



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN  
CONTINUA CON YUGO MAGNÉTICO EN LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**

**Jose Andrés Arriola Pineda**

Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz

Guatemala, junio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN  
CONTINUA CON YUGO MAGNÉTICO EN LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOSE ANDRÉS ARRIOLA PINEDA**

ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MACÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN CONTINUA CON YUGO MAGNÉTICO EN LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 13 de septiembre de 2021.



José Andrés Arriola Pineda

Guatemala, 20 de marzo de 2023

Ingeniero  
Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación: **PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN CONTINUA CON YUGO MAGNÉTICO EN LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**, del estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica José Andrés Arriola Pineda, quien se identifica con el registro académico 201504010 y CUI 3001620220101.

Después de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para ser aprobado por la Escuela de Ingeniería Mecánica, en vista de ello se lo remito y pongo a su consideración.

*Ing. Hugo Ramírez*  
COL. No. 5545



Hugo Leonel Ramírez Ortiz  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No.5545  
Asesor

Guatemala 22 de marzo de 2023

Ingeniero  
Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable director:

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN CONTÍNUA CON YUGO MAGNÉTICO EN EL LABORATORIO DE METALOGRAFÍA, presentado por el estudiante José Andrés Arriola Pineda, Registro Académico No. 201504010 y CUI 3001 62022 0101 el cual fue asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramirez Ortíz.

Después de revisarlo, considero que el desarrollo del mismo ha sido en forma satisfactoria, y reúne los requisitos para continuar con el siguiente paso en el proceso respectivo de la Facultad, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma  
Coordinador Laboratorios  
Escuela de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.134.EIM.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN CONTINUA CON YUGO MAGNÉTICO EN LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**, presentado por: **Jose Andrés Arriola Pineda**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, junio de 2023



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.517.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS EN INDUCCIÓN CONTINUA CON YUGO MAGNÉTICO EN LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**, presentado por: **Jose Andrés Arriola Pineda**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, junio de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme el modelo de vida más hermoso, Jesús.
<b>Mis padres</b>	Silvia Verónica y Julio Alfonso, por su enorme amor, apoyo y comprensión.
<b>Mi herma</b>	Silvia Arriola, quien es uno de mis grandes apoyos.
<b>Mi abuelita</b>	María Escobar por su inmenso amor.
<b>Mis amigos</b>	Por ser las personas de quienes más aprendo.
<b>A mí</b>	Por haber llegado hasta acá y querer más en la vida; por ver la esperanza en las personas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser mi casa de estudios por tantos años.

**Facultad de Ingeniería** Por forjarme como ingeniero

**Mis amigos** Andrea Barrera, Andrea Hernández, Armando Rosales, Claret Tablas, Bryan Urizar Daniel Vásquez, Diego Fuentes, Dulce Aguilar, Gabriela Reyes, Glenda García, J. Carlos León, J. Pablo Conde, J. Pablo Guzmán, Jacqueline Orellana, Javier García, Juan Jiménez, Julio Flores, Luis Batz, Luis Castellanos, Luis Contreras, Luis Mendizábal, Manuel Mejicanos, María Laparra, María Romero, Oliver Urizar, Oscar Barrientos, Oscar Villanueva, Pamela Sikahall, Paolo Muñoz, Raúl Dávila, Sofía Ordóñez, Sídney Cobaquil, María Pineda, Ing. Hugo Ramírez

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. ENSAYO EXISTENTE EN LA UNIVERSIDAD .....	1
2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	5
2.1. Principales ensayos no destructivos.....	5
2.1.1. Ensayos no destructivos volumétricos.....	6
2.1.2. Ensayos no destructivos superficiales .....	8
2.2. Aplicaciones de los ensayos no destructivos.....	9
2.2.1. Defectología.....	9
2.2.2. Caracterización.....	12
2.2.3. Metrología.....	13
2.3. Propiedades físicas de los materiales magnéticos .....	14
2.4. Propiedades físicas de los materiales no magnéticos .....	15
3. ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS .....	17
3.1. Tipos de ensayo de partículas magnéticas.....	17
3.2. Ensayo de partículas magnéticas en inducción continua con yugo magnético .....	18
3.3. Partículas magnéticas .....	19
3.3.1. Clasificación de las partículas magnéticas .....	20

3.3.2.	Usos específicos de las partículas magnéticas .....	21
3.4.	Yugo magnético .....	22
3.4.1.	Descripción y funcionamiento teórico del yugo magnético.....	22
3.4.2.	Uso del yugo magnético.....	23
3.5.	Interacción del yugo magnético con los materiales magnéticos y no magnéticos.....	24
3.5.1.	Interacción del yugo magnético con materiales magnéticos.....	24
3.5.2.	Interacción del yugo magnético con materiales no magnéticos.....	25
3.6.	Diseño de equipo de laboratorio para realización de práctica del ensayo de partículas magnéticas .....	25
3.6.1.	Equipo para utilizar.....	26
3.6.2.	Materiales que ensayar .....	26
3.6.3.	Procedimiento .....	27
3.6.4.	Datos.....	31
3.6.4.1.	Toma de datos .....	31
3.6.4.2.	Interpretación de los datos tomados ....	32
3.6.5.	Fundamento teórico para la guía.....	34
4.	RESULTADOS DEL ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL MANUAL GENERADO .....	35
4.1.	Aplicaciones de los nuevos procedimientos propuestos en materiales.....	35
4.1.1.	Materiales magnéticos .....	35
4.1.2.	Materiales no magnéticos.....	35
4.2.	Aplicaciones del yugo magnético .....	36

4.2.1.	Electromagnetismo y su interacción con los materiales .....	36
4.2.2.	Yugo magnético como herramienta auxiliar para la reparación de piezas mecánicas.....	36
CONCLUSIONES .....		39
RECOMENDACIONES .....		41
REFERENCIAS .....		43
APÉNDICE.....		45



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Yugo magnético MAGNAFLUX utilizado para el ensayo de partículas magnéticas..... 2
2. Ejecución de la magnetización de un maneral de acero inoxidable para ensayo de partículas magnéticas..... 3
3. Revelación de caracteres borrados mediante trabajos en frío en maneral de hacer inoxidable gracias al ensayo de partículas magnéticas..... 3
4. Proceso de aceptación o rechazo de las indicaciones reveladas por ensayos no destructivos ..... 12



## GLOSARIO

<b>Aceptación</b>	Condición con la que cuenta una pieza para continuar su vida útil.
<b>Discontinuidad</b>	Anomalía en la homogeneidad de un objeto.
<b>Electromagnetismo</b>	Fenómeno físico en el que interactúan la corriente eléctrica y la estructura atómica de los materiales ferromagnéticos para la generación de energía.
<b>Ensayo</b>	Método estructurado que tiene como fin primordial establecer condiciones con base en procesos ya establecidos.
<b>Espin</b>	Característica de los átomos que dota a los mismos de un movimiento angular y una carga de magnetismo.
<b>Falla</b>	Situación en la que un objeto sufre un percance que termina con su vida útil.
<b>Indicación</b>	Suceso observable en una pieza que proporciona información.
<b>Inducción</b>	Proceso por el cual se crea una reacción en un cuerpo por medio de un agente externo.

<b>Material</b>	Sustancia de la cual se conforma una pieza mecánica.
<b>Rechazo</b>	Condición con la que cuenta una pieza para que se dé por concluida su vida útil.
<b>Trabajo en frío</b>	Procesos realizados a materiales ferrosos que cambien o modifiquen su estructura sin llevar estos materiales a la temperatura a la cual se funden.

## RESUMEN

La metalurgia y metalografía es, sin duda, una ciencia fundamental en el conocimiento de un ingeniero mecánico; tan así que dentro de esta gran ciencia existe un campo de aplicación conocido como *Ensayos no destructivos*, entre los que se encuentra el ensayo de partículas magnéticas.

El ensayo de partículas magnéticas actualmente se practica en la Universidad de San Carlos de Guatemala. De tal manera es posible observar un efecto claro como remarcar caracteres obliterados en una pieza por la acción de diversos tratamientos o restauraciones.

Sin embargo, es necesario que los estudiantes de ingeniería mecánica tengan una visión mucho más amplia de lo que es el ensayo, su fundamento teórico, su forma de interactuar con los diversos materiales, así como conocer el modo en que se puede llevar a cabo el ensayo en cada una de sus variantes como las partículas húmedas o fluorescentes.

Finalmente, es necesario contar con una guía que nos dé los lineamientos necesarios para ejecutar el ensayo de la mejor manera, regidos por la norma internacional ASTM-E 709. De esa manera, también es posible clasificar los tipos de discontinuidades que podemos encontrar en las piezas e identificar cuándo es factible que una pieza se considere aceptada o descartada.



# OBJETIVOS

## General

Proponer un ensayo de partículas magnéticas en inducción continua con yugo magnético en el laboratorio de metalografía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Específicos

1. Entender la importancia de los ensayos no destructivos, así como sus aplicaciones como herramientas de trabajo en el campo de la ingeniería.
2. Adquirir el conocimiento necesario sobre las propiedades de los materiales magnéticos y no magnéticos, su interacción con el yugo magnético en inducción continua y los usos que se puede dar en ellos la aplicación de partículas magnéticas.
3. Desarrollar un procedimiento, fundamentado en la ciencia de materiales, para la elaboración de la práctica del ensayo de partículas magnéticas con el fin de ampliar el conocimiento y aplicaciones del en el laboratorio ya existente.



