto de 2014) disponible en: <http://ejemplon.com/ensayos-no-destructivos/>.
- Referencia tomada de: Ensayos no Destructivos. De la página 24 a la 33. Recuperado el (05 de Mayo de 2014) disponible en: <http://chirinossilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/trabajo-de-ensayos-no-destructivos.pdf>.
- Referencia tomada de: Inspección con líquidos penetrantes. De la página 34 a la 46. Recuperado el (08 de Mayo de 2014) disponible en: <http://www.comtecol.com/intranet/manual/docu/PROCEDIMIENTO%20DE%20INSPECCION%20DE%20SOLDADURA%20LP.pdf>.

- Referencia tomada de: Inspección con Partículas Magnéticas. De la página 47 a la 52. Recuperado el (08 de Mayo de 2014) disponible en: <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=55>.
- Referencia tomada de: Inspección con Partículas Magnéticas. De la página 53 a la 57. Recuperado el (12 de Mayo de 2014) disponible en: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>.
- ANSI / ASTM E-1444. Práctica Recomendada para el Examen por Partículas Magnéticas.