## INTRODUCCIÓN

El vasto conocimiento de ciencia de materiales comprende también la metalurgia y metalografía, ciencias que acumulan teoría y práctica acerca de las propiedades de los materiales relacionados a ingeniería, sean magnéticos o no.

El ensayo de partículas magnéticas con yugo magnético en inducción continua es una prueba no destructiva que se aplica comúnmente a piezas metálicas con el fin de determinar las discontinuidades visibles o internas en las piezas estudiadas. Los metales son sensibles a cambiar su estructura cristalina interna, esto modifica directamente las propiedades que el material presenta; entre estas propiedades se encuentra el magnetismo.

Hay piezas metálicas que no cuentan con magnetismo y otras que sí al ser expuestas a calor o a trabajos en frío, deformaciones sin necesidad de llegar a la temperatura de cambio de estructura cristalina. Los metales pueden cambiar su estructura y, en consecuencia, presentar en su totalidad o parcialmente las propiedades opuestas a las esperadas en la pieza. Bajo este concepto es que se busca aplicar el ensayo de partículas magnéticas.

La importancia del ensayo de partículas magnéticas radica en el inmenso uso de piezas metálicas en todas las industrias. Ante esta necesidad, el laboratorio de metalografía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala desarrolla una práctica de ensayo de partículas magnéticas; sin embargo, se considera que este ensayo puede ser utilizado de una mejor manera, tanto en su realización práctica, así como a través de su

marco teórico, ya que pretende instruir a quien lo estudie en la aplicación de este en el entorno científico o industrial.

## 1. ENSAYO EXISTENTE EN LA UNIVERSIDAD

Actualmente, en el laboratorio de Metalografía del curso Metalurgia y Metalografía de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala se cuenta con varios ensayos no destructivos. Uno de ellos es el objeto de interés de este texto: el de partículas magnéticas.

En este capítulo se busca detallar únicamente el procedimiento existente en la actualidad en el laboratorio, sin profundizar en la teoría de este. Así pues, el procedimiento actual consta de inducir campo magnético a una barra de acero, figura 2 y 3, con ayuda de un yugo magnético, figura 1, para posteriormente aplicar partículas magnéticas en aerosol a lo largo de la barra. La particularidad de la barra examinada es que había sido maquinada con la palabra Stanley y posteriormente fue rectificadas para eliminar esta impresión.

Sin embargo, al generar la inducción, las partículas magnéticas se agrupan de tal manera que se dibuja el contorno de las letras antiguamente presentes en la barra. Esto sucede debido a que la estructura cristalina de la barra de acero genera propiedades entre las cuales no se encuentra el magnetismo; debido a que el proceso de imprimir una palabra en acero fue trabajado en frío, en esa área en concreto se modificaron las propiedades de la estructura cristalina. A continuación, se muestra detalla gráficamente cómo ocurre el ensayo.

Actualmente se cuenta con un yugo magnético capaz de inducir campo magnético por medio de los efectos de la corriente eléctrica en él. Dicho yugo utiliza una conexión de 220 voltios y XX amperios, la cual viaja a través de un

embobinado de cobre que genera campo magnético en el acero. Además, se cuenta con la barra de acero no magnético que evidencia las letras previamente presentes en la barra al inducir la corriente en él.

Figura 1. **Yugo magnético MAGNAFLUX utilizado para el ensayo de partículas magnéticas**



Fuente: [Fotografía de Jose Arriola]. (Laboratorio de metalografía Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2017). Colección particular. Guatemala

Figura 2. **Ejecución de la magnetización de un maneral de acero inoxidable para ensayo de partículas magnéticas**



Fuente: [Fotografía de Jose Arriola]. (Laboratorio de metalografía Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2017). Colección particular. Guatemala.

Figura 3. **Revelación de caracteres borrados mediante trabajos en frío en maneral de hacer inoxidable gracias al ensayo de partículas magnéticas**



Fuente: Fuente: [Fotografía de Jose Arriola]. (Laboratorio de metalografía Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2017). Colección particular. Guatemala.



## **2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Los ensayos no destructivos son una rama del estudio de materiales que tiene como objetivo el estudio de las propiedades físicas de materiales que conforman piezas asociadas a la industria, sin comprometer la integridad física de dichas piezas.

### **2.1. Principales ensayos no destructivos**

Los ensayos no destructivos son las prácticas realizadas en piezas que desempeñan una función determinada, el ensayo tiene la finalidad de ser un control de calidad para que la pieza evaluada pueda ser aceptada para iniciar o continuar con su función o ser rechazada para iniciar un proceso de reparación o un reemplazo por una pieza nueva.

Los ensayos no destructivos se pueden clasificar en dos categorías, siendo estas los ensayos volumétricos y los superficiales. Los ensayos volumétricos son aquellos que nos permiten recoger indicaciones del volumen completo del objeto evaluado, incluyendo su parte interna. Por parte de los ensayos superficiales, estos dibujan las discontinuidades que se encuentran en la corteza de la pieza, mediante diferentes métodos se hacen notorios estos dibujos de discontinuidades, los cuales pueden ser líquidos penetrantes o partículas magnéticas.

### 2.1.1. Ensayos no destructivos volumétricos

- Ultrasonido: la finalidad de este ensayo es detectar las discontinuidades en la pieza a examinar basándose en el principio de reflexión de ondas acústicas, para así analizar el comportamiento de la reflexión de dichas ondas y, con ello, detectar anomalías en un cuerpo, tanto externas como internas.
  - El ensayo de ultrasonido consta del siguiente equipo:
    - **Palpador:** es un elemento que emite diferentes clases de ondas sonoras para examinar diversos tipos de piezas o materiales.
    - **Acoplante:** es un líquido que se aplica en el material a examinar, este se expande y su función es propagar la onda del palpador adecuadamente en la pieza.
    - **Equipo receptor:** encargado de recibir las ondas emitidas y mostrar una lectura de la información obtenida.
  
- Radiografía industrial: el principio de este ensayo es la emisión de haces de radiación electromagnética y poder ser enviados a una pieza sólida con el fin de analizar posibles discontinuidades internas que pueda contener dicha pieza. La clave de la detección de indicaciones en las piezas es la cantidad de radiación que sale de la pieza, esto en función de la capacidad de absorción y la permeabilidad de la radiación con la que cuente el material que constituye la pieza que se analiza.
  - Ventajas de la radiografía industrial:

- Se puede inspeccionar de manera sencilla componentes armados.
  - Las indicaciones se muestran y miden automáticamente.
- Desventaja del ensayo de líquidos penetrantes:
  - Costo demasiado elevado.
  - Representa peligro a los operarios, por radiación.
- Termografía: la termografía es una de las técnicas de detección de discontinuidades más utilizada cuando se trata de evaluar piezas que generen o reciban movimiento. Consiste en la visualización por medio de una cámara termográfica: el espectro infrarrojo que genera la elevación de la temperatura en piezas que intervienen directamente en el movimiento de un sistema, como, por ejemplo, ejes, cojinetes, chavetas y bielas. El espectro infrarrojo arrojado por esta observación debe ser congruente con el papel desempeñado por cada elemento y, de manera igual de importante, el calor debe manifestarse y disiparse de forma natural. Cuando se encuentran picos de calor reflejados en el espectro podremos intuir que la parte generadora del pico de calor está siendo sometida a un esfuerzo o una fricción inusual. Lo anterior se deriva de un funcionamiento inadecuado o una falla en alguna parte del sistema que influye directa o indirectamente en el funcionamiento del área examinada. Entre las ventajas de la inspección termográfica podemos encontrar la especificidad de la prueba debido a que el mapa de radiación denota el punto exacto en que se presentan las perturbaciones de temperatura. Lo anterior permite identificar el punto de referencia donde se puede encontrar o relacionar la anomalía o discontinuidad. Entre las situaciones adversas para la implementación de este ensayo tenemos el hecho de que las partes examinadas deben estar en operación; por lo tanto, debe ser practicado

en el sitio de operaciones y asumiendo cierto riesgo durante el funcionamiento de la posible falla.

### **2.1.2. Ensayos no destructivos superficiales**

- VOSO: este es el método no destructivo más utilizado en todas las industrias manufactureras y de mantenimiento. Se basa en la observación de las indicaciones que se puedan presentar en piezas o sistemas que involucren piezas de estudio, esta observación consiste en toda señal que se pueda presentar a los sentidos humanos, la visión, el oído, el tacto y el olfato, de ahí deriva el acrónimo que constituye su nombre. Inicialmente, esta operación se había trabajado con personas, quienes observaban los elementos tratados y detectaban por análisis los diversos problemas presentes de manera superficial. Sin embargo, en la actualidad se conocen métodos como la videoscopía, técnica que puede detectar discontinuidades ubicadas en sitios de difícil acceso para el ojo humano, es por ello por lo que se utiliza una sonda con cámara que registra lo observado. Sin embargo, las rutinas de inspección son aquellas que comprenden el uso de los cuatro sentidos antes mencionados para poder detectar anomalías que afecten el proceso estudiado.
- Líquidos penetrantes: el principal fundamento de este ensayo es la propiedad de la capilaridad en los materiales, la cual consiste en la capacidad que tiene un líquido de penetrar en las discontinuidades de un material. Cabe aclarar que este ejercicio debe ser realizado en materiales no porosos, siendo estos metálicos o no metálicos. De esa manera, el ensayo consiste en aplicar un líquido que contiene partículas suspendidas que actuarán en conjunto con el revelador. Posterior a esto, se limpia el líquido a fin de que solo quede el líquido internamente en las partes que

presentan discontinuidad; al aplicar el revelador este líquido evidenciará las discontinuidades existentes.

- Ventajas del ensayo de líquidos penetrantes:
  - Resultados de forma inmediata.
  - No están limitados a materiales ferromagnéticos.
  - Aplicación sencilla.
  - Se puede examinar equipos de cualquier dimensión.
  - No se necesitan equipos especiales.
  
- Desventaja del ensayo de líquidos penetrantes:
  - Solo detecta fallas superficiales.
  - No es una fuente de establecimiento de patrones.
  - La limpieza del objeto a evaluar debe ser óptima, dificultad en campo de mecánica.
  - No se puede tratar materiales porosos.

## **2.2. Aplicaciones de los ensayos no destructivos**

Los ensayos no destructivos comprenden herramientas para diversas áreas de la ciencia de materiales y el estudio de sus propiedades. Contar con el conocimiento de hacia dónde podemos orientar su uso nos abre una amplia gama de posibilidades en industria.

### **2.2.1. Defectología**

La defectología es una rama de la ciencia de los materiales que se ocupa de clasificar las discontinuidades presentes en una pieza maquinada o moldeada, por lo que es importante el material del cual se fabrica dicha pieza. Al clasificar

las discontinuidades se genera también el criterio de las discontinuidades aceptadas y las no aceptadas, lo cual determina el funcionamiento correcto y la calidad de la pieza que se estudia.

De esta forma se establece que una perturbación en la homogeneidad de la pieza significa una discontinuidad; sin embargo, queda clasificada como discontinuidad si no se afecta el rendimiento del servicio prestado por la pieza y, si en caso sí afecta el rendimiento del servicio o la integridad de la pieza, se considera un defecto. (Solé, 2019)

La defectología busca determinar qué es un defecto y qué no lo es, para así descartar o mantener en servicio la pieza que se está estudiando. Los tipos de discontinuidades pueden ser clasificados por su origen, de manera secundaria, y de servicio.

- Inherentes: se refiere a las discontinuidades presentes en la pieza que obedecen a la naturaleza de la creación de esta o a las cualidades fundamentales del material, como, por ejemplo, en materiales fundidos, porosidades o rechupes, salpicaduras y demás cualidades que el material en sus fases más primarias presente.
- De proceso: hace referencia a las discontinuidades generadas mediante los procedimientos necesarios para dar forma y características necesarias a la pieza, en este apartado encontramos dos clases:
  - Primario: procesos de cambio en la estructura del material al deformarlo, como el laminado o forjado.
  - Secundario: discontinuidades generadas por trabajos mecánicos en el material, tales como amolado, soldaduras, tratamientos térmicos.

- De servicio: son discontinuidades generadas por el trabajo realizado por la pieza que se pueden presentar en el exterior, así como en el interior. Dichas discontinuidades puede ser fatigas, fisuras, fracturas, óxido, acumulación de tensión, entre otras.

Debe aclararse que, para entender todo este tipo de discontinuidades, se debe conocer el proceso de fabricación y el historial de servicio y mantenimiento del equipo o pieza que se analiza.

Por último, se debe comprender el concepto y las diferencias al definir la incidencia de estas discontinuidades en la pieza. Para lo anterior se clasifica la importancia de las discontinuidades en tres grupos de indicaciones, que a continuación se explicarán.

- Indicaciones relevantes: son las indicaciones que hacen que la pieza pierda su capacidad de cumplir con sus funciones en el proceso para el que está destinada; estas indicaciones alertan de discontinuidades que ponen en riesgo la integridad de la pieza y del proceso.
- Indicaciones no relevantes: esta clasificación abarca todas aquellas discontinuidades que no afectan el funcionamiento de la pieza en servicio. Estas pueden ser la geometría de la pieza o fallas presentes como fisuras, poros o deformación, pero se reitera que son las que no generan problema alguno.
- Indicaciones falsas: son las indicaciones que, según ciertas condiciones en las que se realice el estudio o el tipo de pieza, reflejan un problema; sin embargo, se trata de lecturas erróneas consecuencia de interferencia a la señal de análisis, interferencia eléctrica y hostilidad del material. Esto

puede ser derivado de defectos en piezas, equipos de medición o condiciones adversas del sitio en que se realiza el estudio.

Para este estudio se utiliza un diagrama de flujo definido por la norma ASTM E1316:

Figura 4. **Proceso de aceptación o rechazo de las indicaciones reveladas por ensayos no destructivos**



Fuente: ASTM (2012). ASTM Designación: E 709 - 95 Guía Standard para Examen con Partículas Magnetizables. 2012.

### 2.2.2. Caracterización

Es el conjunto de estudios que tienen como finalidad determinar una o varias características puntuales de un material o pieza a través de ensayos

sobre el elemento estudiado. De tal manera es posible estandarizar la aceptación o rechazo de dicho material o pieza para determinadas funciones.

Por medio de los estudios de caracterización se pueden inferir lecturas y datos que proporcionan información concreta de las propiedades del material, tales como conductividad, maleabilidad, dureza, brillo o resistencia a la tracción. La caracterización beneficiará directamente al diseño de piezas, a los procesos de fabricación y de operación, así como a las condiciones de seguridad y tiempo de vida útil, estos últimos asociados al uso en servicio del elemento estudiado (Fombuena, 2016).

### **2.2.3. Metrología**

Ciencia destinada a la normalización y al uso correcto de patrones de medición. En esta rama de la ciencia se definen las medidas universalmente aceptadas y utilizadas, y se busca que puedan ser iguales o equivalentes en todas las regiones y los campos de acción (Escamilla, 2015).

La metrología es importante por la necesidad del ser humano de expresar en un lenguaje entendible las propiedades y características del mundo que le rodea y todos sus elementos. Los ensayos no destructivos constituyen una herramienta muy útil en la metrología, ya que pueden realizar mediciones de características sin afectar el objeto de estudio, prueba de ello será determinar la magnitud de características como la conductividad eléctrica, la capilaridad, la capacidad de luminiscencia, entre otras. La conclusión de la metrología debe ser que conocer los patrones de medición, las escalas y su correcto uso son un componente fundamental en el estudio de materiales (Restrepo, 2007).

### 2.3. Propiedades físicas de los materiales magnéticos

El magnetismo se entiende como esa fuerza que puede ejercer un cuerpo atrayendo a otro derivado de una condición determinada en la estructura atómica de ambos materiales. Esta condición determinada se refiere, en concreto, a los momentos magnéticos de las partículas que constituyen el spin, el átomo, el material o alguna intervención de un fenómeno externo, como la inducción eléctrica (Walker, 2008).

El giro de los átomos genera el magnetismo en el material. Si los átomos cuentan todos con el mismo momento en el spin, entonces este material presentará magnetismo; por otra parte, si la mitad de los átomos tienen momento en sentido horario y la otra mitad en sentido antihorario, el material no presentará propiedades magnéticas. Según el modelo de Amper, el sentido del momento determinará la polaridad magnética del material, entendiendo esta como positiva o negativa, o polo norte o sur (Pagnola, 2015).

Los materiales magnéticos pueden presentar dos naturalezas:

- Permanentes: son materiales cuyas propiedades intrínsecas generan un magnetismo aún sin existir una estimulación externa.
- Inducidos: se generan a través de la estimulación por inducción de campo, ya sea magnético o eléctrico. Cuando esto ocurre se genera un cambio en el spin de los átomos aumentando así la capacidad magnética del material. Entre los diversos tipos de materiales magnéticos podemos encontrar: diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos y ferritas.
  - Diamagnéticos: los materiales diamagnéticos son aquellos que son afectados por la influencia de un campo magnético. Esa

estimulación genera un campo, pero en sentido opuesto al que recibe, de tal manera que estos materiales repelen a los materiales magnéticos. Ejemplos como el mercurio, el plomo, la plata, el bismuto y el atimonio son materiales que al tratar de magnetizarse repelen al elemento magnetizador.

- Paramagnéticos: es un fenómeno físico que experimentan ciertos materiales que cuentan con los dipolos magnéticos de los átomos que los conforman ordenados de una manera aleatoria; sin embargo, al aplicarles la influencia de un campo magnético los dipolos se orientarán de forma paralela al campo, presentando así propiedades magnéticas. Algunos materiales con estas características son el oro, el aluminio y el magnesio, que al ser inducidos presentan atracción.
- Ferromagnéticos: son aquellos materiales que por condiciones específicas pueden presentar magnetismos espontáneos, estos pueden surgir por exposición a cambios de temperaturas severos o tratamientos físicos que puedan organizar los dominios magnéticos presentes en la extensión del material. Se entiende dominio como las regiones formadas en el interior de la pieza. Estos materiales tienen la característica que pueden actuar como imanes temporales al verse inducidos por campos magnéticos o electromagnéticos. Ejemplo de estos materiales son el hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio.

#### **2.4. Propiedades físicas de los materiales no magnéticos**

Los materiales no magnéticos son aquellos que, al estar en contacto de un campo magnético, no recibirán una excitación con la cual el momento magnético o el spin atómico se vea todo orientado en un mismo sentido y

dirección. Lo anterior provoca, como consecuencia, que estos materiales no puedan atraer a otros. Estos materiales no magnéticos son los polímeros, la madera, los minerales libres de el hierro, los cerámicos, entre otros.

En muchas ocasiones, la aplicación más útil de los materiales no sensibles al magnetismo ni a la conductividad eléctrica, que muchas veces son los mismos, es la función de aislar ciertos componentes sensibles al electromagnetismo. Por lo tanto, impide que estos sí actúen bajo la excitación de un campo, como los aislantes de cables o el mango de un yugo magnético (Newell, 2010).

### **3. ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Un ensayo para practicarse en materiales comprende toda su teoría, pero también las diferentes variables que se presentan al momento de su ejecución, como lo son los materiales, las condiciones externas y los procedimientos de una correcta ejecución. En este capítulo se contemplará todo eso.

#### **3.1. Tipos de ensayo de partículas magnéticas**

Los ensayos de partículas magnéticas se caracterizan fundamentalmente por inducir magnetismo sobre materiales ferromagnéticos o paramagnéticos. Sin embargo, es posible clasificar el ensayo basándonos en las variaciones que se pueden encontrar en su ejecución. La clasificación es de esta manera:

- Ensayo con partículas secas: ideal para trabajos de laboratorio e ilustrativos, ya que se puede realizar sin limitación de temperatura y debe ser en un ambiente sin corrientes de aire que puedan provocar que los resultados sean inexactos o fraudulentos.
- Ensayo con partículas húmedas: ensayo recomendado para piezas con geometría más compleja y donde necesitamos que las partículas viajen por todas las partes de la pieza.
  - Ensayo con partículas húmedas, vehículo acuoso: partículas suspendidas en una solución con base de agua con aditivos que evitan situaciones como la corrosión en los materiales.

- Ensayo con partículas húmedas, base derivado del petróleo: se utiliza cuando se aplica el ensayo en materiales muy sensibles a la corrosión o que deben mantenerse lubricados.
- Ensayo con partículas fluorescentes: esta variación del ensayo nos dota de una ventaja muy importante como es el tener una referencia visual más agresiva de los puntos donde se puedan aglutinar las partículas por medio de la iluminación que genera la fluorescencia de las partículas. Siempre se debe practicar en un entorno aislado y oscuro, iluminado únicamente por luz negra.
- Ensayo según tipo de corriente magnética inducida:
  - Ensayo con un imán permanente: ensayo que se realiza con imanes potentes que mantienen en todo momento su magnetismo, pero que lo pierden a través del tiempo. Esta particularidad hace ineficiente este equipo, ya que podría verse insuficiente para la realización del ensayo en un momento inesperado.
  - Ensayo con electroimán en inducción continua: los electroimanes de inducción continua son los yugos magnéticos, los cuales se deben calibrar según la norma. Estos imanes tienen una particular fiabilidad siempre que el embobinado y la corriente suministrada tengan óptimas condiciones.

### **3.2. Ensayo de partículas magnéticas en inducción continua con yugo magnético**

En este END se intervienen materiales ferromagnéticos que son cargados por un campo electromagnético generado por el embobinado de un yugo magnético, lo que permite que pase la corriente eléctrica por el mismo. Por otro

lado, también se cargan por un imán permanente con una buena salud que permite la imantación adecuada de la pieza.

El material examinado, al estar en contacto con el electroimán en que se convierte el yugo, también presenta características magnéticas. Es de esta manera que las discontinuidades del material, al estar cargado totalmente por campo magnético, presentarán cierto comportamiento anómalo, el cual es la clave del estudio por partículas magnéticas. Dicho comportamiento son las fugas de campo que se generan principalmente en las discontinuidades perpendiculares a las líneas de campo, siendo las discontinuidades paralelas mostradas únicamente como una salpicadura (“ASTM E 709,” 2012).

Lo anterior se entiende como la liberación de las ondas electromagnéticas entre las discontinuidades, pero para detectar estas discontinuidades se aplican partículas magnéticas, ya sea de naturaleza seca o las suspendidas en vehículo que podría ser de base agua con aditivos o de derivados del petróleo.

Para que este ensayo sea exitoso es necesario conocer la naturaleza de la pieza y su historia tanto como sea posible. Saber la función principal de la pieza en su operación, así como los trabajos que se le han realizado, tales como trabajos en frío o tratamientos térmicos, esto ya que puede que alguna discontinuidad encontrada puede ser ocasionada por estas situaciones.

### **3.3. Partículas magnéticas**

Las partículas magnéticas constituyen el medio de difusión de la energía electromagnética que es empleada para poder analizar los distintos cuerpos ferromagnéticos que se ensayarán.

### **3.3.1. Clasificación de las partículas magnéticas**

Las partículas magnéticas, como su nombre las describe, son un tipo de polvo fabricado a partir de materiales ferromagnéticos. Los materiales de los cuales se fabrican estas partículas deben ser tratados específicamente contra la corrosión para evitar la contaminación de las piezas examinadas.

Las partículas magnéticas son las que harán del ensayo una práctica útil para la identificación de discontinuidades superficiales o subsuperficiales. Sin embargo, por las condiciones de las piezas y de la realización del ensayo se han desarrollado diferentes tecnologías que dotan de cualidades a las partículas, generando así una clasificación de estas y una gran versatilidad en el ensayo.

- Clasificación de las partículas magnéticas:
  - Partículas húmedas: es una sustancia acuosa preparada de manera especial, con partículas de grafito o metales ligeros suspendidas en el líquido, cuyo fin es ingresar en las discontinuidades presentes en el material, adherirse a las partes porosas y llegar a cada rincón de la pieza. Para ello, se fijarán en dichas discontinuidades impulsadas por las fugas del campo presentes en la pieza a examinar. Las partículas húmedas se subdividen a su vez en partículas de vehículo acuoso acondicionado, que se refieren a las que están suspendidas en una solución a base de agua, pero enriquecida de tal manera que no ocasione corrosión ni reacciones imprevistas a los materiales. En cambio, las partículas de derivados del petróleo son de suma ayuda, ya que no corroen los materiales y ayudan a su lubricación;

no obstante, su desventaja es que se limitan por la temperatura de combustión y son inflamables.

- Partículas fluorescentes: son partículas especiales que son sensibles a la exposición de luz negra, esto resulta útil para evidenciar las discontinuidades más pequeñas o ubicadas en secciones poco visibles.
- Partículas secas: son las partículas que no se encuentran inmersas en un medio líquido, solo se espolvorean o esparcen a lo largo de la pieza con la finalidad de que cuando se induzca el campo magnético puedan aglutinarse en la discontinuidad.

### **3.3.2. Usos específicos de las partículas magnéticas**

Las partículas, al ser pequeños residuos flotantes de materiales ferromagnéticos sensibles a la inducción magnética, su principal uso es ser estimuladas por este campo magnético con el fin de orientarlas y aglomerarlas en las áreas que presentan fuga de campo magnético por discontinuidades presentes en el cuerpo de la pieza. Al conocer las cualidades que pueden tener las partículas en su uso, reforzamos la idea de que las partículas tienen como fin primordial evidenciar las discontinuidades; al ser este su uso, debemos tomar en cuenta situaciones tales como la iluminación, ventilación y la humedad.

Las partículas magnéticas deben contar con la cualidad de ser visualizadas fácilmente cuando se ejecute el ensayo. Si se utilizan partículas magnéticas fluorescentes se debe adecuar el área de trabajo con luz negra que permita el contraste ideal para la visualización de las aglomeraciones. Por el contrario, si se utilizan partículas convencionales no fluorescentes se deberá buscar un color que genere contraste total entre material y partículas, como, por ejemplo, pieza plateada con partículas o hierro negros con partículas color plata.

### **3.4. Yugo magnético**

El ensayo de partículas magnéticas como cada uno de los diferentes ensayos no destructivos son realizados mediante un principio canalizado en un material o en una máquina, para nuestro estudio este será el yugo magnético, que induce magnetismo en el material ensayado.

#### **3.4.1. Descripción y funcionamiento teórico del yugo magnético**

El yugo magnético es un instrumento utilizado para la magnetización de piezas ferromagnéticas o paramagnéticas. Este instrumento, que puede ser denominado de laboratorio, usa para su tarea el principio de la generación de campo magnético mediante la inducción de corriente eléctrica.

La fuerza electromagnética es el fenómeno en el cual se produce un campo magnético capaz de atraer materiales magnéticos y paramagnéticos al hacer circular corriente eléctrica en un embobinado hecho de un material sensible a la corriente eléctrica que rodee a un material sensible al magnetismo. La fuerza electromagnética será más fuerte mientras que existan más vueltas en el embobinado, así como conforme la corriente se incrementa.

Además, el yugo magnético de corriente alterna, denominados también permanentes, para lo que son requeridos pesos de hasta 4.5 kilogramos y una distancia entre polos de 300mm o menos, cuentan con una fuerza de separación de 2.25 kgf. Los yugos potenciados por corriente directa se conocen también como imanes permanentes y son requeridos cuando se debe contar con una distancia entre polos menor a 75 mm. (Guachun & Raposo, 2018)

Este instrumento puede ser provisto de diferentes tipos de corriente, según sea la aplicación que se desea. Para los yugos se puede encontrar la corriente alterna, la corriente alterna rectificada de media onda, la corriente rectificada de onda completa y la corriente directa. La corriente alterna dota del ensayo de la cualidad del efecto piel. Esta práctica sirve para identificar grietas y discontinuidades leves generadas por la fatiga. Este procedimiento se da especialmente en los elementos que son sometidos a cargas cíclicas o impactos de servicio. En cambio, la corriente alterna rectificada de media onda es ideal para el desarrollo del ensayo de partículas magnéticas secas, esto ya que la magnetización de la pieza es total y de gran magnitud, lo cual facilita el desplazamiento de las partículas hacia s discontinuidades que generan fugas de campo (Moro, 2000).

La corriente alterna rectificada de onda completa es ideal para poderse implementar con corriente monofásica o trifásica, considerando que al hacerlo con corriente trifásica el valor del amperaje descenderá, haciendo más segura la práctica del ensayo. Esta variante es ideal para el estudio de las piezas enchapadas o recubiertas de patinas. Debemos, por último, tomar en consideración que la fuerza ejercida por el magnetismo a las partículas será de menor intensidad, por lo que se debe ejecutar el ensayo con mayor tiempo de inducción y mayor cuidado del desplazamiento de partículas.

### **3.4.2. Uso del yugo magnético**

Al conocer las capacidades y cualidades del yugo magnético, se puede entender que su uso principal es el de dotar de campo magnético a las piezas estudiadas por medio del flujo eléctrico, para que estas piezas puedan, si cuentan con discontinuidades, generar el flujo necesario para aglomerarlas.

Su modo de uso debe ser respetando los valores de corriente y voltaje que el fabricante indique en las especificaciones técnicas. Además, el lugar debe contar con una instalación ideal y se debe usar equipo de protección como lentes de seguridad, guantes dieléctricos, en caso de que el yugo tuviera daño en su cable de corriente o embobinado.

### **3.5. Interacción del yugo magnético con los materiales magnéticos y no magnéticos**

Todos los materiales existentes están compuestos por electrones, los cuales cuentan con cargas eléctricas y movimiento dentro de los átomos, lo cual genera una interacción con la energía del magnetismo. Dependiendo de las características específicas de cada material la interacción antes mencionada será baja y hasta despreciable o puede llegar a ser muy intensa.

#### **3.5.1. Interacción del yugo magnético con materiales magnéticos**

Los materiales magnéticos, como el níquel, el cobalto, el hierro, el acero y hierro enriquecido de carbono presentarán un estímulo muy potente en presencia de un yugo que los induzca, esto debido a la predisposición en su composición atómica, lo que los lleva a generar un campo capaz de generar atracción a otros materiales magnéticos. Mientras más fuerte sea el campo inducido, más envolvente será el efecto magnético que genere el material. Por lo tanto, se tiene que incidir una carga más fuerte para separar los materiales y se requiere una mayor cantidad de tiempo para la desmagnetización de la pieza (Rincón Urbina et al., 2015).

Tal como se ha expuesto, los materiales aptos para este ensayo son los materiales ferromagnéticos y paramagnéticos. Dichos materiales se excitarán sus espines atómicos lo cual provocará que manifiesten magnetismo. Los materiales paramagnéticos serán más difíciles de mantener magnetizados y perderán la influencia al retirar el yugo; por su parte, los ferromagnéticos pueden conservar magnetismo residual por más tiempo y podrían requerir de desmagnetización.

### **3.5.2. Interacción del yugo magnético con materiales no magnéticos**

Los materiales no magnéticos son aquellos que el momento angular de sus átomos no genera un campo debido a que sus partículas son inmunes a la excitación generada; por lo tanto, el yugo no se fijará y la hipotética aplicación de partículas magnéticas provocará que las mismas caigan fuera de la pieza.

El yugo magnético tiene interacción con los materiales no magnéticos en escenarios tales como que se encuentran piezas ferromagnéticas enchapadas o recubiertas a modo de protección, que también puede ser pintura o anticorrosivos. En tal caso la aplicación ideal será utilizar el ensayo con yugo impulsado por corriente alterna rectificada de onda completa, de preferencia con corriente trifásica.

### **3.6. Diseño de equipo de laboratorio para realización de práctica del ensayo de partículas magnéticas**

La buena práctica de un ensayo depende, en gran parte, de contar con procedimientos, equipos y materiales competentes y adecuados para la

realización. En este tipo de procedimientos cualquier alteración que dificulte la buena práctica dará como consecuencia lecturas erróneas.

### **3.6.1. Equipo para utilizar**

- Yugo magnético: conectado a la corriente.
- Partículas magnéticas secas no fluorescentes: derivadas de materiales ferromagnéticos, sin óxido y de preferencia con aditivos que lo eviten.
- Banco de trabajo: de superficie hecha de polímero, que no tenga partes que puedan llegar a interferir con el yugo, libre de corriente eléctrica.
- Equipo de seguridad: se recomienda utilizar gafas de seguridad industrial, así como guantes de protección eléctrica que prevean cualquier situación adversa derivada de un inconveniente con el equipo de laboratorio y la abrasión a la piel de las partículas.
- Aplicador de partículas magnéticas con la capacidad de rociar polvos secos de alta abrasión.

### **3.6.2. Materiales que ensayar**

Se ensayarán los materiales ferromagnéticos, los cuales ya fueron aclarados en este trabajo. Estas consideraciones son necesarias, ya que se debe tener pleno conocimiento de que solo los materiales excitables por el yugo magnético permitirán interpretaciones del ensayo.

Con lo anterior, es fundamental también considerar que los materiales recubiertos o enchapados pueden ser estudiados con corriente alterna rectificada de onda completa, aún si no se tiene contacto directo con los materiales ferromagnéticos que sí están presentes debajo del recubrimiento.

Las piezas que se ensayarán deberán ser exclusivamente de características ferromagnéticas, de geometrías simples, tales como barras sólidas, laminas delgadas o de grosores medidos. Tomaremos como referencia piezas mecánicas como bielas de vehículos compactos, llaves de cola y corona, manerales de herramientas de taller. Perfiles simples o soldados de un máximo de un metro de longitud.

### **3.6.3. Procedimiento**

- Limpieza de la pieza: las piezas que serán estudiadas deben ser limpiadas de manera óptima para la realización del ensayo. Se debe procurar remover todas las incrustaciones e impurezas posibles que se ubiquen en la pieza, retirar la grasa presente y cualquier mancha o pintura que genere una película no deseada o útil, que pueda impedir el aglutinamiento de partículas en discontinuidades, modificando así la lectura del ensayo. Para realizar una limpieza previa estando fuera del área de trabajo se puede emplear agua; si tenemos riesgo de corrosión deberá ser agua desmineralizada en la menor cantidad posible y secar de inmediato apoyándose de aire comprimido con una pureza máxima y un paño de limpieza. Cuando se realiza el ensayo utilizando partículas magnéticas suspendidas en solución de derivados de petróleo se cuenta con la ventaja de tener una protección contra la corrosión durante el desarrollo del ensayo, así mismo, es ideal en las partes móviles con necesidad de lubricación.
- Acondicionamiento del sitio de trabajo: el ensayo de partículas magnéticas consiste en su totalidad de desplazar finas partículas derivadas de materiales ferromagnéticos sobre piezas metálicas, muchas veces de formas irregulares en cierta proporción. Asimismo, al referirnos en este trabajo a la variante del ensayo que utiliza partículas secas no

fluorescentes, es de suma importancia un ambiente de trabajo que goce de ciertas características. Además, debe reinar luz blanca que permita una iluminación total del banco de trabajo, el yugo y la pieza. La intensidad deberá ser de 1060 lux en dicha área de trabajo. La atmosfera de trabajo debe ser seca, libre de humedad, con una temperatura en torno a los 10° Celsius y un máximo de 35° Celcius, sin corrientes de aire ni entradas de agua que puedan afectar el área de trabajo. Finalmente, se debe contar con equipo de protección personal. Se recomienda camisa industrial de manga larga, calzado industrial con punta reforzada, guantes capaces de soportar la abrasión leve y de preferencia dieléctricos, lentes de protección y casco.

- Magnetización de la pieza: la magnetización de la pieza y de las partículas a utilizar es la parte más importante del ensayo, ya que de ello depende la lectura de discontinuidades presentes en la pieza. Entre los tipos de magnetización que se pueden practicar se encuentra la inducción continua directa con las variaciones según cada tipo de corriente que se puede utilizar y la inducción residual. La inducción residual o magnetización indirecta se genera por aplicar campos magnéticos generados por bobinas generadoras de campo magnético. Este método se aplica a piezas con una alta retentividad magnética y con método de partículas húmedas, ya que facilita el desplazamiento por su medio líquido con la inducción residual, en contraste con las partículas secas. En cambio, la inducción continua directa es generada por yugo magnético en contacto con la pieza a examinar, para ello se requiere una limpieza completa del área que hará contacto con las puntas del yugo, ya que los desechos ubicados en dicha área pueden llegar a calentarse y dañar la pieza y el yugo. Para este tipo de inducción se recomienda ampliamente la corriente alterna rectificadas de media onda, ya que esta es ideal para la inducción continua y las partículas secas; debe ser utilizada en corriente monofásica y es muy

compatible con discontinuidades superficiales, subsuperficiales, discontinuidades en soldaduras y en fundiciones. La corriente alterna rectificada de onda completa se recomienda para generar magnetización residual y si se cuenta con corriente del tipo trifásica, así como la corriente alterna no rectificada, para generar el efecto piel que sirve para evidenciar grietas por fatiga. La inducción residual se utiliza principalmente cuando la geometría de la pieza es muy irregular.

- Ejecución de la magnetización: colocar los electrodos de las puntas del yugo contra la pieza y sostener firmemente, se hace circular la corriente a través del yugo y, en consecuencia, a través de la pieza de estudio. Esto genera un campo magnético de suficiente intensidad para la aplicación de las partículas magnéticas y su posterior desplazamiento. Se debe mantener limpia la parte de contacto entre yugo y pieza de estudio para evitar quemaduras por arco y daño metalúrgico en la pieza. El uso de corriente alterna no rectificada limitará el alcance del ensayo a solo discontinuidades superficiales. Posterior a la aplicación de las partículas magnéticas, se debe esperar el tiempo a que las ondas de campo magnético y las eventuales fugas hagan visibles las aglomeraciones de partículas para detectar las discontinuidades presentes y evaluarlas.
- Un examen completo consiste en realizar el mismo procedimiento múltiples veces, alternando las puntas del yugo una ubicada en la parte más próxima al ensayador y la otra punta a 45° hacia la izquierda respecto de una vertical imaginaria frente a quien realice el ensayo, luego alineado a esta vertical imaginaria y finalmente 45° hacia la derecha respecto de la vertical imaginaria desplazándonos en cada corrida respecto de la anterior. Esto es debido a la cualidad del ensayo ya explicada, que indica que solo las discontinuidades perpendiculares al campo magnético son reveladas con mayor vistosidad.

- Toma de datos: se requiere una documentación de lo observado durante la ejecución del ensayo, así como el historial y las funciones de la pieza, a fin de elaborar un perfil de aceptación o rechazo de la pieza con base en lo hecho. Esto se ampliará más adelante en el trabajo.
- Desmagnetización de la pieza: este es un paso que, si bien podemos considerar opcional, debemos entender que es una buena práctica para devolver la pieza estudiada a su estado original previo a la realización del examen, aún más recomendable en materiales ferromagnéticos. Los materiales ferromagnéticos, al tener un coeficiente magnético muy alto y tender por naturaleza a convertirse en imanes permanentes, suelen albergar campo magnético después de concluido el ensayo y perderlo conforme transcurre el tiempo. La presencia de este campo residual no afecta en el desempeño de las funciones mecánicas de la pieza; no obstante, la tendencia a presentar adhesión de material ferromagnético puede exponer a la pieza y, por ende, al sistema en el cual actúa, a la atracción de desechos tales como virutas y escorias que puedan ocasionar daños o abrasiones. La desmagnetización se realizará utilizando el yugo magnético. El procedimiento consiste en colocar los dos polos del yugo sobre la pieza y alejarlos del área, repitiendo este procedimiento varias veces, posteriormente se debe retirar el yugo de manera suave mientras aún esté energizado. El ensayo se debe realizar por lo menos dos veces y dejar descansar la pieza.
- Limpieza de las partículas magnéticas: la recomendación principal para la limpieza de las partículas secas sobre la pieza ensayada es el sopleteo con aire comprimido para la remoción de toda partícula sobre la estructura de la pieza; posteriormente, elaborar una limpieza manual con trapos especiales. El área de trabajo finalmente será limpiada de manera tradicional.

### **3.6.4. Datos**

La transformación de procedimientos en información útil para interpretar es fundamental en los ensayos como los discutidos en este trabajo. Poder recabar datos nos brinda la posibilidad de generar conclusiones acerca de las piezas ensayadas, como si es aún viable operar con dicha pieza o debe ser descartada.

#### **3.6.4.1. Toma de datos**

El valor del ensayo de partículas magnéticas reside en la información que sea posible generar. Más aún, que se pueda clasificar y que, mediante parámetros establecidos por la teoría general, nuestro criterio objetivo y las condiciones que deba cumplir cada pieza, se pueda establecer un criterio capaz de aceptar o rechazar una pieza mediante este estudio.

A continuación, se presenta la lista de parámetros, condiciones y lecturas que deben tomarse en consideración previo y durante el examen:

- Estado del área a ser examinada: si esta tiene recubrimientos aislantes o recubrimientos en general, si presenta corrosión o texturas por maquinados o erosiones.
- Función que desempeña la pieza en servicio: saber si se está evaluando piezas de transmisión de movimiento, piezas expuestas a cargas cíclicas, herramientas manuales o piezas de soporte.
- Tipo de material a examinar: comprobar si se trata de materiales ferromagnéticos o paramagnéticos, si son fundiciones puras o aleaciones, si cuentan con enchapado o maquinado en frío que pueda cambiar las propiedades del material ferromagnético.

- Tipo de partículas a utilizar: para efectos de este trabajo, validar que se cuente con partículas magnéticas secas no fluorescentes.
- Proceso de magnetización (continuo o residual): validar la acción del yugo magnético.
- Corriente de magnetización (CA, CA rectificada de media onda, CA rectificada de onda completa, corriente continua).
- Medio para establecer la magnetización (yugo).
- Intensidad del campo aplicado por el yugo.
- Interacción y evaluación de las indicaciones mostradas: el tipo de indicación determinará si se trata de discontinuidades que puedan descartar la pieza.
- Criterios de aceptación o rechazo basados en las funciones de la pieza y la naturaleza de las indicaciones: dependiendo de las funciones y condiciones de la pieza se podrá dar interpretación a las indicaciones.
- Técnica de desmagnetización (si es requerida).

#### **3.6.4.2. Interpretación de los datos tomados**

Los resultados registrados podrán darnos una orientación correcta para determinar la salud de la pieza y considerar si aún cuenta con un funcionamiento. Además, permiten confirmar si las discontinuidades son aceptadas o rechazadas.

Los parámetros de aceptación y rechazo serán muy variables, dependiendo de las características de las piezas evaluadas, su función desempeñada e historial de trabajos. Una soldadura que soporte el peso de una estructura o que resienta el movimiento de una pieza deberá ser rechazada si muestra porosidades en su extensión. Así mismo, un maneral que presente un golpe superficial que no se extienda al interior de la pieza será aceptado, porque dicha indicación puede solventarse fácilmente. Por lo tanto, en este trabajo

reparamos parámetros de aceptación con la finalidad que los usuarios estén familiarizados con estos conceptos al aplicar normas específicas.

Con base en las anotaciones registradas por recomendación de la sección anterior y la teoría de este trabajo, se establecen parámetros generales de aceptación o rechazo de las piezas.

- Parámetros de aceptación:
  - Si una pieza sometida a cargas cíclicas es sometida al ensayo utilizando corriente alterna y esta no muestra indicaciones, será aceptada.
  - Si piezas sometidas a esfuerzos, ensayadas con corriente alterna rectificadas de media onda, no presenta aglomeraciones en su extensión, será aceptada.
  - Si una pieza muestra indicaciones leves en áreas que sirvan como material de sacrificio, será aceptada.
  - Si las piezas destinadas a la transmisión de movimiento no presentan indicaciones, serán aceptadas.
  
- Parámetros de rechazo:
  - Las piezas de transmisión de movimiento o sometidas a grandes esfuerzos que muestren indicaciones sin verse a simple vista en la geometría de la pieza serán descartadas debido a que presenta discontinuidades internas que desembocarán en fallas.
  - Las soldaduras que aglutinen partículas en más de un punto serán descartadas.
  - Las indicaciones extendidas por más del 20% de la pieza de manera continua descartan la pieza.

### **3.6.5. Fundamento teórico para la guía**

La norma ASTM E70995 ha regulado la implementación del ensayo para obtener resultados concisos. Como se ha descrito, a manera de marco teórico, el campo electromagnético y la sensibilidad de los materiales ferromagnéticos a él fundamentan el funcionamiento de la prueba.

El estudio de materiales y su incidencia en los trabajos mecánicos validan la aceptación o descarte de piezas, principalmente se debe entender que cualquier discontinuidad en materiales es suficiente para poner en duda la integridad de las piezas.

## **4. RESULTADOS DEL ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL MANUAL GENERADO**

### **4.1. Aplicaciones de los nuevos procedimientos propuestos en materiales**

Al conocer los procedimientos correctos, los estudiantes pueden comenzar un proceso de inferencia relacionando su entorno con lo aprendido, a medida que estudiamos y dominamos el ensayo de partículas magnéticas los conocimientos se podrán plasmar en lo que nos rodea.

#### **4.1.1. Materiales magnéticos**

Los materiales ferromagnéticos son los más beneficiados cuando se ha implementado un ensayo de partículas magnéticas orientado a su máximo aprovechamiento. Con él podemos comprobar el estado de áreas de riesgo por fatigas o trabajos en frío o tratamientos térmicos.

#### **4.1.2. Materiales no magnéticos**

Por parte de los materiales que consideramos no magnéticos la única funcionalidad admitida del yugo magnético en ellos será la de comprobar si existe a lo largo de su estructura una incrustación, prótesis o refuerzo con algún material ferromagnético.

## **4.2. Aplicaciones del yugo magnético**

En el trabajo de campo y aplicaciones de ingeniería siempre es importante contar con herramientas que nos puedan brindar aplicaciones específicas con resultados confiables, es por ello por lo que conocer el correcto uso del yugo magnético y su forma de interactuar con los materiales que nos rodean es fundamental.

### **4.2.1. Electromagnetismo y su interacción con los materiales**

El electromagnetismo inducido en los materiales es una herramienta sumamente valiosa en el sentido de que aplicando las partículas magnéticas conoceremos las partes expuestas a golpes o a esfuerzos constantes que puedan hacer que nuestra pieza falle.

La principal ventaja del electromagnetismo inducido es que, así como se puede cargar de este a la pieza, también utilizando el yugo magnético se puede retirar la magnetización para que las piezas aceptadas puedan volver a servicio.

Las piezas inducidas con un electroimán presentan la excitación necesaria para convertirse en imanes dando así toda la capacidad de magnetizar partículas que evidencien las discontinuidades. Como se comentó, también es ideal comprobar la conductividad magnética de los materiales que la requieran.

### **4.2.2. Yugo magnético como herramienta auxiliar para la reparación de piezas mecánicas**

Las piezas mecánicas son de gran ayuda en los diferentes trabajos relacionados a la industria, es por ello por lo que, mientras más herramientas y

mecanismos auxiliares encontremos para manipularlos y diagnosticarlos, estaremos en un mejor contexto para los trabajos industriales y de ingeniería.

El yugo magnético, al ser un imán inducido constantemente, cuenta con una gran fuerza de sujeción hacia los materiales ferromagnéticos; por lo tanto, el yugo magnético es ideal para la sujeción de piezas y probetas que deban ser examinadas mediante inspección visual, líquidos penetrantes, libres de agentes ferromagnéticos en suspensión, realizar mediciones de precisión, documentación gráfica de la pieza, etiquetado, entre otras funciones. Idealmente no debe utilizarse en procedimientos que intervengan la estructura de la pieza, ya que el campo magnético inducido puede ser perjudicial.



## CONCLUSIONES

1. Los ensayos no destructivos representan una herramienta fundamental en el campo de ingeniería y de la industria mecánica, debido a que son ideales para realizar un control de calidad efectivo, que pueda determinar la salud o correcta fabricación de una pieza en función de sus materiales y procesos de elaboración. Este control de calidad se realiza sin comprometer la integridad de la pieza y recuperando indicaciones que nos permitan evaluar si la pieza es apta para operación o no, o si requiere un proceso de reparación o reemplazo.
2. El ensayo de partículas magnéticas con yugo magnético analizará a los materiales ferromagnéticos, los cuales serán estimulados por el yugo, con ellos se producirán campos magnéticos en el interior de la pieza que, de existir discontinuidades, esto generará fugas de campo y aglomerará partículas magnéticas, dibujando así las indicaciones de posibles discontinuidades.
3. Una aplicación metódica y correcta del ensayo de partículas magnéticas será un apoyo importante para los estudiantes que lo ejecuten, para entender cómo se comportan las discontinuidades y fallos en las diferentes piezas que se ensayarán. El estudiante podrá comenzar a familiarizarse con los conceptos de discontinuidad, rechazo y aceptación, para que al aplicar estos conceptos en la industria y regido por la norma correspondiente pueda realizar un trabajo de mejor calidad.



## RECOMENDACIONES

1. Decidir qué clase de ensayo no destructivo utilizar con base en el tipo de discontinuidad que se desea controlar. Los ensayos no destructivos volumétricos nos permitirán encontrar indicaciones por la parte interna del volumen de la pieza ensayada, mientras que los superficiales nos revelarán indicaciones dibujando las mismas solo sobre la superficie de la pieza, incluyendo también las que sean detectadas de manera subsuperficial.
2. Ensayar elementos mecánicos con el ensayo de partículas magnéticas solo para aquellos elementos que puedan presentar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, para ello utilizar el yugo con corriente continua para poder encontrar todas estas indicaciones. La limpieza es fundamental para esta práctica y el evitar indicaciones faltas o la omisión de estas.
3. Se debe tener particular rigor para aplicar los criterios de aceptación o rechazo, debido a que de la decisión que se tome al analizar las piezas ensayadas y la información que nos proporciona dependerá la integridad de los operarios asociados a la pieza, así como del proceso y todo el sistema en el que opere.



## REFERENCIAS

1. ASTM (2012). *Guía standard para Examen con Partículas Magnéticas*. Pensilvania: Autor.
2. Escamilla, A. (2015). *Metrología y sus aplicaciones*. Editorial Patria.
3. Fombuena, V. Fenollar, O. Montañés, N. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
4. Guachun, F. P., & Raposo, V. J. (2018). *Diseño y calibración de un magnetómetro de muestra vibrante: caracterización de materiales magnéticos*. *Momento*. 56, 45–62. Recuperado de <https://doi.org/10.15446/mo.n56.69825>
5. Moro, M. (2000). *Introducción, conceptos e instrumentos*. Universidad de Oviedo.
6. Newell, J. (2010). *Ciencia de los materiales aplicaciones en ingeniería*. Afaomega.
7. Pagnola, M. Sirkin, H. (2015). *Materiales magnéticos modernos*. *Petroquímica, Petróleo, Gas Química & Energía*. 2015. No. 315, pp. 2–7. DOI 10.13140/RG.2.1.4821.7681.

8. Restrepo, J. (2007). *Metrología Aseguramiento metrológico industrial*. (Vol. 2). ITM.
9. Rincón Urbina, S. R., Calvo Cobos, D. A., & Estrada Villa, E. J. (2015). *Técnica de partículas magnéticas: caso del laboratorio del CAMAN*. *Ciencia y Poder Aéreo*, 10(1), 59. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.435>
10. Solé, Ó. (2019). *Terminología propia de los ensayos no destructivos: discontinuidad, imperfección, indicación y defecto*. Online.
11. Walker, S. (2008). *Magnetismo*. Minneapolis. EE.UU.: Lerner Group, Inc.

# APÉNDICE

## Apéndice 1. Trifoliar: Guía para la práctica del ensayo de partículas magnéticas con yugo magnético, en el laboratorio de metalurgia, Universidad de San Carlos de Guatemala

### DATOS Y CRITERIOS

A CONTINUACIÓN, SE PRESENTA LA LISTA DE PARÁMETROS, CONDICIONES Y LECTURAS QUE DEBEN TOMARSE EN CONSIDERACIÓN PREVIO Y DURANTE EL EXAMEN.

- ESTADO DEL ÁREA A SER EXAMINADA: SI ESTA TIENE RECUBRIMIENTOS AISLANTES O RECUBRIMIENTOS EN GENERAL, SI PRESENTA CORROSIÓN O TEXTURAS POR MAQUINADOS O EROSIONES.
- FUNCIÓN QUE DESEMPEÑA LA PIEZA EN SERVICIO: SABER SI SE ESTÁ EVALUANDO PIEZAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO, PIEZAS EXPUESTAS A CARGAS CÍCLICAS, HERRAMIENTAS MANUALES O PIEZAS DE SOPORTE.
- TIPO DE MATERIAL A EXAMINAR: COMPROBAR SI SE TRATA DE MATERIALES FERROMAGNÉTICOS O PARAMAGNÉTICOS, SI SON FUNDICIONES PURAS O ALEACIONES, SI CUENTAN CON ENCHAPADO O MAQUINADO EN FRÍO QUE PUEDA CAMBIAR LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL FERROMAGNÉTICO.
- CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN (CA, CA RECTIFICADA DE MEDIA ONDA, CA RECTIFICADA DE ONDA COMPLETA, CORRIENTE CONTINUA)
- MEDIO PARA ESTABLECER LA MAGNETIZACIÓN (YUGO)
- INTENSIDAD DEL CAMPO APLICADO POR EL YUGO
- INTERACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS INDICACIONES MOSTRADAS: EL TIPO DE INDICACIÓN DETERMINARÁ SI SE TRATA DE DISCONTINUIDADES QUE PUEDAN DESCARTAR LA PIEZA.
- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO BASADOS EN LAS FUNCIONES DE LA PIEZA Y LA NATURALEZA DE LAS INDICACIONES: DEPENDIENDO DE LAS FUNCIONES Y CONDICIONES DE LA PIEZA SE PODRÁ DAR INTERPRETACIÓN A LAS INDICACIONES.
- TÉCNICA DE DESMAGNETIZACIÓN (SI ES REQUERIDA)

### PARÁMETROS DE ACEPTACIÓN:

- SI UNA PIEZA SOMETIDA A CARGAS CÍCLICAS ES SOMETIDA AL ENSAYO UTILIZANDO CORRIENTE ALTERNA Y ESTA NO MUESTRA INDICACIONES, SERÁ ACEPTADA.
- SI PIEZAS SOMETIDAS A ESFUERZOS, ENSAYADAS CON CORRIENTE ALTERNA RECTIFICADA DE MEDIA ONDA, NO PRESENTA AGLOMERACIONES EN SU EXTENSIÓN, SERÁ ACEPTADA.
- SI UNA PIEZA MUESTRA INDICACIONES LEVES EN ÁREAS QUE SIRVAN COMO MATERIAL DE SACRIFICIO, SERÁ ACEPTADA.
- SI LAS PIEZAS DESTINADAS A LA TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO NO PRESENTAN INDICACIONES, SERÁN ACEPTADAS.

### PARÁMETROS DE RECHAZO:

- LAS PIEZAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO O SOMETIDAS A GRANDES ESFUERZOS QUE MUESTREN INDICACIONES SIN VERSE A SIMPLE VISTA EN LA GEOMETRÍA DE LA PIEZA SERÁN DESCARTADAS DEBIDO A QUE PRESENTA DISCONTINUIDADES INTERNAS QUE DESEMBOCARÁN EN FALLAS.
- LAS SOLDADURAS QUE AGLUTINEN PARTÍCULAS EN MÁS DE UN PUNTO SERÁN DESCARTADAS.
- LAS INDICACIONES EXTENDIDAS POR MÁS DEL 20% DE LA PIEZA DE MANERA CONTINUA DESCARTAN LA PIEZA.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA DEL ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS CON YUGO MAGNÉTICO, EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.



ING. HUGO RAMÍREZ  
ING. JOSE ARRIOLA

### ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS:

QUÉ ES EL ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS: ES UNA PRÁCTICA NO DESTRUCTIVA PARA LA REVELACIÓN DE DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES Y HASTA SUBSUPERFICIALES EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, POR MEDIO DE LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA GENERADA POR UN ELECTROIMÁN INDUCIDO, YUGO, Y LA INTERACCIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS ESPARCIDAS SOBRE LA PIEZA ESTUDIADA.

## Continuación de apéndice 1.

### EQUIPO Y MATERIALES PARA PROCEDIMIENTO. MATERIALES A ESTUDIAR

- YUGO MAGNÉTICO: CONECTADO A LA CORRIENTE.
- PARTÍCULAS MAGNÉTICAS SECAS NO FLUORESCENTES: DERIVADAS DE MATERIALES FERROMAGNÉTICOS, SIN ÓXIDO Y DE PREFERENCIA CON ADITIVOS QUE LO EVITEN.
- BANCO DE TRABAJO: DE SUPERFICIE HECHA DE POLÍMERO, QUE NO TENGA PARTES QUE PUEDAN LLEGAR A INTERFERIR CON EL YUGO, LIBRE DE CORRIENTE ELÉCTRICA.
- EQUIPO DE SEGURIDAD: SE RECOMIENDA UTILIZAR GAFAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, ASÍ COMO GUANTES DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA QUE PREVIEN CUALQUIER SITUACIÓN ADVERSA DERIVADA DE UN INCONVENIENTE CON EL EQUIPO DE LABORATORIO Y LA ABRASIÓN A LA PIEL DE LAS PARTÍCULAS.
- APLICADOR DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS CON LA CAPACIDAD DE ROCIAR POLVOS SECOS DE ALTA ABRASIÓN.

### MATERIALES A ESTUDIAR

ES FUNDAMENTAL TAMBIÉN CONSIDERAR QUE LOS MATERIALES RECUBIERTOS O ENCHAPADOS PUEDEN SER ESTUDIADOS CON CORRIENTE ALTERNA RECTIFICADA DE ONDA COMPLETA, AÚN SI NO SE TIENE CONTACTO DIRECTO CON LOS MATERIALES FERROMAGNÉTICOS QUE SÍ ESTÁN PRESENTES DEBAJO DEL RECUBRIMIENTO.

LAS PIEZAS QUE SE ENSAYARÁN DEBERÁN SER EXCLUSIVAMENTE DE CARACTERÍSTICAS FERROMAGNÉTICAS, DE GEOMETRÍAS SIMPLES, TALES COMO BARRAS SÓLIDAS, LAMINAS DELGADAS O DE GROSORES MEDIANOS. TOMAREMOS COMO REFERENCIA PIEZAS MECÁNICAS COMO BIELAS DE VEHÍCULOS COMPACTOS, LLAVES DE COLA Y CORONA, MANERALES DE HERRAMIENTAS DE TALLER, PERFILES SIMPLES O SOLDADOS DE UN MÁXIMO DE UN METRO DE LONGITUD.

### PREPARACIÓN PREVIA

- DEBE REINAR LUZ BLANCA QUE PERMITA UNA ILUMINACIÓN TOTAL DEL BANCO DE TRABAJO, EL YUGO Y LA PIEZA. LA INTENSIDAD DEBERÁ SER DE 1060 LUX EN DICHA ÁREA DE TRABAJO. LA ATMÓSFERA DE TRABAJO DEBE SER SECA, LIBRE DE HUMEDAD, CON UNA TEMPERATURA EN TORNO A LOS 10° CELSIUS Y UN MÁXIMO DE 35° CELSIUS, SIN CORRIENTES DE AIRE NI ENTRADAS DE AGUA QUE PUEDAN AFECTAR EL ÁREA DE TRABAJO.
- SE DEBE CONTAR CON EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL. SE RECOMIENDA CAMISA INDUSTRIAL DE MANGA LARGA, CALZADO INDUSTRIAL CON PUNTA REFORZADA, GUANTES CAPACES DE SOPORTAR LA ABRASIÓN LEVE Y DE PREFERENCIA DIELECTRÍCICOS, LENTES DE PROTECCIÓN Y CASCO.

### PROCEDIMIENTO

#### **MAGNETIZACIÓN DE LA PIEZA:**

LA MAGNETIZACIÓN DE LA PIEZA Y DE LAS PARTÍCULAS A UTILIZAR ES LA PARTE MÁS IMPORTANTE DEL ENSAYO, YA QUE DE ELLO DEPENDE LA LECTURA DE DISCONTINUIDADES PRESENTES EN LA PIEZA.

LA INDUCCIÓN CONTINUA DIRECTA ES GENERADA POR YUGO MAGNÉTICO EN CONTACTO CON LA PIEZA A EXAMINAR, PARA ELLO SE REQUIERE UNA LIMPIEZA COMPLETA DEL ÁREA QUE HARÁ CONTACTO CON LAS PUNTAS DEL YUGO, YA QUE LOS DESECHOS UBICADOS EN DICHA ÁREA PUEDEN LLEGAR A CALENTARSE Y DAÑAR LA PIEZA Y EL YUGO.

LA CORRIENTE ALTERNA RECTIFICADA DE ONDA COMPLETA SE RECOMIENDA PARA GENERAR MAGNETIZACIÓN RESIDUAL Y SI SE CUENTA CON CORRIENTE DEL TIPO TRIFÁSICA, ASÍ COMO LA CORRIENTE ALTERNA NO RECTIFICADA, PARA GENERAR EL EFECTO PIEL QUE SIRVE PARA EVIDENCIAR GRIETAS POR FATIGA. LA INDUCCIÓN RESIDUAL SE UTILIZA PRINCIPALMENTE CUANDO LA GEOMETRÍA DE LA PIEZA ES MUY IRREGULAR.

### **EJECUCIÓN DE LA MAGNETIZACIÓN:**

COLOCAR LOS ELECTRODOS DE LAS PUNTAS DEL YUGO CONTRA LA PIEZA Y SOSTENER FIRMEAMENTE, SE HACE CIRCULAR LA CORRIENTE A TRAVÉS DEL YUGO Y, EN CONSECUCIÓN, A TRAVÉS DE LA PIEZA DE ESTUDIO. ESTO GENERA UN CAMPO MAGNÉTICO DE SUFICIENTE INTENSIDAD PARA LA APLICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU POSTERIOR DESPLAZAMIENTO.

SE DEBE MANTENER LIMPIA LA PARTE DE CONTACTO ENTRE YUGO Y PIEZA DE ESTUDIO PARA EVITAR QUEMADURAS POR ARCO Y DAÑO METALÚRGICO EN LA PIEZA. EL USO DE CORRIENTE ALTERNA NO RECTIFICADA LIMITARÁ EL ALCANCE DEL ENSAYO A SOLO DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES.

UN EXAMEN COMPLETO CONSISTE EN REALIZAR EL MISMO PROCEDIMIENTO MÚLTIPLES VECES, ALTERNANDO LAS PUNTAS DEL YUGO UNA UBICADA EN LA PARTE MÁS PRÓXIMA AL ENSAYADOR Y LA OTRA PUNTA A 45° HACIA LA IZQUIERDA RESPECTO DE UNA VERTICAL IMAGINARIA FRENTE A QUIEN REALICE EL ENSAYO, LUEGO ALINEADO A ESTA VERTICAL IMAGINARIA Y FINALMENTE 45° HACIA LA DERECHA RESPECTO DE LA VERTICAL IMAGINARIA DESPLAZÁNDONOS EN CADA CORRIDA RESPECTO DE LA ANTERIOR.

#### **DESMAGNETIZACIÓN DE LA PIEZA:**

LA DESMAGNETIZACIÓN SE REALIZARÁ UTILIZANDO EL YUGO MAGNÉTICO. EL PROCEDIMIENTO CONSISTE EN COLOCAR LOS DOS POLOS DEL YUGO SOBRE LA PIEZA Y ALEJARLOS DEL ÁREA, REPITIENDO ESTE PROCEDIMIENTO VARIAS VECES, POSTERIORMENTE SE DEBE RETIRAR EL YUGO DE MANERA SUAVE MIENTRAS AÚN ESTÉ ENERGIZADO. EL ENSAYO SE DEBE REALIZAR POR LO MENOS DOS VECES Y DEJAR DESCANSAR LA PIEZA.

#### **LIMPIEZA DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS:**

LA RECOMENDACIÓN PRINCIPAL PARA LA LIMPIEZA DE LAS PARTÍCULAS SECAS SOBRE LA PIEZA ENSAYADA ES EL SOPLETEO CON AIRE COMPRIMIDO PARA LA REMOCIÓN DE TODA PARTÍCULA SOBRE LA ESTRUCTURA DE LA PIEZA; POSTERIORMENTE, ELABORAR UNA LIMPIEZA MANUAL CON TRAPOS ESPECIALES. EL ÁREA DE TRABAJO FINALMENTE SERÁ LIMPIADA DE MANERA TRADICIONAL.

Fuente: elaboración propia, elaborado con Microsoft Publisher.